

74



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

Análisis de los conceptos de acidez y
basicidad a partir de su desarrollo
histórico y su vinculación con las ideas
previas relacionadas

T E S I S

Que para obtener el título de
Ingeniera Química
presenta
Paula García Leija

1971



México, D.F. 2001

EL MENOR PROFESIONALES
FACULTAD DE QUÍMICA



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 | Silvia Bello Garcés |
| Vocal | S. Gustavo Garduño Sánchez |
| Secretario | Pilar Montagut Bosque |
| 1er. Suplente | Myrna Carrillo Chávez |
| 2do. Suplente | Elizabeth Nieto Calleja |

Sitio donde se desarrolló el tema

Facultad de Química y Centro de Instrumentos, UNAM.

Asesor del tema


Silvia Bello Garcés

Sustentante


Paula García Leija

*A mi papá, a mi mamá y a mi hermano
por estar siempre conmigo y ser
un ejemplo en mi vida*

*a Marco
por tu amor y tu apoyo*

*a mi maestra, Silvia Bello
por su orientación y asesoría en este trabajo*

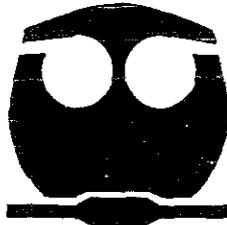
*a la Universidad Nacional Autónoma de México
por todo lo que me dio*

*y a todos aquellos que contribuyeron de distintas formas
para que esto sucediera . . .*

Gracias a todos.



Análisis de los conceptos de acidez y basicidad
a partir de su desarrollo histórico y su vinculación
con las ideas previas relacionadas



ÍNDICE

- I. Introducción • 6

- II. Antecedentes • 9
 - 1. Perspectivas actuales de la educación científica • 10
 - 2. Enfoque constructivista de la enseñanza de las ciencias • 11
 - 3. Concepciones de los alumnos
y su influencia en el aprendizaje de la ciencia • 12
 - 4. Dificultades en el aprendizaje y enseñanza de la Química • 13
 - 5. Importancia de la historia en el currículo científico • 17

- III. Constructivismo • 18
 - 1. Objetivismo • 19
 - 2. ¿Qué es el constructivismo? • 20
 - 3. Estructura del conocimiento • 21
 - 4. ¿Cómo conocemos? • 23

- IV. Ideas previas • 26
 - 1. ¿Qué son las ideas previas? • 27
 - 2. Principales características de las ideas previas • 28
 - 3. Enfoque de las concepciones alternativas • 30
 - 4. Cambio conceptual • 32
 - 5. Historia de la ciencia
y su relación con las ideas previas • 35

| | | |
|----|---|------|
| V. | Historia de los conceptos de ácido y base | • 36 |
| 1. | Estructura lógica de la química | • 37 |
| | - Nivel molar | |
| | - Nivel molecular | |
| | - Nivel eléctrico | |
| 2. | Revoluciones Químicas | • 39 |
| | - Primera Revolución Química | |
| | - Segunda Revolución Química | |
| | - Tercera Revolución Química | |
| 3. | Desarrollo histórico de los conceptos de ácidos y bases | • 40 |
| | - Antecedentes | • 41 |
| | - Primeras teorías | |
| | + Teorías mecánicas de acidez y basicidad | • 43 |
| | + Teoría del flogisto | • 44 |
| | - Nivel molar | |
| | + Teoría del oxígeno | • 44 |
| | + Teoría del hidrógeno | • 46 |
| | - Definiciones modernas de ácido y base | |
| | - Nivel molecular | |
| | + Definiciones de Arrhenius | • 47 |
| | + Definiciones del sistema del disolvente | • 49 |
| | + Definiciones de Brønsted-Lowry | • 50 |
| | + Definiciones ionotrópicas | • 55 |
| | - Nivel eléctrico | |
| | + Definiciones de Lewis | • 56 |
| | + Definiciones de Usanovich | • 59 |
| | + Ácidos y bases, “duros” y “blandos” | • 60 |
| 4. | Consideraciones actuales | • 62 |

| | | |
|-------|--|-------|
| VI. | Ideas previas de los conceptos de acidez y basicidad | • 63 |
| 1. | Generalidades | • 64 |
| 2. | Ideas previas de ácidos y bases: clasificación y análisis | • 65 |
| VII. | Recomendaciones finales | • 82 |
| 1. | Herramientas útiles en la educación científica | • 83 |
| - | Aprendizaje cooperativo | • 83 |
| - | Laboratorio | • 86 |
| - | Uso de computadoras e internet | • 89 |
| 2. | Aprendizaje de las ciencias | • 91 |
| 3. | Sugerencias y recomendaciones | • 94 |
| VIII. | Conclusiones | • 96 |
| IX. | Bibliografía | • 100 |

“Los conceptos de ácidos y bases ocupan una posición algo nebulosa en la estructura lógica de la Química. Estrictamente hablando, no son hechos ni teorías, y no son por lo tanto, totalmente correctos o incorrectos. Algunas son definiciones clasificatorias, otras analogías organizacionales. Algunos pueden resultar útiles otros no . . . el estudio de su evolución histórica . . . claramente muestra que las definiciones ácido-base son siempre un reflejo de hechos y teorías actuales en la química en los tiempos de su formulación y deben, necesariamente, evolucionar y cambiar así como los hechos y teorías cambian y evolucionan . . . las antiguas definiciones . . . representan generalmente la más poderosa analogía organizacional consistente con los hechos y teorías existentes en ese tiempo.”

W. B. Jensen, 1980

La educación en México, como en muchos otros países, no ha recibido la atención y el cuidado necesarios. Desafortunadamente, nos encontramos rezagados décadas con respecto a otros países que han desarrollado y aplicado las nuevas tendencias educativas, en especial en el área de las ciencias, a pesar del esfuerzo de grupos aislados que han trabajado mucho en este campo.

En las últimas décadas, la enseñanza de las ciencias ha evolucionado desde el tradicional *aprendizaje pasivo*, en el que los estudiantes son receptores pasivos del conocimiento que los profesores transmiten (pasando por el aprendizaje por descubrimiento y el aprendizaje significativo), hasta el enfoque de las ideas previas o concepciones alternativas, en el que los estudiantes construyen el conocimiento a partir de sus propias concepciones.

Este enfoque se basa en el constructivismo, y establece fundamentalmente que cada individuo construye su propio conocimiento. En el proceso de construcción surgen ideas o concepciones alternativas a las científicas que pueden ser completamente distintas o, simplemente, incompletas o confusas. Estas ideas interfieren o influyen en el aprendizaje de los conceptos científicos, y el no considerarlas puede ser uno de los principales obstáculos para el éxito en el proceso de aprendizaje-enseñanza.

En Química, el tema de ácidos y bases resulta muy interesante pero problemático. Éste, involucra una gran cantidad de conceptos que resultan difíciles y confusos, como por ejemplo: estructura de la materia, reacción química y equilibrio químico. Además, hay distintas definiciones que actualmente siguen siendo vigentes (Arrhenius, Brønsted, Lewis) y que confunden a los estudiantes. Lo anterior, aunado a estrategias de enseñanza deficientes, que no consideran las ideas previas de los estudiantes y tampoco la manera "natural" en la que ellos aprenden, ocasiona que los alumnos no logren el conocimiento que se pretende.

En los últimos años, la historia de las ciencias ha jugado un papel muy importante en la enseñanza de las mismas. El introducir un factor humano, el ver cómo se construyeron los saberes científicos y cómo evolucionaron hasta convertirse en los actualmente vigentes, resulta una herramienta muy útil.

Especialmente en el tema de ácidos y bases, el desarrollo histórico de estos conceptos resulta muy interesante y su conocimiento aclara confusiones e ideas que los estudiantes podrían crear. Al adicionar un componente histórico al

currículo y al incorporar estrategias de enseñanza basadas en el constructivismo, considerando las ideas previas, se puede mejorar considerablemente el proceso de enseñanza-aprendizaje, tanto del tema de ácidos y bases, como de la Química y la ciencia en general.

Los objetivos generales de este trabajo son los siguientes:

- I. Presentar un resumen de la evolución histórica de los conceptos de ácidos y bases.
- II. Conocer las principales ideas previas que tienen los estudiantes acerca de estos conceptos.
- III. Relacionar las ideas previas con el desarrollo histórico de los conceptos de acidez y basicidad.

En los capítulos siguientes se verá un esbozo general de lo que es el constructivismo y de su influencia en la educación científica; también, qué son las ideas previas y el importante papel que juegan en el aprendizaje de las ciencias. Posteriormente, veremos el desarrollo histórico de los conceptos de ácido y base, las ideas previas más comunes expresadas por los estudiantes, la relación que puede haber entre éstas y la historia y, finalmente, con base en lo anterior, se harán algunas recomendaciones para mejorar el aprendizaje de estos conceptos en específico, y de la Química y la ciencia en general.

1. PERSPECTIVAS ACTUALES DE LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA

Cuando tratamos de interpretar nuestro mundo, no sabemos cuál ha sido su origen, sólo sabemos que contamos con una serie de explicaciones que lo hacen comprensible.

La ciencia es una disciplina que busca comprender el cómo y el porqué de los fenómenos naturales. Y lo hace mediante el desarrollo de explicaciones a las que denominamos teorías científicas. Las teorías científicas son el elemento más importante del conocimiento científico y desempeñan un papel central, vital, en el desarrollo de este conocimiento. Los hechos en sí mismos no hacen que comprendamos; son las relaciones entre los hechos, las que se desarrollan como nuestras representaciones de esa comprensión.

Sin embargo, la ciencia es un proceso, no sólo un producto acumulado en forma de teorías o modelos. Es necesario que los estudiantes comprendan ese carácter dinámico y perecedero de los saberes científicos, logrando percibir su provisionalidad y su naturaleza histórica y cultural; que comprendan las relaciones entre el desarrollo de la ciencia, la producción tecnológica y la organización social y, por tanto, el compromiso de la ciencia con la sociedad.

En la actualidad, los alumnos no aprenden la ciencia que se les enseña y no sólo encuentran dificultades conceptuales sino que también las tienen en el uso de estrategias de razonamiento y solución de problemas propios del trabajo científico. Muchas veces no logran adquirir las destrezas que se requieren; otras, el problema se debe más bien a que saben hacer cosas pero no entienden lo que hacen, por lo que no logran explicarlas ni aplicarlas a nuevas situaciones.

A finales de los 80's y en los 90's surgió una "nueva imagen" de la ciencia con importantes implicaciones para su enseñanza. Algunos de sus puntos fundamentales son los siguientes:

1. El conocimiento científico no puede ser igualado a una verdad absoluta, tiene una condición temporal, y los errores deben ser objeto de reflexión.
2. Los descubrimientos científicos tienen un contexto y estructura, y la historia de la ciencia nos ayuda a entender estos aspectos.

3. Los científicos son parte del mundo que investigan, no son seres objetivos e imparciales; deben constantemente someter sus resultados a la certificación de la comunidad científica.
4. No existe un método único para generar conocimiento científico, sino un pluralismo metodológico dependiente del contexto.
5. La observación no existe separada de una teoría que la guía y le da significado. Las teorías científicas interpretan y explican, tentativamente, el mundo.
6. La ciencia no es objetiva, impersonal y libre de problemas; está estrechamente relacionada con la sociedad y la tecnología.

2. ENFOQUE CONSTRUCTIVISTA DE LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

El desajuste entre la ciencia que se enseña y los conocimientos de los alumnos es muy grande. Esto refleja una auténtica crisis en la cultura educativa que requiere adoptar no sólo nuevos métodos sino, sobre todo, nuevas metas. Una nueva cultura educativa que de alguna forma podamos vincular al llamado constructivismo.

Debemos abordar el aprendizaje como un proceso constructivo, de búsqueda de significados e interpretación, en lugar de reducirlo a un proceso repetitivo o reproductivo de conocimientos.

La ciencia es vista, en el constructivismo, como sistemas con modelos que describen cómo el mundo puede ser, en vez de cómo es. Estos modelos no adquieren su validez en la precisión con que describen el mundo real, sino en la precisión de las predicciones que pueden estar basadas en ellos. La ciencia no es la búsqueda de la verdad, sino un proceso que nos ayuda a explicar el mundo; su enseñanza se vuelve un proceso activo y social con el que explicamos nuestra experiencia. En la ciencia no se alcanza nunca el conocimiento verdadero, ya que no reproduce exactamente el mundo real, sino que tenemos modelos crecientemente más complejos y potentes para predecir, explicar y simular la estructura del mundo.

Aprender ciencia debe ser, por tanto, una tarea de comparar y diferenciar modelos, no de adquirir saberes absolutos y verdaderos. Hay que aprender a convivir con la diversidad de perspectivas, con la relatividad de las teorías, con la existencia de interpretaciones múltiples y aprender a construir el propio punto de vista a partir de ellas. Buena parte de los conocimientos que pueden proporcionarse a los estudiantes hoy, no sólo son relativos, sino que tienen fecha de caducidad, vivimos en la sociedad del aprendizaje continuo.

3. CONCEPCIONES DE LOS ALUMNOS Y SU INFLUENCIA EN EL APRENDIZAJE DE LA CIENCIA

Tanto los procesos de aprendizaje como el crecimiento del conocimiento en el campo de la ciencia, suponen mecanismos en los que las nuevas ideas sustituyen a las antiguas. El aprendizaje científico y el desarrollo cognitivo en general, se conciben como procesos en los que las ideas, los conceptos y los significados antiguos, son sustituidos por otros nuevos.

Son numerosos los estudiantes que encuentran difícil comprender las ideas expuestas en las lecciones de ciencias. De alguna manera la comunicación que el profesor hace de su idea, "entra" en su cerebro, pero de otra forma. Pasa a convertirse en una *idea del alumno* que no es la misma que la del profesor. Desde una edad muy temprana, y antes de cualquier enseñanza y aprendizaje de tipo formal, los niños elaboran significados de muchas de las palabras que se utilizan en la enseñanza de las ciencias y representaciones del mundo que se relacionan con las ideas científicas que se enseñan. Las ideas de los niños suelen ser mantenidas con firmeza, aun cuando los profesores no sean muy conscientes de ello, y a menudo resultan significativamente distintas de los enfoques científicos. El mensaje de la mayoría de las investigaciones sobre las ideas de los alumnos es que si no se sabe lo que ellos piensan y por qué opinan así, se tendrán escasas posibilidades de ejercer un impacto con la enseñanza.

Las formas de aprender y enseñar son una parte más de la cultura que todos debemos aprender y cambian con la propia evolución de la educación y de los conocimientos que deben ser enseñados. Lo que se necesita de la educación

científica no es más información, sino la capacidad de organizarla e interpretarla, de darle sentido. Los alumnos deben aprender a aprender, adquirir estrategias y capacidades que les permitan transformar, reelaborar y, en suma, reconstruir los conocimientos que reciben.

Nos encontramos en una época en la que el nuevo conocimiento generado por los científicos supera rápidamente la capacidad del público para seguirlos. El gran reto para los profesores de ciencias y los diseñadores del currículo es el de cómo cruzar el abismo entre lo que saben los expertos, pero no los profesores, ni los estudiantes, ni los ciudadanos.

4. DIFICULTADES EN EL APRENDIZAJE Y ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA

Muchos niños empiezan sus estudios formales de ciencias entre los once y trece años (nivel secundaria) con elevadas expectativas: la ciencia se relaciona con productos químicos y explosiones. La realidad del salón de clases es menos divertida y menos excitante. Los aspectos teóricos de la química que el profesor va presentando pueden causar problemas muy pronto. El mundo de los átomos, las partículas y las moléculas no encaja con el universo que los niños conocen. Las actitudes de los alumnos cambian y, entonces, se acercan a la Química con ideas y actitudes equivocadas como las siguientes:

1. La Química no es interesante o importante para ellos, no se relaciona con su realidad.
2. Los exámenes representan el "total" o, por lo menos, la parte más importante del curso.
3. Los estudiantes memorizan las ecuaciones en vez de entender los conceptos.
4. La Química se ve simplemente como un conjunto de hechos en vez de una actividad realizada por seres humanos.
5. Los estudiantes ven a la Química como una clara secuencia definida de material que no involucra temas controversiales, en vez de un modo de pensar acerca del mundo natural.

A partir de estas ideas, los maestros deben comunicar un entendimiento de la materia y superar un gran número de obstáculos en el proceso de aprendizaje.

Algunas causas de las dificultades en el aprendizaje de la química son:

- La existencia de diferentes niveles de descripción de la materia (macroscópico, microscópico y simbólico), con diferentes conceptos asociados a cada uno de ellos.
- El uso de diferentes modelos y teorías, en sucesivas versiones, a lo largo de la enseñanza.
- 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.

Los estudiantes viven en un mundo macroscópico, con cosas que tienen masa y ocupan espacio; ellos no perciben a la química como algo relacionado con sus alrededores y frecuentemente piensan en las sustancias químicas como materiales peligrosos con nombres extraños.

Una de las fuentes de confusión en los alumnos de Química es que trabajan en tres mundos diferentes. El mundo macroscópico, en el cual realizan experimentos; el mundo molecular o microscópico, en el que interpretan los datos; y el mundo simbólico, en el cual el símbolo "Na" algunas veces significa un metal brillante que reacciona vigorosamente con el agua, y otras, es una partícula infinitamente pequeña que contiene 11 protones, 12 neutrones (casi siempre) y 11 electrones.

Entonces, la ciencia se puede entender en tres niveles: el macroscópico, el microscópico y el simbólico. Muchos de los conceptos que se estudian en Química son abstractos e inexplicables sin el uso de analogías y modelos, que los relacionen con el mundo que conocen los estudiantes. Hay muchos conceptos que se pueden observar en el nivel macroscópico, pero sólo pueden explicarse en el nivel microscópico (corpuscular); sin embargo, en la enseñanza de la Química predomina el nivel más abstracto, el simbólico. En las mentes de los estudiantes no hay conexión entre estos tres niveles.

Los alumnos construyen su conocimiento, en su mayor parte, en el nivel macroscópico. Posiblemente esto ocurra por dos razones: la primera es que el conocimiento previo "real" de los estudiantes es en este nivel y proviene de la instrucción y de la experiencia; la segunda es que los educandos realmente no entienden el nivel microscópico.

Para los químicos novatos, la materia les es familiar como los objetos que los rodean. Tomando esto en cuenta, la enseñanza debería estar basada en el mundo macroscópico. Estudiar el nivel macroscópico, en primera instancia, parece ser consistente con la forma en que la gente aprende. Después se podrá explicar ese mundo usando la naturaleza particular de la materia.

Los tres niveles se pueden interpretar de diferentes formas y los maestros brincan de uno a otro, inconscientemente, en una clase. El químico experimentado puede mantener estos tres niveles equilibrados, pero no los novatos o aprendices, y es aquí donde se originan gran parte de las concepciones alternativas de los estudiantes. Todo esto lleva a una visión de la Química fragmentada, con piezas que no encajan.

En la secundaria se pretende que los alumnos comprendan y analicen las propiedades y transformaciones de la materia. Para esto se enfrentan a un gran número de leyes y conceptos nuevos fuertemente abstractos. Necesitan establecer conexiones entre ellos y, además, se enfrentan a la necesidad de utilizar un lenguaje altamente simbólico y formalizado junto a modelos de representación analógicos, que ayuden a la representación de lo no observable. En este nivel se introducen conceptos como átomo, molécula y modelos, que ayudan a interpretar las propiedades y cambios de la materia.

En el bachillerato la situación es más difícil pues el alumno, que se supone domina y maneja lo aprendido en la secundaria, a partir de los conceptos y modelos anteriores ya de por sí fuertemente abstractos, debe asimilar nuevos conceptos (por ejemplo, entalpía, entropía, fuerzas intermoleculares, pH, etcétera) que son necesarios para comprender las distintas teorías que se introducen. Así aparecen, en muchos casos, diferentes teorías para explicar el mismo fenómeno (por ejemplo, las teorías ácido-base).

Desde el inicio de sus estudios, muchos niños no construyen entendimientos adecuados de los conceptos químicos fundamentales, por lo que

no pueden comprender por completo los conceptos más avanzados que se tienen que construir sobre los primeros.

Las dificultades en el aprendizaje de la Química también se determinan por la forma en que el estudiante organiza sus conocimientos a partir de sus propias teorías implícitas (ideas previas). La comprensión de las teorías científicas implica superar las restricciones que imponen las ideas previas que éste mantiene. El paso de las primeras teorías intuitivas de los alumnos, hasta una visión científica de los distintos problemas, implica superar concepciones organizadas en las que la visión del mundo está inicialmente centrada en sus aspectos perceptivos (las cosas son como las vemos), hasta el constructivismo, caracterizado por una interpretación de la realidad a partir de modelos. Gran parte de los alumnos se encuentran en un estado intermedio en el que aceptan las teorías y modelos científicos como reales, que no pueden verse a simple vista, pero que existen y han sido descubiertos. Esto hace que sea sumamente difícil que ellos puedan aceptar y diferenciar los diversos modelos existentes para un mismo fenómeno.

El resultado de todo esto es que los alumnos aprenden con muchas dificultades y menos de lo que se espera o pretende. Sin embargo, al conocer estas dificultades y sus orígenes, es muy probable que se pueda mejorar este aprendizaje.

Es importante que los estudiantes sean capaces de relacionar las nuevas ideas que elaboran, a través de una o más experiencias de aprendizaje conectadas con las ideas que ya tienen, con otras experiencias y situaciones del mundo que les rodea y con aquellas personas cuyas ideas ellos valoran.

Para lograr eficacia en la educación científica, y en este caso en el aprendizaje de la química, es necesario que las metas, los contenidos y los métodos de la enseñanza de la ciencia tengan en cuenta no sólo el saber disciplinar que debe enseñarse, sino también las características de los alumnos a los que esa enseñanza va dirigida y las demandas sociales y educativas en las que tiene lugar.

5. IMPORTANCIA DE LA HISTORIA EN EL CURRÍCULO CIENTÍFICO

En la escuela, generalmente se da mayor importancia a los problemas de manipulación algorítmica que a los problemas conceptuales. Los estudiantes que son capaces de resolver problemas matemáticos, pueden tener un entendimiento limitado de la química subyacente a sus manipulaciones algorítmicas. Esto puede ser superado asegurándose de que los estudiantes entiendan los conceptos químicos cualitativamente antes de que se les presenten cuantitativamente.

Para lograrlo, una alternativa que puede adicionar significado a las ecuaciones matemáticas en ciencia, es integrar la historia de la ciencia al currículo. Al incluir un componente histórico a los programas de ciencia se promueve una mejor comprensión de los conceptos y métodos científicos. Además, con una dirección adecuada por parte de los docentes y considerando la historia de la ciencia, los estudiantes pueden evitar las concepciones alternativas que tuvieron científicos en la antigüedad.

Conceptos que llevaron a los científicos décadas y a veces siglos desarrollar, los maestros de química se tardan una clase en introducirlos a sus estudiantes, por lo tanto no sorprende que éstos tengan dificultades para comprenderlos. Para superar este problema, los estudiantes deben tener la oportunidad de aprender acerca del desarrollo histórico de estos conceptos. Al usar este enfoque en la enseñanza de los conceptos científicos, se puede mejorar la habilidad de resolver problemas conceptuales.

1. OBJETIVISMO

En nuestro conocimiento cotidiano solemos asumir una posición realista, según la cual, el mundo es tal como lo percibimos o se muestra ante nosotros, y lo que no vemos o percibimos no existe o, al menos, resulta muy difícil de concebir.

Esta tendencia realista resulta bastante dominante y difícil de superar, especialmente en el ámbito científico, en el que durante mucho tiempo ha prevalecido una concepción positivista entre los propios científicos y también entre los profesores de ciencias. Según ésta, la función de la ciencia es descubrir la estructura y el funcionamiento de la naturaleza, en vez de construir modelos para interpretarla.

La epistemología del sentido común se asienta firmemente en la suposición de que la realidad existe de forma independiente de toda influencia humana: con orden, con sentido y con estabilidad, lo que permite que sea accesible y predecible para todo aquel que razona "correctamente".

La epistemología dominante en la mayoría de los ambientes educativos actuales es similar al objetivismo. En ésta, la mayoría de los maestros ven al conocimiento como existente fuera de los cuerpos de individuos cognoscitivos, como separado del conocer y de los conocedores. El conocimiento está "afuera", en los libros, es independiente del sujeto pensante. La ciencia, por lo tanto, se conceptualiza como una búsqueda de verdades, un medio para descubrir teorías, leyes y principios asociados con la realidad, observando hechos con una metodología adecuada. Los estudiantes son alentados a ver objetos, eventos y fenómenos con una mente objetiva, que se asume está separada de procesos cognitivos como imaginación, intuición, sentimientos, valores y creencias. Como resultado, los profesores implementan un currículo que asegura que los estudiantes cubren el contenido científico relevante y tienen las oportunidades para aprender *verdades* que usualmente se documentan en los textos modernos.

Tenemos que superar estas creencias realistas y objetivistas para poder adoptar una posición relativista o constructivista, según la cual existen diversas formas de conocer una misma realidad y ninguna de ellas es necesariamente verdadera, sino que cada una es relativa al marco teórico y a las necesidades prácticas a las que se enfrenta.

2. ¿QUÉ ES EL CONSTRUCTIVISMO?

La opción constructivista rechaza la posibilidad de una verdad única, y lleva consigo una declaración a favor de la diversidad y la tolerancia. Además, rompe con el supuesto de que la seguridad sólo puede lograrse a partir de una verdad firmemente establecida y también con la textura uniforme y coherente de la mirada única, que cierra el paso a otras alternativas, legitimando la diversidad y el desacuerdo.

No es fácil darnos cuenta de que vivimos únicamente con interpretaciones y con imágenes que aceptamos como objetivamente reales. "Normalidad" y "anormalidad" no surgen de un universo de esencias inmutables, sino de distinciones y parámetros creados socialmente. En términos generales, los seres humanos no son conscientes de estos procesos de construcción de la realidad; sin embargo, el mundo no es otra cosa que la construcción de un observador.

El constructivismo es una epistemología, una teoría del conocimiento usada para explicar cómo conocemos lo que conocemos, en la cual el conocimiento no refleja una realidad objetiva, ontológica, sino exclusivamente un ordenamiento y organización del mundo constituido por nuestra experiencia. El constructivismo es también un modo de pensar acerca del conocer, un referente a partir del cual se construyen modelos para la enseñanza, el aprendizaje y el currículo.

Dentro de esta perspectiva, el conocimiento científico no se extrae nunca de la realidad, sino que procede de la mente de los científicos que elaboran modelos y teorías en el intento de dar sentido a esa realidad. Las teorías científicas no son saberes absolutos o positivos, sino aproximaciones relativas, construcciones sociales que lejos de "descubrir" la estructura del mundo o la naturaleza, la construyen o la modelan.

El constructivismo analiza aquellos procesos de percepción, de comportamiento y de comunicación, a través de los cuales los hombres forjamos nuestras realidades individuales, sociales, científicas e ideológicas. El constructivismo sostiene que lo que conocemos resulta del observador y no de lo observado. Algo es real tan sólo en la medida en que se ajusta a una definición de la realidad. Lo real es aquello que un número suficientemente amplio de personas ha acordado definir como tal. Cualquier tipo de experiencia es

esencialmente subjetiva, y así como podemos encontrar razones para creer que nuestra experiencia no es diferente que la de cualquier otro, no hay modo de saber que es la misma.

La capacidad de vivir con verdades relativas, con preguntas para las que no hay respuesta, con la sabiduría de no saber y con las paradójicas incertidumbres de la existencia, todo esto, puede ser la esencia de la madurez humana y de la consiguiente tolerancia frente a los demás.

3. ESTRUCTURA DEL CONOCIMIENTO

El alumno construye estructuras a través de la interacción con su medio y los procesos de aprendizaje. Estas estructuras mentales determinan cómo se perciben los datos y la nueva información. Si esta nueva información tiene sentido en la estructura mental existente, entonces la nueva información se incorpora en la estructura. Si la información es muy diferente de esta estructura mental, entonces no tiene sentido incorporarla: los nuevos datos son rechazados o transformados de manera que quepan en la estructura.

Las estructuras cognitivas son representaciones organizadas de experiencia previa. Son relativamente permanentes y funcionan activamente para filtrar, codificar, categorizar y evaluar la información que uno recibe en relación con alguna experiencia relevante. La idea principal es que mientras captamos información, estamos constantemente organizándola en unidades con algún tipo de ordenación que llamamos "estructura". A menudo las estructuras están compuestas de esquemas, representaciones de una situación concreta o de un concepto, lo que permite sean manejados internamente para enfrentarse a situaciones iguales o parecidas a la realidad. La nueva información generalmente es asociada con información ya existente en estas estructuras, que a su vez pueden también ser reorganizadas o reestructuradas.

Otra cuestión importante en la construcción del conocimiento es la creación de redes de conexiones entre trozos de conocimientos, conceptos, fórmulas, principios y proposiciones. Ningún dato específico tiene significado solo en sí, únicamente es comprendido cuando está relacionado con otros elementos de

conocimiento. Además, para que funcione una red de conocimiento, ésta debe estar muy bien organizada y ser muy abundante. Mientras más densa sea la red y más eslabones tenga, más se puede pensar, relacionar, hacer analogías y aplicar el conocimiento. Esto implica la acumulación de muchos contenidos específicos, cuidadosamente interconectados. Si el conocimiento se ha adquirido en una forma idiosincrática, por asociaciones libres y por procesos sueltos, su poder de comprensión puede ser muy débil. Los procesos deben interactuar con una buena cantidad de contenidos.

Los conocimientos que los sujetos tienen acerca del mundo conforman sus estructuras cognitivas. Dichas estructuras no son iguales en todos los casos y varían de un sujeto a otro, sin embargo, tienen algunos aspectos en común.

Según algunas posiciones cognitivas actuales, el conocimiento puede agruparse en tres áreas básicas: el conocimiento declarativo, el conocimiento procedimental y el conocimiento actitudinal.

El saber qué o *conocimiento declarativo* es un conocimiento descriptivo de la realidad y se refiere al conocimiento de datos, hechos, conceptos y principios. Es un saber que se dice o declara por medio del lenguaje. Este conocimiento se divide en dos tipos de conocimiento: el factual y el conceptual.

El conocimiento factual es el que se refiere a datos y hechos que proporcionan información verbal y que los alumnos deben aprender en forma literal. Este aprendizaje se logra por una asimilación literal, memorística, sin comprensión de la información, donde poco importan los conocimientos previos de los alumnos. Por otro lado, el conocimiento conceptual es construido a partir del aprendizaje de conceptos, principios y explicaciones, los cuales no tienen que ser aprendidos en forma literal, sino abstrayendo su significado esencial o identificando las características y las reglas que los componen. En el aprendizaje conceptual ocurre una asimilación del significado de la información nueva, se comprende lo que se está aprendiendo, para lo cual es imprescindible el uso de los conocimientos previos que posee el alumno.

El saber hacer o *conocimiento procedimental* es aquel conocimiento que se refiere a la ejecución de procedimientos, estrategias, técnicas, habilidades, destrezas, métodos, etcétera. A diferencia del saber qué, que es de tipo declarativo y teórico, el saber procedimental es de tipo práctico porque está

basado en la realización de varias acciones u operaciones. Los procedimientos pueden ser definidos como un conjunto de acciones ordenadas y dirigidas hacia la consecución de una meta. El aprendizaje de procedimientos es un proceso gradual.

Saber no sólo significa tener conocimiento declarativo. Saber significa, además, ser capaz de aplicar dicho conocimiento. En los contextos educativos es frecuente encontrar un gran número de alumnos que sólo conocen el componente declarativo del contenido que se les enseña, pero no el componente procedimental.

Un aspecto poco atendido en la enseñanza es el de las actitudes. Se puede decir que las actitudes son constructos que regulan nuestras acciones y que se encuentran compuestos de tres elementos básicos: un componente cognitivo, un componente afectivo y un componente conductual. Las actitudes son experiencias subjetivas que implican juicios evaluativos, que se expresan en forma verbal o no verbal, que son relativamente estables y que se aprenden en el contexto social. El aprendizaje de las actitudes es un proceso lento y gradual, donde influyen distintos factores como las experiencias personales previas, las actitudes de personas significativas, la información y experiencias novedosas y el contexto sociocultural.

Existe una estrecha relación entre el aprendizaje y el interés de aprender. Se podría afirmar que si no existen motivaciones, difícilmente se obtiene la comprensión. Es necesario individualizar tácticas y estrategias adecuadas para suscitar el interés en los estudiantes, para que ellos sientan la necesidad de "buscar explicaciones" y de construir el conocimiento.

4. ¿CÓMO CONOCEMOS?

La epistemología constructivista afirma que las únicas herramientas disponibles al conocedor son sus sentidos. Es sólo a través de ver, oír, tocar, oler y saborear que un individuo interactúa con el medio ambiente. Con los mensajes de los sentidos los individuos construimos una imagen del mundo y entonces

atribuimos a la realidad propiedades y atributos que no son sino el producto de nuestra interacción cognitiva, de nuestra construcción mental de esa realidad.

El conocimiento, entonces, reside en los individuos y éstos lo construyen a través de sus interacciones con el medio ambiente, por lo tanto, no puede ser transferido intacto de la cabeza del maestro a las cabezas de los estudiantes; éstos explican o encuentran sentido a lo que les enseñan tratando de ajustarlo a su propia experiencia. El papel del profesor no es proporcionar conocimiento, sino dar a los estudiantes las oportunidades para construirlo.

Nuestro sistema cognitivo tiene características muy específicas que condicionan nuestra forma de aprender. Los seres humanos tenemos una capacidad de memoria de trabajo muy limitada, sin embargo esta capacidad puede amplificarse notablemente mediante el aprendizaje, que nos permite reconocer situaciones a las que ya nos habíamos enfrentado antes o automatizar conocimientos y habilidades. Nuestra memoria permanente no es nunca una reproducción fiel del mundo, nuestros recuerdos no son copias del pasado, sino reconstrucciones de ese pasado desde el presente. Así, la recuperación de lo que aprendemos tiene un carácter dinámico y constructivo.

Desde una posición constructivista, en el aprendizaje del conocimiento científico, se asume que todos los modelos y teorías son una construcción o invención social en respuesta a ciertas demandas o necesidades prácticas y teóricas. La ciencia no es un discurso sobre lo real sino sobre modelos posibles. Conocer no es descubrir la realidad, es elaborar modelos alternativos para interpretarla, o confrontar lo que percibimos con los modelos que nos son familiares o en los que creemos.

Aprender y enseñar, lejos de ser meros procesos de repetición y acumulación de información, implican transformar la mente de quien aprende; el individuo debe reconstruir a nivel personal los productos y procesos culturales con el fin de apropiarse de ellos. El aprendizaje no es un asunto sencillo de transmisión, internalización y acumulación de conocimientos; es un proceso activo por parte del alumno, de ensamblar, extender, restaurar e interpretar y, por lo tanto, de construir conocimiento desde los recursos de la experiencia y la información que recibe.

La forma en la que los alumnos aprenden química se puede explicar con el *modelo de procesamiento de información*. Este modelo propone que toda la información que se almacena en nuestras mentes, primero se comprende o explica por el individuo. Nueva información captada por nuestros sentidos entra en la memoria de trabajo de corto plazo, que tiene una capacidad limitada. La información o se pierde, o pasa a la memoria de largo plazo. Si la información se pierde o se almacena, depende de su complejidad y de la disponibilidad en la memoria de corto plazo. La información que pasa a la memoria de largo plazo interactúa con información que ya se encuentra almacenada como parte de una red conceptual en expansión. Si los nuevos conceptos no encuentran en la memoria de largo plazo algo con lo que puedan relacionarse, entonces esta información no se podrá almacenar, o lo hará pero como una entidad independiente. Por lo tanto, si existe algo con lo que se pueda relacionar este nuevo conocimiento, entonces, existe aprendizaje.

Aprender ciencia consiste en desarrollar elaboradas redes conceptuales en la memoria de largo plazo, consistentes con el pensamiento científico aceptado. La meta de la educación es que los individuos construyan una compleja red de conceptos interconectados en dicha memoria, a la cual pueda recurrirse para la solución de problemas y otras tareas.

Es importante darnos cuenta de que la mejor manera de organizar la información, después de que se ha entendido, no siempre es la forma más adecuada para que sea entendida. La organización que actualmente tienen los cursos puede parecer lógica, porque los que desarrollan el currículo entienden el material. Pero eso no significa que los cursos estén organizados en un orden psicológico óptimo para alguien que se encuentra con el material por primera vez. Hay pocas reglas generales para determinar el orden psicológico de presentación óptimo de cierto material. Primero, se debe empezar con un tema que sea cercano a la experiencia de los alumnos. Después, se debe construir desde sus experiencias hacia nociones más abstractas, cuando los estudiantes sientan la necesidad de explicar lo que han observado. Tercero, se debe tener en cuenta que nadie aprende de lo general a lo específico. Y, finalmente, empezar con sistemas que tengan relativamente pocos parámetros y trabajar hacia sistemas más complejos.

1. ¿QUÉ SON LAS IDEAS PREVIAS?

Una de las ideas básicas del constructivismo es que el alumno aprende a partir de sus conocimientos previos. Por lo tanto, es imprescindible conocer cómo están organizados y representados y en qué consisten.

Los seres humanos conocemos el mundo no de un modo directo, sino a través del filtro impuesto por nuestras ideas y expectativas. En cualquier dominio que nos resulte relevante, tenemos ideas que nos permiten predecir y controlar los sucesos, aumentando nuestra adaptación a los mismos. Las ideas de los alumnos son una construcción o elaboración cognitiva que influye en el logro de nuevos aprendizajes.

Todos somos, de alguna manera, científicos desde pequeños. Los niños tienen curiosidad por el mundo que les rodea, cómo y por qué las cosas suceden así. Intentan comprender de un modo natural el mundo en el que viven y lo hacen según sus experiencias, su actual nivel de conocimientos y su uso del lenguaje. Los niños, como los científicos, desarrollan ideas acerca de cómo y por qué las cosas son como son.

El concepto de "ideas previas" o "concepciones alternativas" ha recibido casi tantos nombres como autores se han acercado a él. Estas diversas posiciones van desde los "preconceptos" ausubelianos, o las "concepciones erróneas", que destacan el carácter científicamente equivocado o poco elaborado de las ideas de los alumnos, a la "ciencia de los niños", las "concepciones espontáneas" o las "teorías en acción", que ponen el énfasis en el carácter personal de esas construcciones.

Buena parte de esas concepciones alternativas se forman de modo espontáneo, tienen un origen perceptivo que les hace estar centradas en lo aparente, en lo observable y en lo que cambia. Suelen basarse en una causalidad simple y lineal. Otras tienen su origen en el entorno social y cultural, se verbalizan con facilidad y es difícil convertirlas en pautas de acción. También existen concepciones que tienen su origen en el ámbito escolar y se presentan como ideas deformadas o simplificadas de ciertos conceptos, que conducen a una comprensión errónea o desviada por parte de los alumnos. Vemos entonces que, por diferentes vías, los alumnos adquieren una gran cantidad de ideas previas

que interactúan y se mezclan entre sí, dando lugar a una *ciencia intuitiva* sumamente difícil de modificar.

Las concepciones alternativas son el producto de un aprendizaje, en la mayor parte de los casos, informal o implícito, que tiene por objeto establecer regularidades en el mundo, hacerlo más previsible y controlable. Siempre que una persona intenta comprender algo, necesita activar una idea o conocimiento previo que le sirva para organizar esa situación y darle sentido.

2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS IDEAS PREVIAS

Muchas de estas ideas están basadas en la experiencia cotidiana del alumno. En general, existen ciertos aspectos comunes de estas ideas previas de los alumnos sobre los fenómenos científicos:

1. Son diferentes de las científicas, en muchos casos son incompletas y, en otros, son incorrectas.
2. Son específicas del dominio y con frecuencia dependen de la tarea utilizada para identificarlas.
3. La mayoría de estas ideas no son fáciles de identificar porque forman parte del conocimiento implícito del sujeto.
4. Son construcciones personales. A pesar de que se ha encontrado cierto grado de similitud entre las representaciones de sujetos procedentes de distintos medios culturales, es necesario interpretarlas dentro del contexto individual.
5. Muchas de ellas están guiadas por la percepción y por la experiencia del alumno en su vida cotidiana.
6. Estas ideas previas de los estudiantes no tienen todas el mismo nivel de especificidad/generalidad y, por tanto, las dificultades de comprensión que ocasionan a los estudiantes no son igual de importantes.
7. Con frecuencia estas ideas son muy resistentes y difíciles de modificar.

8. Tienen un grado de coherencia y solidez variable, pueden constituir representaciones difusas y más o menos aisladas, o bien, pueden formar parte de un modelo mental explicativo con cierta capacidad de predicción.

Este enfoque de las ideas previas tiene algunos puntos críticos que podrían parecer contradictorios y, por tal razón, dificultan la identificación y tratamiento de las mismas. Por un lado, algunos autores consideran que estas concepciones son representaciones más o menos complejas, coherentes e integradas y forman parte de modelos mentales o de teorías, que a pesar de ser incorrectas o incompletas desde el punto de vista científico, tienen un cierto poder explicativo y predictivo. Para otros, estas ideas de los alumnos constituyen un conocimiento fragmentario, carente de coherencia y consistencia y, desde luego, lejano de la sistematicidad que posee una teoría. Aunque aparentemente estas posiciones parecen ser contradictorias, se admite la existencia de ambas representaciones. En segundo lugar, otro aspecto problemático sería que si bien se considera que estas concepciones son construcciones personales, por otro lado se sabe que existen ciertas similitudes entre los resultados de estudios transculturales. Sin embargo, aunque esas similitudes nos facilitan su identificación, tampoco debería olvidarse que son construcciones personales y, por tanto, forman parte de la red conceptual de un individuo concreto; el papel de esa concepción, en la representación de un fenómeno que tiene un determinado estudiante, puede no ser el mismo que en uno de sus compañeros. Es decir, unas concepciones pueden estar más arraigadas en unos sujetos que en otros y ser más o menos difíciles de modificar. Un tercer aspecto es que muchas investigaciones indican que estas ideas tienen un cierto grado de estabilidad y consistencia, muchas son muy resistentes al cambio; también se ha señalado que parecen ser muy dependientes de la tarea en la que son detectadas o evaluadas, es decir, las ideas dependen del contexto en el que se le presentan al alumno. Estos aspectos problemáticos y aparentemente contradictorios, hacen que el acercamiento a este enfoque de ideas previas o concepciones alternativas pueda hacerse difícil y confuso.

3. ENFOQUE DE LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS

El enfoque de las concepciones alternativas cobra sentido dentro de una perspectiva constructivista del aprendizaje. Supone un avance importante en nuestro conocimiento sobre la comprensión de los conocimientos científicos de los estudiantes. El conocimiento lo construye el individuo a medida que actúa sobre los objetos y la gente, tratando de entenderlo todo. Se adquiere, no por la internalización de algo externo que nos es dado, sino construyéndolo desde adentro.

Así, el interés de conocer e identificar las ideas de los estudiantes surge, porque el objetivo general subyacente de la instrucción es lograr que el alumno comprenda los contenidos científicos que tiene que aprender, y no sólo los memorice, o aprenda a resolver ejercicios aplicando fórmulas cuyo significado le resulta ajeno y extraño. Este enfoque pretende desarrollar estrategias de enseñanza y una metodología adecuadas, para que el profesor pueda identificar las ideas previas y así, pueda favorecer el proceso de construcción del conocimiento. Ponerlo en práctica en el aula, de una manera coherente, exige un notable esfuerzo por parte del profesor, y una selección y reducción de los contenidos, si el objetivo es lograr la comprensión del alumno.

El conocimiento previo de los fenómenos es una parte importante que afecta la manera en que los estudiantes entenderán la ciencia en la escuela. A menudo, la interpretación de los fenómenos, desde un punto de vista científico, es diferente a la interpretación que los alumnos hacen, pues ellos construyen significados que se ajustan a sus experiencias y expectativas. Resuelven este conflicto cognitivo separando la ciencia escolar de su propia experiencia, en otras palabras, diferencian entre las explicaciones científicas y las explicaciones del "mundo real". Las concepciones que ellos tienen son sus construcciones de la realidad.

Cuando un profesor expone la clase, hace un esquema en el pizarrón, explica un mural o pide a un alumno que lea en alto un texto, su pensamiento (o el del autor del texto) no queda automáticamente transferido a la mente del alumno. Cada uno de los individuos presentes en el aula forma sus propias ideas a partir de diversos estímulos, incluyendo las palabras específicas, leídas u oídas,

que hay en ese entorno concreto de aprendizaje. El grado de semejanza entre el pensamiento construido y lo que se proponía el docente, dependerá de la manera en que un alumno se enfrente al manejo de ese lenguaje que los profesores utilizan tan libremente como su medio principal de instrucción.

Para poder organizar un entorno de aprendizaje, en el que los alumnos tengan máximas probabilidades de generar en sí mismos los significados que los profesores quisieran verles obtener y para modificar sus ideas existentes, de manera que asimilen unas nuevas, se requiere una gran habilidad en los docentes, un conocimiento de las ideas de los alumnos y la comprensión de sus formas de procesar la información.

Los alumnos construyen o generan activamente significados, a partir de experiencias sensoriales: por ejemplo, cosas que ven, sonidos, olores, etcétera. El establecimiento de relaciones entre los datos sensoriales y las ideas preexistentes, además de la construcción activa, la verificación y la asimilación de nuevas ideas, son cosas que solamente puede realizar el propio sujeto.

Resulta sumamente importante que los profesores comprendan que la "ciencia de los alumnos" debe jugar un papel predominante en el aprendizaje de las ciencias. Se debe adoptar una visión en la cual las nuevas ideas solamente se puedan construir generando significados para los datos sensoriales, utilizando las ideas preexistentes en la memoria. Sin embargo, en la actualidad, es muy raro encontrar orientaciones curriculares que expliquen a los profesores las ideas que probablemente tendrán sus alumnos y el modo en el que éstas podrían modificarse.

A pesar de las diferencias, tanto en el lenguaje que emplean los alumnos, como en las experiencias diarias que ellos encuentran y en las formas de enseñanza que ellos reciben, los hallazgos de las investigaciones realizadas en ideas previas en diversos países, son muy similares. Esto hace pensar que los alumnos de cualquier parte del mundo aprenden de manera parecida, y que en muchos países están expuestos a experiencias diarias similares y a fenómenos, tanto directos como indirectos, que influyen en su aprendizaje de las ciencias en el salón de clases. Además, se hace evidente que las respuestas de muchos de los alumnos a situaciones del mundo real relacionadas con las ciencias, están guiadas por sus propias ideas más que por lo que los profesores se han esforzado

tanto en "enseñarles". Ellos pueden devolver las fórmulas verbales que se les dan, pero cuando se les pide que *actúen*, a menudo se comportan de acuerdo con sus ideas personales.

Muchos profesores necesitan ser sensibilizados sobre lo que generalmente sucede en las clases de ciencias, y hasta qué punto las ideas de los alumnos se ven influenciadas o no por la enseñanza. Una vez que aquéllos se hayan convencido de que los conceptos ya existentes en los niños son importantes, ya que inevitablemente serán incorporados a futuros aprendizajes, su forma de enseñar frecuentemente se modificará al tener cada vez más en cuenta las ideas que tienen los alumnos.

La mayoría de los niños son curiosos por naturaleza y están deseosos de formular teorías acerca de por qué el mundo es como es. El trabajo de los profesores de ciencias consiste en inventar situaciones que agudicen la capacidad de los alumnos para examinar esas teorías, que les ayuden a reunir sistemáticamente los hechos del caso antes de llegar a deducciones precipitadas, y que pongan en evidencia las consistencias e inconsistencias de sus propias explicaciones.

5. CAMBIO CONCEPTUAL

El aprendizaje de la ciencia es un proceso de cambio conceptual por el que las concepciones alternativas se transforman en ideas científicamente aceptadas. Los modelos de cambio conceptual en la enseñanza de la ciencia suelen asumir la necesidad de activar las concepciones de los alumnos para someterlas a conflicto y, posteriormente, sustituirlas o transformarlas en ideas científicamente aceptadas.

El cambio conceptual alentado por este tipo de modelos no supone sólo el cambio de un concepto por otro, sino el de una forma de conceptualizar, la categoría natural o espontánea, por otra, el concepto científico. No implica tanto sustituir unas ideas por otras, como modificar las relaciones entre esas ideas; lo que cambia no son las ideas aisladas, sino las teorías de las que forman parte.

Para ayudar a los alumnos a comprender los principios en los que se fundan los conceptos científicos, es necesario cambiar los principios o supuestos implícitos en los que a su vez se funda el conocimiento cotidiano o alternativo y que constituye las teorías implícitas de los alumnos.

El reto que se plantea a los profesores de ciencias es cómo diseñar estrategias instruccionales que promuevan la evolución de las teorías ingenuas de los estudiantes, hacia los puntos de vista más sofisticados de los científicos. Este tipo de enseñanza por un cambio conceptual ofrece una salida alternativa a los modelos existentes de enseñanza de las ciencias.

En este modelo todo aprendizaje empieza con el conocimiento previo del estudiante y se ve posteriormente influido por él. Se sostiene que el desarrollo cognitivo en el aprendizaje de las ciencias supone una serie de cambios en los esquemas de conocimiento que los alumnos emplean.

Para que se produzca el cambio conceptual, se deben cumplir tres puntos fundamentales:

1. Las alumnas y alumnos deben sentirse insatisfechos con su punto de vista anterior.
2. La nueva idea debe ser internamente consistente (debe tener sentido), esto es, el punto de vista científico más sofisticado debe considerarse más plausible y más inteligente que el suyo propio.
3. La nueva idea debe ser aplicada en nuevas situaciones para establecer por qué es una explicación o un concepto más potente.

Según este modelo, las ideas de los niños sobre los conceptos científicos deben evaluarse no sólo con respecto a las opiniones científicas, sino también con respecto a las opiniones de sus compañeros. Un rasgo distintivo de esta perspectiva de enseñanza es la participación activa y el diálogo que se produce entre el profesor y los estudiantes y entre estos últimos. Es preciso que el diálogo identifique los conceptos iniciales, que ponga en tela de juicio los que son inadecuados, que introduzca el concepto más sofisticado y que demuestre cómo el nuevo concepto contribuye a una comprensión más completa y rica en el mundo natural.

Por lo tanto, para tener éxito en la tarea de modificar las ideas de los alumnos, se puede hablar de tres condiciones básicas:

- I. La enseñanza debe ayudar a los alumnos a intercambiar, evolucionar o ampliar sus ideas previas de un tema dado.
- II. La enseñanza debe presentar nuevas ideas de forma que sean inteligibles, plausibles y útiles para el alumno.
- III. La enseñanza debe ordenar los temas del currículo, a fin de tomar más en cuenta las intuiciones del alumno y/o las que pueda desarrollar.

En definitiva, lo que facilitaría el proceso de cambio conceptual no es tanto lograr que los alumnos cambien sus creencias e ideas, sino que desarrollen estrategias metacognitivas. Lograr el cambio conceptual no implica sólo un cambio en el conocimiento declarativo del individuo, en la estructura de su conocimiento específico de dominio, sino también un cambio actitudinal y estar relacionado con las habilidades de pensamiento del sujeto (capacidad para formular y comprobar hipótesis y desarrollo de estrategias metacognitivas).

Estos cambios resultan costosos y difíciles, especialmente si tenemos en cuenta las limitaciones de tiempo del profesor, la cantidad de contenidos que tiene que impartir y su disponibilidad limitada para atender del modo individualizado que exige un cambio de este tipo. Debido a estas dificultades, puede ser adecuado distinguir niveles de comprensión en las nociones incluidas en los contenidos escolares, de manera que el proceso de cambio sea gradual y no el objetivo a conseguir en un curso académico, sino a lo largo de una etapa educativa. Por otro lado, también es cierto que puede no ser razonable ni adecuado pretender que el alumno comprenda de manera profunda e integral todo lo que aprende. Habría que precisar qué contenidos es necesario que los alumnos comprendan y qué grado de comprensión queremos que posean, según el nivel educativo en el que se encuentren.

5. HISTORIA DE LA CIENCIA Y SU RELACIÓN CON LAS IDEAS PREVIAS

Existe cierta semejanza entre los esquemas alternativos de los alumnos en algunos campos y las concepciones históricas que fueron desplazadas por los conocimientos aceptados actualmente por la comunidad científica. Parece razonable suponer que dicha semejanza no puede ser accidental, sino el resultado de una forma también similar de abordar los problemas, esto es, una misma estrategia de aproximación a los mismos. Una estrategia caracterizada por la ausencia de dudas o consideración de posibles soluciones alternativas, por respuestas rápidas y seguras basadas en las evidencias del sentido común, por tratamientos puntuales sin búsqueda de una coherencia global en el análisis de diferentes situaciones.

Las concepciones preclásicas sólo pudieron ser desplazadas gracias a una nueva metodología que combinaba la creatividad del pensamiento divergente con el rigor en la contrastación de las hipótesis, mediante experimentos en condiciones controladas y la búsqueda de coherencia global. Por lo tanto, los cambios conceptuales de los alumnos exigen también un profundo cambio metodológico y epistemológico, pues se trata de que asimilen y fundamenten un conocimiento en contraste con el pensamiento común (sentido común).

Históricamente ese cambio, a la vez conceptual y metodológico, no fue fácil, y es lógico pensar que lo mismo ocurrirá con los estudiantes. Solamente si son puestos reiteradamente en situación de apropiarse de la nueva metodología (por ejemplo, en construcción de hipótesis, diseño de experimentos, realización y análisis cuidadoso de los resultados, con una atención particular a la coherencia global, etcétera), será posible que superen su metodología espontánea de sentido común, al tiempo que se producen los profundos cambios que exige la construcción del conocimiento científico.

A continuación, se presentará una visión general del desarrollo histórico de los conceptos de ácido y base, para posteriormente relacionarlo con las ideas previas más comunes encontradas en los estudiantes.

1. ESTRUCTURA LÓGICA DE LA QUÍMICA

William B. Jensen (1998), historiador y profesor de química, plantea un nuevo acercamiento en la discusión de la relevancia que tiene la historia de la Química en su enseñanza. De acuerdo con Jensen, el estudio de la historia nos da una pista sobre la manera lógica en la que se deberían organizar los conceptos y modelos actuales y, simultáneamente, nos revela muchos de sus supuestos e interrelaciones.

Jensen propone un esquema de la estructura lógica de la Química que sugiere una organización final a los modelos y conceptos vigentes en la química moderna y que se basa en su evolución histórica. Divide los conceptos y modelos de la Química en tres grandes clases o dimensiones, con base en su relación con la composición/estructura, con la energía, o con el papel del transcurso del tiempo en los procesos químicos. Cada una de estas dimensiones puede, a su vez, ser captada desde tres niveles conceptuales: el molar, el molecular y el eléctrico; cada uno corresponde históricamente a una gran revolución química.

Estos son los niveles que tomaremos en cuenta para hacer una descripción del desarrollo histórico de los conceptos de ácido y base y su evolución a través del tiempo; esto dentro de la dimensión de composición/estructura.

Para una mejor comprensión de esta división en la historia de la Química, describiremos las principales características de cada uno de estos niveles conceptuales.

NIVEL MOLAR

El término molar se usa para describir a las propiedades mecánicas, macroscópicas de la materia. Aquí se toma en cuenta la química de los sentidos, lo que se puede palpar, oler, saborear. Con base en el comportamiento de las sustancias en el laboratorio y la regla de las fases, en este nivel se puede distinguir entre sustancias puras, simples o compuestas y entre mezclas, homogéneas y heterogéneas. También se puede determinar qué tipos de compuestos están presentes en un material y las cantidades relativas expresadas

en porcentaje, ya que no existen referencias a fórmulas atómicas absolutas o relativas. Se hace una distinción de los compuestos basándose en propiedades como el color, el estado, la forma cristalina, etcétera. El concepto de estructura es por definición un concepto molecular por lo que se pierde en el nivel molar, y hasta el concepto de composición se reduce, porque existe la referencia a los elementos pero no a los átomos.

NIVEL MOLECULAR

Las definiciones de composición y estructura más detalladas y familiares las encontramos en este nivel. Se trata del mundo microscópico y de cómo está constituida la materia (átomos y moléculas). Entendiendo por composición, a nivel molecular, toda la información relacionada con el tipo y número de átomos presentes en la molécula: es el inventario de partes que la conforman. Por estructura se entiende toda la información relacionada tanto a la conectividad, como a arreglos espaciales de los átomos presentes en una molécula. En este nivel se trata a un átomo aislado como una molécula monoatómica.

NIVEL ELÉCTRICO

A pesar de lo poderoso que es el nivel molecular, todavía deja muchas preguntas sin resolver. ¿Cómo y por qué se combinan ciertas moléculas?, ¿Por qué unas son más estables que otras?, etcétera. Las respuestas a estas preguntas se encuentran en el nivel eléctrico. Por eléctrico, se entiende que toda la materia está formada por pequeños conjuntos de partículas eléctricas (en este caso: electrones, protones y neutrones). Se puede hablar entonces acerca de arreglos de electrones y núcleos en las especies, en vez de únicamente átomos. En este nivel se explica por qué se pueden alterar propiedades cambiando la composición o estructura electrónica de las especies.

2. REVOLUCIONES QUÍMICAS

Los niveles anteriormente descritos corresponden, de acuerdo con Jensen, a tres revoluciones químicas dentro de la química moderna. Cada una se ubica en un periodo aproximado de 20 años que representa un rápido desarrollo y consolidación de las ideas. Sin embargo, en cada caso existe una historia previa y un periodo de refinamiento consecuente.

PRIMERA REVOLUCIÓN QUÍMICA (1770-1790)

Con esta revolución se inicia el nivel molar y se conoce como la revolución de Lavoisier. Inicia en 1772, cuando Lavoisier se interesa en el papel de los gases en las reacciones químicas, hasta la publicación de su famoso "Tratado Elemental de la Química". El verdadero significado del trabajo de Lavoisier está en las implicaciones que tiene, a nivel molar, el concepto de composición química, más que en una simple revisión de los modelos de combustión y respiración. La teoría del oxígeno de Lavoisier da un vuelco completo a la teoría del flogisto, sustituyendo "más oxígeno" por "menos flogisto" en todos los procesos químicos conocidos. En esta primera revolución se hace una reinterpretación radical del pensamiento existente.

SEGUNDA REVOLUCIÓN QUÍMICA (1855-1875)

Esta revolución da inicio al nivel molecular y, a diferencia de la primera, no se debe principalmente a una persona, sino a un grupo de químicos cuyas contribuciones generaron el surgimiento de los conceptos de valencia, estructura molecular y la solución al problema de la determinación de los pesos moleculares y atómicos. Empieza aproximadamente en 1852, cuando Edward Frankland reconoció el concepto de valencia y se extiende hasta 1874, cuando Jacobus van't Hoff postuló el átomo tetraédrico de carbono. Una de las contribuciones importantes de esta revolución fue el reemplazo de las clasificaciones ácido-base

o dualistas de los elementos, por clasificaciones según la valencia, y culminó con el desarrollo de la tabla periódica de Mendeleiev. Sin embargo, el papel clave fue del químico italiano Stanislao Cannizzaro, cuando resolvió el problema de la determinación de pesos atómicos consistentes; ello permitió a los químicos escoger entre varias visiones especulativas de la composición y estructura molecular. En esta revolución se resuelve un largo debate cuya solución cambió los tipos de problemas que los científicos eran capaces de abordar.

TERCERA REVOLUCIÓN QUÍMICA (1904-1924)

A diferencia de las dos primeras revoluciones que fueron únicamente en el campo de la química, la tercera revolución, que da inicio al nivel eléctrico, no sólo involucró a muchos participantes, sino que se compartió con el campo de la física. Con respecto a la química, incluye el periodo entre 1904, cuando Richard Abegg sugirió una correlación entre la tabla periódica y los electrones de valencia, y 1923, cuando Gilbert Newton Lewis publicó su monografía clásica "Valencia y Estructura de Átomos y Moléculas". Esta tercera revolución significó la apertura de un nuevo nivel teórico de entendimiento que transformó a las viejas teorías en casos especiales.

3. DESARROLLO HISTÓRICO DE LOS CONCEPTOS DE ÁCIDOS Y BASES

En esta sección veremos que las diferentes definiciones que se han dado a lo largo de la historia de estos conceptos, pertenecen a los tres niveles considerados por Jensen: el molar, el molecular y el eléctrico.

ANTECEDENTES

El término ácido viene del latín *acidus* que significa agrio, y probablemente se usó por primera vez, en un sentido concreto, para el vinagre. La palabra álcali viene del árabe *al-qaliy*, que significa las cenizas calcinadas de ciertas plantas. Por tanto, originalmente álcali se aplicaba a la potasa o al carbonato de potasio que era el primer producto del proceso de calcinación. La palabra sal parece relacionarse no sólo al latín *sal* sino al anglosajón *sealt* y al gótico *salt*, todos los cuales probablemente vienen de una raíz sánscrita común. Originalmente se aplicaba a la sal de mar o al cloruro de sodio.

Con el tiempo estos tres términos denotaron a clases de sustancias con ciertas características comunes físicas y químicas. En el siglo XVII, los escritos de Boyle muestran un número creciente de propiedades que caracterizaban a los ácidos y a los álcalis. Entre las propiedades que definían alcalinidad, Boyle enlistó la habilidad de generar soluciones jabonosas, disolver aceites y sulfuros, restaurar los colores vegetales cambiados por los ácidos y reaccionar con los ácidos para dar sales neutras. Los ácidos se caracterizaban por su sabor agrio y por su habilidad para disolver muchas sustancias, precipitar sulfuro de soluciones alcalinas sulfuradas, volver rojos los colores vegetales azules y perder todas estas propiedades cuando tenían contacto con los álcalis. La formación de sales a partir de un ácido y un álcali llevó a la visión de que una sal siempre podía ser vista como derivada de dos constituyentes de naturalezas opuestas, aun cuando éstas no se conocieran como sustancias separadas. Algunas veces el constituyente no-ácido se conocía, pero no tenía ninguna de las propiedades típicas de los álcalis. Esto pasaba por ejemplo con los óxidos o hidróxidos de metales pesados y, en esos casos, se volvió usual el término "base" en vez de "álcali" para el constituyente no ácido de una sal. Originalmente, el término álcali se refería a carbonatos de sodio, potasio y amonio que al reaccionar con agua formaban soluciones acuosas básicas. El término *base* fue usado por primera vez por Duhamel du Monceau en 1736, pero su introducción al vocabulario químico se debe principalmente a Rouelle. Él señaló que el número de sales conocidas había aumentado enormemente durante el siglo diecisiete y principios del dieciocho. Formuló el concepto de la formación de una sal

definiendo a una *sal neutra* como el producto formado por la unión de un ácido con una sustancia, ya sea ésta un álcali soluble en agua, tierra absorbente, metal o aceite, capaz de servir como una "base" para la sal dándole una forma concreta.

En el siglo diecisiete se conocían la mayor parte de los ácidos minerales comunes (y ciertas mezclas ácidas como el *agua regia*), así como el vinagre y una variedad de extractos ácidos animales y vegetales que no estaban muy bien definidos (p.e. jugos gástricos, jugos de frutas). Tal vez la primera sustancia ácida que se conoció fue el vinagre, que los antiguos egipcios produjeron al exponer vino al aire. Tratado de esta manera, el vino puede contener de 3 a 6 % de ácido. Se sabe que el ácido acético se forma por oxidación aérea del alcohol etílico, uno de los constituyentes del vino, y que las bacterias presentes en jugos de fruta fermentados producen una enzima que cataliza la oxidación. Durante la Edad Media, los alquimistas prepararon sustancias ácidas muy fuertes, como el ácido nítrico, el ácido clorhídrico y el ácido sulfúrico. El ácido "agua regia" se preparaba mezclando ácido clorhídrico con ácido nítrico y era conocido por su habilidad para "disolver" metales preciosos como platino, plata y oro. La "potasa" se obtenía al filtrar lentamente cenizas de madera con agua y se ha usado por siglos en la manufactura del jabón.

Al crecer el campo de actividad de la química, aumentó el entendimiento y las propiedades de estos compuestos. Desde los tiempos medievales se sabía que si una sustancia ácida era mezclada con otra básica, la solución obtenida no tenía las características ni de una ni de otra. Se decía que los ácidos y las bases se neutralizaban mutuamente. Se intentó hacer una clasificación de todas las sustancias como ácidos o bases, pues se esperaba que toda la química fuera entendida en términos de sus interacciones. Robert Boyle fue de los primeros que se dieron cuenta de que no todas las sustancias podían ser clasificadas como ácidos o bases; sus experimentos probaron que muchos materiales no entraban dentro de estas categorías.

En el siglo diecisiete, no sólo se vio el desarrollo de una teoría de formación de ácido-álcali y sal, sino que hubo un serio desafío a la doctrina de cualidades o principios hasta ese momento aceptada, que había dominado el pensamiento químico desde los tiempos de los griegos y en la que las propiedades eran

aditivas. Es decir, una sustancia era roja porque tenía un componente rojo y presentaba características metálicas porque contenía componentes metálicos.

PRIMERAS TEORÍAS DE ÁCIDOS Y BASES

Teorías mecánicas de la acidez y la basicidad

El principal impulsor de esta nueva aproximación mecánica a la química fue Boyle. Desde su punto de vista, todos los fenómenos químicos y físicos se podían reducir a alteraciones en el tamaño, forma, arreglo y movimiento de las partículas de alguna materia primaria, que por sí misma no tenía estas propiedades.

Los escritos de Boyle proporcionaron, para su época, una de las mejores descripciones de las propiedades químicas de los ácidos y los álcalis. Sin embargo, no dio una explicación mecánica específica de la acidez y la alcalinidad. Boyle sintió que estos conceptos no eran principios *explicatorios*, como pensaban la mayoría de los químicos del siglo diecisiete, sino propiedades secundarias de una sustancia, como el color o la apariencia metálica y que, como ellas, eran consecuencia de la forma mecánica y el arreglo de sus partículas constitutivas. Boyle nunca dijo cuáles eran precisamente estos arreglos o formas que daban esas características.

Años después, todavía en el siglo diecisiete, Newton transformó la química puramente mecánica de Boyle, a una química dinámica; agregando a la lista de parámetros atómicos, el concepto de fuerzas interparticulares. Sin embargo, los sueños reduccionistas de Boyle y Newton tuvieron que esperar hasta el advenimiento de la teoría electrónica de la materia en el siglo veinte.

El reconocimiento gradual de los ácidos y los álcalis como conceptos genéricos, originó especulaciones acerca de los principios universales de acidez y alcalinidad. Algunos sentían que los dos principios existían, y que la neutralización resultaba de su mutua destrucción; mientras que otros postulaban sólo el principio de acidez: los álcalis tenían una deficiencia de este principio y los ácidos un exceso; la neutralización era un equilibrio del mismo.

Teoría del flogisto

En el siglo dieciocho hubo una reducción gradual del número de principios químicos debido al surgimiento del principio del flogisto, que absorbió la mayoría de las propiedades químicas. Desde que se propuso en 1702 por Stahl, hasta su fallecimiento en manos de Lavoisier a finales del siglo, este principio cambió camaleónicamente para ajustarse a los hechos y dificultades que se le presentaban. Originalmente fue un principio de inflamabilidad, pero fue capaz de explicar el origen de la alcalinidad al sostener que un incremento del flogisto siempre llevaba a un aumento de la alcalinidad. Los ácidos minerales se explicaban mediante un principio ácido en combinación con una "base" específica, característica de cada especie ácida. El observar que estos ácidos se producían por la combustión de azufre, fósforo o carbón, llevó a la suposición de que estos combustibles estaban compuestos por el ácido correspondiente y el flogisto. Los combustibles, por sí solos, eran neutros, y la combustión removía el flogisto liberando al ácido.

En general, los agentes reductores (incluyendo los metales) y los álcalis eran especies ricas en flogisto; los agentes oxidantes y los ácidos eran especies pobres en flogisto. La oxidación-reducción era una transferencia de flogisto del agente reductor rico en flogisto al agente oxidante pobre en flogisto. La neutralización era una redistribución o compartición del flogisto entre el álcali y el ácido.

NIVEL MOLAR

Teoría del oxígeno

El hecho de que todos los ácidos presentaban ciertas propiedades físicas y químicas comunes, sugirió la búsqueda de un *principio acidificante*, que se creía era una sustancia común a todos los ácidos. Una de las primeras teorías importantes acerca de los ácidos fue propuesta por Antoine Lavoisier (1743-1794). Sus experimentos mostraron que varios elementos, como carbono,

nitrógeno y azufre, se quemaban en oxígeno produciendo compuestos que al entrar en contacto con agua generaban ácidos.

El sistema de Lavoisier representó una transición entre la "química de principios", que caracterizó los siglos diecisiete y dieciocho, y la "química de composición y estructura", que caracterizaría el siglo diecinueve. Originalmente, éste planteaba que el oxígeno era el principio de la acidez, el hidrógeno el principio del agua y el nitrógeno un posible principio de la alcalinidad. Pero su sistema final se basó únicamente en el principio universal de acidez-"oxígeno" (del griego que significa "formador de ácido"). Los ácidos eran sustancias fuertemente oxidantes, y el oxígeno impartía las propiedades genéricas de la acidez. Por otro lado, las sustancias débilmente oxidadas se podían combinar con otras fuertemente oxidadas (ácidos) para dar sales neutras. Este sistema era una versión invertida del sistema del flogisto. Los agentes reductores y bases ahora eran especies pobres en oxígeno; los agentes oxidantes y ácidos eran especies ricas en oxígeno. El fenómeno ácido-base no era más que una fase limitada del fenómeno de oxidación-reducción.

El sistema de Lavoisier era dualista en su naturaleza. Estaba basado en la clasificación de los compuestos de acuerdo a los conceptos de ácido, base y sal. En la primera mitad del siglo diecinueve, el químico sueco Berzelius, apoyó este sistema dualista y lo combinó con su propia teoría de afinidad electrónica. Postuló que todos los átomos contenían electricidad tanto positiva como negativa, pero en cantidades diferentes. En el caso de los elementos electronegativos, predominaba la electricidad negativa y en los elementos electropositivos, la positiva. La afinidad química se debía a la atracción y neutralización de cargas opuestas. En el sistema de Berzelius el oxígeno era considerado como absolutamente negativo. La oxidación de un elemento débilmente electropositivo daba un ácido y la oxidación de un elemento fuertemente electropositivo daba una base. Si el ácido y la base eran de igual fuerza, se podían combinar para dar una sal neutra.

Teoría del hidrógeno

Mientras Lavoisier formulaba su teoría del oxígeno, se iban acumulando evidencias en su contra. Pronto se descubrió que muchos óxidos, como los de sodio, potasio y calcio, daban álcalis en vez de ácidos al mezclarlos con agua, lo que no concordaba con la teoría de Lavoisier. En 1787, Berthollet había demostrado que el ácido cianhídrico y el sulfuro de hidrógeno no contenían oxígeno, pero esto no tuvo mucha importancia ante lo que este sistema parecía prometer. Una de las excepciones más obvias, el ácido clorhídrico, que era conocido en ese tiempo, no contenía oxígeno y debió haber desacreditado la teoría. Sin embargo, el elemento cloro todavía no había sido descubierto y Lavoisier pensó que la parte clorada de la molécula era en realidad una mezcla de elementos y que uno de ellos era oxígeno. Finalmente en 1810, después de repetidos intentos para detectar la presencia de oxígeno en el cloro, Davy llegó a la conclusión de que con base en la propia definición operacional de Lavoisier, el cloro era un elemento. A partir de varios estudios con los halógenos (Cl_2, F_2, I_2), Davy atribuyó a la acidez la particular combinación del hidrógeno con algún halógeno. Sostuvo, en un principio, que la acidez no dependía de ciertas sustancias elementales, sino de combinaciones peculiares de varias sustancias. Sin embargo, pronto se hizo evidente que las sustancias comúnmente conocidas como ácidos contenían hidrógeno y Davy lo reconoció como elemento esencial en un ácido.

Muchos químicos seguían todavía con la idea de un único principio acidificante. La observación de Davy, de que el hidrógeno era componente de prácticamente todos los ácidos conocidos, llevó a algunos a pensar que éste era el tan deseado principio acidificante. La gran influencia de Berzelius y la inercia natural de las ideas aceptadas, ocasionó que estos dos principios incompatibles vivieran una difícil coexistencia en los libros de la época, bajo la categoría de hidrácidos y oxiácidos.

Con el tiempo se hizo evidente que existían muchas sustancias que contenían hidrógeno y que no presentaban propiedades ácidas. En 1838, Liebig sugirió que el verdadero ácido consistía del antiguo ácido-óxido y el agua "básica" juntos, y que su basicidad dependía del número de átomos de hidrógeno

reemplazables, más que en el número de moléculas de agua reemplazables. De acuerdo a Liebig, los ácidos eran compuestos de hidrógeno en los cuáles éste podía ser reemplazado por metales.

Los ácidos y las bases no siguieron siendo los componentes reales de las sales, sino que fueron los compuestos tipo de los que todas las sales derivaban por sustitución. La neutralización ya no fue adición sino desplazamiento. La teoría de acidez del hidrógeno fue en general aceptada hacia la segunda mitad del siglo diecinueve.

Una tercera aproximación a los conceptos de ácido y base evolucionó durante el siglo diecinueve y su principal promotor fue el químico escocés Thomson. Éste veía a la acidez y a la basicidad como propiedades relativas puras que reflejaban las relativas afinidades de diferentes sustancias. Ácido y base representaban las diferentes funciones o papeles que dos sustancias jugaban en una reacción.

DEFINICIONES MODERNAS ÁCIDO-BASE

Las definiciones modernas de ácido y base se pueden clasificar como iónicas o electrónicas. Las definiciones iónicas ven a los ácidos y a las bases como fuentes características de iones, mientras que las definiciones electrónicas ven a los ácidos y a las bases como fuentes de densidad electrónica. Las definiciones iónicas se pueden subdividir en dependientes o independientes del disolvente.

NIVEL MOLECULAR

Definiciones de Arrhenius

Las primeras teorías iónicas dependientes del disolvente surgieron a partir de la teoría de disociación iónica propuesta por Arrhenius en 1887 y, después de más de 100 años, todavía se enseñan en la mayor parte de los cursos introductorios de Química. Las ideas de Arrhenius parten de su trabajo doctoral en la conductancia eléctrica de las soluciones, particularmente de las soluciones

ácidas. La creencia prevalecte en esos tiempos era que al pasar una corriente eléctrica en ciertas soluciones se formaban especies cargadas, llamadas iones. En contraste, Arrhenius sugirió que los iones existían en solución aun en ausencia de la corriente eléctrica. Específicamente, él propuso que ciertas sustancias, al ser disueltas en agua, se disociaban espontáneamente en iones positivos y negativos. Arrhenius definió a un ácido como una sustancia capaz de producir iones hidrógeno al disociarse en una solución acuosa, de acuerdo a la reacción: $HA \xrightarrow{H_2O(\text{disolvente})} H^+ + A^-$.

La teoría dio una explicación satisfactoria al hecho de que todas las soluciones ácidas tienen propiedades similares. Las propiedades ácidas, de acuerdo con Arrhenius, se debían al H^+ presente en todos los ácidos. Él definió a una base como una sustancia capaz de producir iones hidróxido por disociación acuosa, de acuerdo con la reacción: $MOH \xrightarrow{H_2O(\text{disolvente})} M^+ + OH^-$.

Las propiedades básicas eran atribuidas al ion hidróxido presente en todas las soluciones básicas. La neutralización, que causaba la desaparición de las propiedades tanto ácidas como básicas, resultaba de la reacción de un ion hidrógeno con un ion hidróxido para formar agua: $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$.

La teoría ácido-base de Arrhenius es, aún hoy en día, útil; sin embargo, hay dos aspectos que restringen su uso. Una limitante surge del hecho de que la teoría requiere la disociación de iones antes de experimentar cualquier reacción característica ácido-base. Hay muchos disolventes de uso común en los que no ocurre la disociación, y la teoría de Arrhenius no permite que se considere como una reacción ácido-base a una reacción que ocurra en dicho disolvente. Una segunda limitación es que la teoría no explica por qué algunas sustancias tienen propiedades ácidas y no contienen ion hidrógeno; y por qué algunas sustancias presentan propiedades básicas y no contienen ion hidróxido.

Por otro lado, de acuerdo con la explicación dada por Arrhenius, los ácidos se comportan exactamente como sales de hidrógeno y las bases como sales de hidróxido, por lo que surge el cuestionamiento de por qué darles nombres especiales (ácido y base). Además, históricamente el disolvente había sido visto como un medio químico inerte en el que los reactivos eran dispersados. En su forma original, la teoría de disociación iónica tendía a ver al disolvente como un

“rellenador” entre iones, jugando el mismo papel que el espacio vacío entre las moléculas de un gas. Esta posición no pudo ser mantenida, pues el disolvente es un reactivo químico tanto como las otras especies en el sistema.

Las definiciones de Arrhenius claramente reconocen que las especies químicamente reactivas o insaturadas en las reacciones ácido-base no son las especies de soluto neutras, sino los iones que ellas generan en la disociación con agua. Los ácidos y bases de Arrhenius no se neutralizan directamente entre sí, la reacción de neutralización es entre los iones característicos.

Aun con estas restricciones, la teoría de Arrhenius se utiliza ya que es simple y fácil de entender, siempre y cuando el disolvente sea el agua. Además explica en gran medida el comportamiento ácido-base.

Definiciones del sistema del disolvente

A finales del siglo diecinueve, los químicos empezaron a explorar la química de un gran número de sistemas de disolventes no acuosos y pretendieron usar como base, la teoría de disociación iónica y las definiciones ácido-base de Arrhenius que habían resultado tan efectivas en sistemas acuosos.

Las definiciones de Arrhenius se generalizaron para sistemas no acuosos de la manera siguiente:

- Un ácido es un soluto que incrementa la concentración del catión característico del disolvente, al dar este catión como uno de los productos de su disociación iónica en solución.
- Una base es un soluto que incrementa la concentración del anión característico del disolvente, al dar este anión como uno de los productos de su disociación iónica en solución.
- La neutralización es la reacción del catión del disolvente con el anión del mismo, para dar el propio disolvente.

El desarrollo de las definiciones del sistema del disolvente fue el trabajo de un gran número de investigadores. En 1923, Lewis generalizó las definiciones de este sistema diciendo que para cualquier disolvente, un ácido es una sustancia

que produce el catión o se combina con el anión del disolvente, y una base es una sustancia que produce el anión o se combina con el catión del disolvente.

Estas definiciones pueden aplicarse en todos los casos en que el disolvente tiene una reacción de autoionización muy grande (que el disolvente se disocie en un catión y un anión), sin importar el que intervengan o no los protones. Esta teoría explica por qué el carácter ácido o básico de una sustancia no es una propiedad que pueda definirse sólo en función del soluto y da una explicación lógica del comportamiento en un disolvente en particular. Sin embargo, incluso en sus formas más generales, las definiciones del sistema del disolvente presentan muchas deficiencias. Restringen el comportamiento ácido-base a fase líquida; ponen demasiada importancia al fenómeno de disociación iónica, por lo que no se pueden aplicar a disolventes no iónicos; no dan una idea de las muchas propiedades de los ácidos y las bases, como por ejemplo: el efecto catalítico y la acción en los indicadores, que comúnmente persiste en los disolventes que no originan o liberan cationes o aniones o hasta en completa ausencia de disolvente; en algunos casos hay evidencia experimental de que los mecanismos de reacción no son los correctos; y, finalmente, resulta inconveniente utilizar palabras comunes como ácido y base, en un sentido que cambie de acuerdo al disolvente.

Definiciones de Brønsted-Lowry (definiciones protónicas)

El desarrollo de las definiciones ácido-base se había orientado, hasta el siglo veinte, hacia los ácidos. En la mayor parte de los casos los ácidos eran los que recibían una definición explícita y una justificación teórica, mientras que las bases usualmente se definían en términos de su habilidad para reaccionar con los ácidos.

En 1920, Langmuir escribió que los ácidos eran sustancias de cuyas moléculas se podía *desprender* hidrógeno, mientras que las bases eran sustancias cuyas moléculas podían *tomar* hidrógeno. Entre más fácilmente desprendía hidrógeno, más fuerte resultaba el ácido; y entre mayor era la tendencia a tomar el hidrógeno, más fuerte era la base. Tres años más tarde

surgieron, independientemente, definiciones similares con Lowry en Inglaterra y Brønsted en Dinamarca. Brønsted y sus estudiantes refinaron estas definiciones y proporcionaron los datos experimentales necesarios para cuantificarlas. Las definiciones protónicas se conocen comúnmente como las definiciones ácido-base de Brønsted-Lowry.

En su forma final, las definiciones son las siguientes:

- Un ácido es una especie que actúa como donador de protones; entre más fuerte sea la habilidad donadora, más fuerte será el ácido.
- Una base es una especie que actúa como aceptor de protones; entre más fuerte sea su habilidad aceptora, más fuerte será la base.

De acuerdo con esto, todas las reacciones ácido-base son transferencia de protones. En esta teoría, la definición de un ácido es similar a la de Arrhenius, pero difiere en que no se limita a soluciones acuosas y no requiere disociaciones para formar iones. Por otro lado, la definición de una base es considerablemente diferente a la de Arrhenius. Esto se ilustra en la siguiente ecuación:

$NH_3 + HF \rightarrow NH_4^+ + F^-$. En esta reacción, el ácido fluorhídrico dona o transfiere un protón a la base (amoníaco).

Estas definiciones tienen muchas consecuencias importantes. Primero, muestran el papel que juega el disolvente en la disociación iónica de los ácidos. Segundo, son independientes del disolvente. A pesar de que se pueden aplicar a transferencias de protón entre el soluto y el disolvente, pueden ser igualmente aplicables a transferencias de protones entre especies en fase gaseosa, fase sólida, fase gaseosa y sólida, etcétera. Así como transferencias entre dos especies de soluto en un disolvente no iónico. Tercero, generalizan el concepto de ácido y base para incluir no sólo a sustancias puras que se pueden aislar en fases separadas, sino también especies transitorias capaces de existir únicamente en solución; por lo que los ácidos pueden ser moléculas neutras, cationes o aniones. Cuarto, las definiciones son cuantificadas fácilmente en términos del equilibrio competitivo protónico entre muchos ácidos y una sola base de referencia; en solución acuosa, la base de referencia es el agua. Quinto, las definiciones reparan parcialmente los defectos semánticos de las definiciones de Arrhenius y del sistema del disolvente, ya que el nombre de ácido se aplica todavía a la fuente

de iones en vez de aplicarse al ion responsable de las propiedades ácidas del sistema. Los ácidos de Brønsted son todavía los ácidos de Arrhenius; el cambio se encuentra en las bases, ya que las bases de Arrhenius son fuentes de una única base de Brønsted, el ion OH^- . El concepto de Brønsted-Lowry es más amplio e inclusivo que la teoría de Arrhenius.

En la actualidad sabemos que un protón aislado es inestable en solución acuosa; existe en forma de ion hidronio, H_3O^+ , el cual está unido a una o más moléculas de agua con enlaces covalentes: $H^+ + H_2O \rightarrow H_3O^+$. Según Arrhenius, un ácido HA se disociaba al disolverse dando un protón y un anión disueltos: $HA \xrightarrow{H_2O} H^+(ac) + A^-(ac)$. Desde el punto de vista de Brønsted-Lowry, estas reacciones se consideraban como un proceso único en vez de una secuencia de dos pasos: $HA + H_2O \rightarrow H_3O^+ + A^-$.

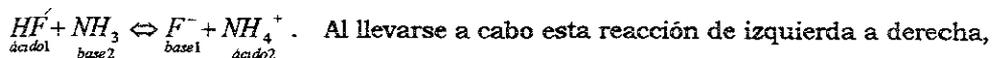
La teoría de Brønsted-Lowry obviamente dependía de la existencia real del ion hidronio. Ellos propusieron su teoría en 1923, y la primera prueba de la existencia del ion hidronio se obtuvo un año después, cuando se vio que los cristales del ácido perclórico monohidratado, $HClO_4 \cdot H_2O$, tenían el mismo aspecto que los cristales de perclorato de amonio, $NH_4^+ \cdot ClO_4^-$. Esta similitud de apariencia sugería una similitud entre sus fórmulas. La conclusión obvia fue que el ácido perclórico sólido contenía un ion hidronio que era análogo al ion amonio, y que la estructura real del ácido perclórico sólido era $H_3O^+ \cdot ClO_4^-$. Décadas después, cuando se obtuvieron las estructuras cristalinas de los hidratos ácidos, se demostró que la propuesta era correcta. Posteriormente, se encontraron pruebas de que el ion hidronio forma puentes de hidrógeno con tres moléculas de agua vecinas, dando lugar a especies con la fórmula $H_9O_4^+$. Éstas a su vez, como todo los iones, interactúan con otras moléculas de agua por medio de fuerzas ion-dipolo. Sin embargo, para simplificar, por lo general se hace caso omiso de las moléculas de hidratación.

La característica central de esta teoría es la importancia del disolvente, que se autoioniza por su propia reacción ácido-base. El agua sufre cierta autoionización para dar el ion hidronio y el ion hidróxido. Durante la

autoionización, la molécula de agua que dona el ion hidrógeno es un ácido y la molécula de agua que acepta el ion hidrógeno es una base. Si consideramos el proceso inverso, vemos que el ion hidronio actúa como donador del ion hidrógeno (un ácido) y el ion hidróxido (una base) es un aceptor del ion hidrógeno. Dos especies cuya fórmula difiere en un ion hidrógeno se denominan par ácido-base conjugado. En este caso, el agua es la base conjugada del ion hidronio y el ácido conjugado del ion hidróxido. La capacidad de una sustancia para actuar indistintamente como ácido o como base se llama comportamiento anfiprótico o anfótero. El comportamiento ácido o básico por lo regular depende de una reacción química con el disolvente, en este caso, agua.

El concepto de pares conjugados ácido-base es otro importante aspecto de esta teoría. Cuando un ácido como el HCl dona su protón, la especie que queda (Cl^-) es la *base conjugada* del ácido. Cuando la base NH_3 acepta un protón, el resultado (NH_4^+) es el *ácido conjugado* de la base. Los ácidos débiles tienen fuertes bases conjugadas mientras que los ácidos fuertes tienen débiles bases conjugadas.

También el concepto de reversibilidad en las interacciones ácido-base es un punto de gran importancia en la teoría de Brønsted-Lowry. La reversibilidad implica que las especies pueden adquirir un protón y después perderlo en el proceso contrario. La ecuación se puede reescribir de la forma siguiente:



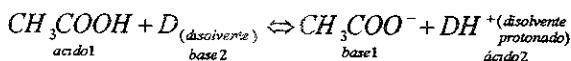
es una reacción ácido-base ordinaria entre un donador de protón HF (ácido1) y un aceptor de protón NH_3 (base2). Los productos de la reacción son el ion amonio, el ácido conjugado del amoniaco, y el ion fluoruro, la base conjugada del ácido fluorhídrico. La reacción es reversible, una reacción ácido-base en las dos direcciones. Las especies en el lado izquierdo de la ecuación tienen una relación de pares conjugados con las especies de la derecha.

Las reacciones ácido-base de Brønsted-Lowry se pueden escribir en la forma general: $\text{ácido}_1 + \text{base}_2 \Leftrightarrow \text{ácido}_2 + \text{base}_1$. En una mezcla que contenga las cuatro sustancias, el que la reacción proceda de izquierda a derecha o de derecha a

izquierda depende de la fuerza relativa y de las concentraciones de los ácidos y las bases involucrados.

La teoría de Brønsted-Lowry define la fuerza de un ácido en términos de la tendencia que tiene para donar un protón. Entre mayor sea la tendencia de la sustancia a donar un protón, mayor será su fuerza ácida. Consideremos la reacción entre ácido acético y agua: $CH_3COOH + H_2O \rightleftharpoons CH_3COO^- + H_3O^+$.
ácido1 base 2 base1 ácido2

Como se ve en la ecuación, el disolvente actúa como base aceptando un protón del ácido acético; en el proceso, el disolvente se convierte a su forma protonada, es decir, a su ácido conjugado. En el sistema de Brønsted-Lowry, las interacciones ácido-base se pueden llevar a cabo en disolventes no acuosos. En forma general, la reacción se representa:



La fuerza del ácido acético depende no sólo de su inherente tendencia a donar protones, sino también de la habilidad del disolvente para aceptarlos. Para discutir la fuerza relativa de diferentes ácidos debemos comparar su tendencia a donar protones en un mismo disolvente. El disolvente usado en estas comparaciones casi siempre es el agua, por lo que la fuerza relativa de un ácido se define comúnmente como la tendencia de un ácido a donar un protón al agua. Si todas, o casi todas, las moléculas del ácido presentes originalmente transfirieron un protón al agua, la concentración resultante de H_3O^+ será grande, y se dice que el ácido es fuerte. Si sólo una pequeña cantidad de moléculas del ácido dona protones, la concentración de H_3O^+ es pequeña, y se dice que el ácido es débil. El ácido acético es un ejemplo de ácido débil; en concentraciones ordinarias sólo el 3% de las moléculas de ácido acético donan un protón al agua. El hecho de que el ácido acético sea un ácido débil, significa que la reacción tiene menos tendencia a proceder de izquierda a derecha que de derecha a izquierda. Las tendencias opositoras llegan a la condición de equilibrio, y como el ácido se ioniza muy poco, se dice que el equilibrio se desplaza hacia la izquierda.

La constante de equilibrio es una medida cuantitativa de la fuerza ácida. Para reacciones de este tipo, la constante de equilibrio se define como el producto

de las concentraciones molares de los productos divididas por el producto de las concentraciones molares de los reactivos: $HA + D \leftrightarrow DH^+ + A^-$

$$K = \frac{[DH^+][A^-]}{[HA]}$$

Si el ácido es débil y el equilibrio se desplaza a la izquierda, el producto del numerador es menor que el producto del denominador y la constante de equilibrio es un número pequeño, mucho menor que 1. Entre más débil sea el ácido, más pequeña será la constante de equilibrio. Los ácidos fuertes tienen valores de K grandes, usualmente mayores de varios cientos. El mismo razonamiento se aplica a las bases de Brønsted-Lowry.

El comportamiento ácido o básico depende generalmente de una reacción química con el disolvente. El ácido de Brønsted-Lowry más fuerte que puede existir en cualquier disolvente es el ácido conjugado del disolvente. En solución acuosa, el ácido más fuerte posible es el ion hidronio y la base más fuerte posible es el ion hidróxido. Las reacciones no tienen que efectuarse en agua; cualquier sistema de disolvente que contenga hidrógeno ionizable es apropiado.

Estas definiciones también tienen deficiencias, como por ejemplo: que no se pueden aplicar a sistemas no-protónicos, ya que todas las interacciones ácido-base se reducen a transferencias de protones y, por lo tanto, no existen conceptos tales como formación de sales o neutralización. La teoría de Brønsted-Lowry funcionó bien para el estudio de reacciones en disolventes que contienen hidrógeno, y se sigue usando en tales circunstancias. Sin embargo, pronto se hizo evidente que era posible aplicar conceptos ácido-base a reacciones en las que no ocurría transferencia de hidrógeno.

Definiciones ionotrópicas

En 1939, Lux propuso unas definiciones de ácido y base para mezclas de óxidos, basadas en el concepto de reacciones de transferencia del ion óxido (O^{2-}). Flood enfatizó que estas definiciones podían considerarse como una inversión a las definiciones de Brønsted-Lowry, y que estaban basadas en la transferencia de un anión más que en la de un protón (catión). En la teoría de Lux y Flood, los ácidos

se definen como aceptores de iones óxido y las bases como donadores de iones óxido. Este concepto es muy útil en relación con sistemas anhidros de alta temperatura, como los que se presentan en cerámica y metalurgia, y guarda una relación directa con la química en solución acuosa de ácidos y bases; las bases son óxidos que reaccionan con el agua para producir bases y los ácidos son los anhídridos de los ácidos en solución acuosa.

En 1954, Gutmann y Lindqvist propusieron un conjunto generalizado de definiciones ionotrópicas ácido-base. En el caso de transferencias de cationes (cationotrópicas), un ácido se define como un donador de cationes y una base como un aceptor de cationes. En el caso de las definiciones con transferencias de aniones (anionotrópicas), el ácido es un aceptor de aniones y la base un donador de aniones.

Todas estas definiciones son independientes del disolvente y pueden cuantificarse por medio del equilibrio competitivo, usando una base de referencia estándar en el caso de las definiciones cationotrópicas y un ácido de referencia estándar en el caso de las definiciones anionotrópicas.

NIVEL ELÉCTRICO

Definiciones de Lewis

En 1923, Lewis propuso un conjunto de definiciones que caracterizaba a las reacciones ácido-base en términos de una redistribución de los electrones de valencia de los reactivos, más que en términos de generación y redistribución de los iones característicos. Estas definiciones estaban basadas en su hipótesis de la formación de enlaces con pares de electrones compartidos, propuesta en 1916. Lewis generalizó el concepto de ácidos al incluir todas las especies que jugaban el papel de aceptores de pares electrónicos. De acuerdo a las definiciones de Lewis, una sustancia básica es aquella con un par electrónico solitario que puede ser usado para completar el grupo estable de otro átomo; y una sustancia ácida es aquella que puede emplear un par de electrones solitario de otra molécula o ion,

para completar el grupo estable de uno de sus propios átomos. En otras palabras, la especie básica *suministra* un par de electrones para un enlace químico y la especie ácida *acepta* este par. Estas definiciones incluyen las de Brønsted-Lowry como un caso especial, puesto que el ácido puede considerarse como un receptor de pares electrónicos y la base como un donador de pares electrónicos.

Sin embargo, Lewis únicamente propuso estas definiciones en medio de una monografía cuyo título no tenía que ver con la química de ácidos y bases. Fue después de 15 años, cuando inició un programa experimental para demostrar la validez y utilidad de sus definiciones.

En 1939, Lewis publicó un escrito con el que demostró que sus definiciones identificaban correctamente especies que exhibían experimentalmente el comportamiento de sistemas ácido-base. Después de señalar que existía un completo acuerdo entre las definiciones protónicas y electrónicas con respecto a lo que eran las especies básicas, Lewis demostró experimentalmente que el comportamiento ácido no sólo pertenecía al protón, sino que también lo exhibían los aceptores de pares electrónicos en general.

Las definiciones de Lewis representaron un regreso a la visión de que los ácidos y las bases eran especies de carácter opuesto, que se neutralizaban directamente por medio de reacciones de adición, y donde un ácido reaccionaba con una base formando un enlace covalente coordinado: $A^+ : B \leftrightarrow A : B$

El ácido A representa cualquier especie, ya sea una molécula neutra o ion, que juega el papel de aceptor de un par electrónico en esta reacción de adición. El producto resultante $A : B$ es conocido como: sal, aducto ácido-base, compuesto de coordinación, o ion complejo, cuando tiene una carga neta.

En este contexto, "rico en electrones" significa capacidad para "dar" o compartir electrones con otras especies, y "pobre en electrones" significa capacidad para "aceptar" o compartir electrones con otras especies. Muchas bases son iones negativos (aniones) o moléculas neutras, y muchos ácidos son iones positivos (cationes) o especies neutras. La mayor parte de las reacciones químicas ocurren entre especies ricas y pobres en electrones, y pueden estudiarse en términos de su tendencia para adquirirlos o liberarlos.

Con las definiciones de Lewis se llegó a un concepto de neutralización de adición similar en muchos aspectos a las antiguas definiciones dualistas, pero con dos importantes adiciones. En la primera, el concepto de "sal" se generalizó al de "aducto ácido-base". Los ácidos y bases ahora se consideran como componentes, no sólo de los electrolitos altamente polares que en un principio dieron origen a los conceptos ácido-base, sino también de los no-electrolitos, no-polares. En la segunda, los conceptos de Lewis corrigen muchos de los defectos tanto de las definiciones dualistas como de las modernas definiciones iónicas, al reconocer que los ácidos y las bases pueden corresponder tanto a moléculas neutras como a iones, dependiendo del sistema.

Las definiciones de Lewis incorporan todas las definiciones vistas anteriormente. Por ejemplo, H^+ es un ácido de Lewis ya que tiene vacante el orbital $1s$ y es capaz de acomodar un par de electrones. El hidróxido, el óxido y otros aniones, todos tienen uno o más pares no compartidos y pueden, por lo tanto, funcionar como bases de Lewis. El sistema de Lewis también abarca ciertas reacciones que no se clasifican como procesos ácido-base de acuerdo a otras definiciones (p.e. $Ag^+ + 2CN^- \rightarrow [Ag(CN)_2]^-$). Un ejemplo clásico de reacción ácido-base de Lewis es la que ocurre entre el trifluoruro de boro y el amoníaco: $BF_3 + :NH_3 \rightarrow F_3B-NH_3$.

Las fuerzas de los ácidos y bases en el sentido de Lewis no son propiedades invariables, inherentes a las especies correspondientes, sino que varían un poco con la naturaleza de la otra sustancia. Es decir, el orden de fuerza básica de una serie de bases de Lewis puede cambiar cuando varía el tipo de ácido con el que dichas bases se están combinando.

La combinación de un ácido de Lewis y una base de Lewis puede interpretarse en términos de la teoría de orbitales moleculares. Suponemos que el nivel energético del orbital molecular desocupado de más baja energía (*LUMO*, *Lowest Energy Unoccupied Molecular Orbital*, en inglés) del ácido de Lewis, es similar al del orbital molecular ocupado con más alta energía (*HOMO*, *Highest Energy Occupied Molecular Orbital*) de la base de Lewis. En tal caso, puede formarse un orbital molecular combinado en el que se reduce la energía del par de electrones de la base de Lewis.

Definiciones de Usanovich

En 1939, el químico ruso Usanovich propuso un conjunto de definiciones ácido-base (a veces conocida como *teoría positiva-negativa*), en las que sugiere que cualquier reacción en la que se forme una sal puede considerarse como una reacción ácido-base. De manera más explícita, un ácido es cualquier sustancia que forma sales al reaccionar con bases, dona cationes, o recibe aniones o electrones; y una base es cualquier sustancia que forma sales al reaccionar con ácidos, acepta cationes o dona aniones o electrones.

Ésta es la más inclusiva de todas las teorías de ácidos y bases, ya que no solamente se incorporan a esta definición las teorías de Arrhenius, Brønsted-Lowry, Lux-Flood y Lewis, sino también las reacciones redox están incluidas, pues se considera que el agente oxidante es el ácido y el agente reductor es la base.

El sistema de Usanovich es tan amplio que se ha argumentado que pierde utilidad, ya que coloca a la gran mayoría de las reacciones inorgánicas en la categoría de reacciones ácido-base.

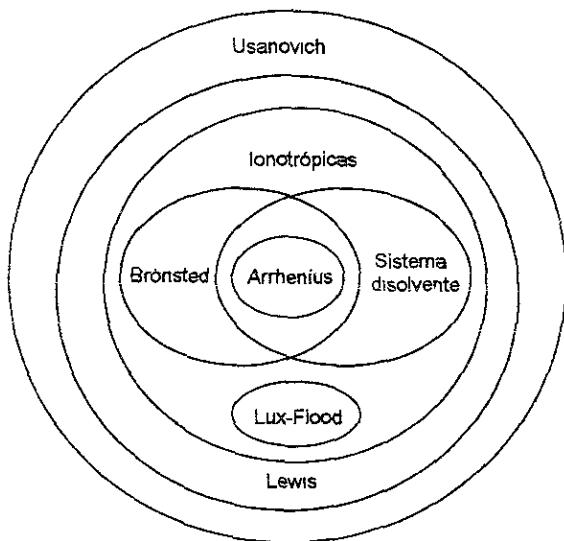


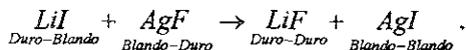
Diagrama de Venn que ilustra la interrelación de diferentes definiciones ácido-base

Ácidos y bases, "duros" y "blandos"

Se puede utilizar la termodinámica para predecir la factibilidad de las reacciones químicas; sin embargo, necesitamos datos termodinámicos completos para llevar a cabo los cálculos, y esos datos no siempre están disponibles. Por consiguiente, los químicos han intentado encontrar un enfoque empírico más cualitativo para la predicción de reacciones. R. G. Pearson ideó un método muy eficaz para hacer este tipo de predicciones de reacción, el cual se conoce como el concepto Ácido-Base Duro-Blando (ABDB).

R. G. Pearson propuso que los ácidos y bases de Lewis podían clasificarse como "duros" o "blandos". Con base en estas categorías Pearson demostró que, en general, una reacción procede en la dirección que une al ácido más blando con la base más blanda y al ácido más duro con la base más dura. La descripción de *duros* se aplica a especies que tienen tamaños relativamente pequeños, altas densidades de carga y baja polarizabilidad. Contrariamente, los ácidos y bases *blandos* son relativamente grandes en tamaño, tienen bajas densidades de carga y alta polarizabilidad.

Las reacciones entre especies iguales (los dos duros o los dos blandos) son favorecidas termodinámicamente sobre aquellas que involucran combinaciones duro-blando. Además, las reacciones de desplazamiento son comúnmente regidas por la tendencia de ácidos y bases de ser igualados en dureza. Así, un ácido duro rápidamente desplaza a un ácido más blando de una base dura,



Pearson dividió las especies químicas como sigue:

Ácidos duros Los ácidos duros, también conocidos como iones metálicos de "clase a", comprenden la mayor parte de los iones metálicos de la tabla periódica. Estos ácidos se caracterizan por su baja electronegatividad y, en muchos casos, por tener alta densidad de carga. En ocasiones la densidad de carga es la mejor guía en cuanto a dureza.

Ácidos blandos Los ácidos blandos, también conocidos como iones metálicos de "clase b", son el grupo de iones metálicos que están en el segmento inferior derecho de los elementos metálicos. Estos ácidos tienen baja densidad de carga y tienden a contarse entre los elementos metálicos

de más alta electronegatividad. Por su baja densidad de carga, estas cationes se polarizan con facilidad y, por tanto, tienden a formar enlaces covalentes. El ácido más blando de todos es el oro.

Ácidos intermedios Como en tantas clasificaciones, hay casos intermedios. Los ácidos intermedios forman una frontera entre los ácidos blandos y duros y tienen valores intermedios de densidad de carga. El estado de oxidación se convierte en un factor crucial para determinar la dureza. A mayor número de oxidación, mayor dureza.

Bases duras Las bases duras o ligantes de "clase a" son especies ligadas a flúor y oxígeno, como óxido, hidróxido, nitrato, fosfato, carbonato, sulfato y perclorato, por ejemplo. Los iones monoatómicos tienen una densidad de carga relativamente grande. El cloruro se considera como duro intermedio.

Bases blandas Las bases blandas o ligantes de "clase b" son los no metales menos electronegativos como el carbono, el azufre, el fósforo y el yodo. Estos iones grandes y polarizables (de baja densidad de carga) tienden a favorecer la formación de enlaces covalentes.

Bases intermedias La división entre las categorías no es rígida. Por ejemplo, los iones halogenuro forman una serie que va del muy duro ion fluoruro al ion cloruro duro intermedio, al ion bromuro intermedio y al ion yoduro blando.

El concepto ABDB nació como un enfoque empírico cualitativo que permite a los químicos predecir si es probable que se lleve a cabo una reacción específica. Desde que Pearson propuso el concepto por primera vez, se han hecho intentos por entender por qué funciona y por deducir parámetros de dureza cuantitativos.

El enfoque de Pearson se puede relacionar con las explicaciones previas de los enlaces iónicos y covalentes. La combinación ácido duro - base dura es en realidad el apareamiento de un catión con baja electronegatividad y un anión con alta electronegatividad, propiedades que dan pie a un comportamiento iónico. Por otra parte, los ácidos blandos son los metales que están cerca de la frontera con los no metales y tienen electronegatividades altas. Sus iones metálicos forman enlaces covalentes con los iones que son bases blandas, como el ion sulfuro.

Las preferencias naturales de combinaciones duro-duro o blando-blando se pueden explicar usando ciertos principios de la teoría de orbital molecular. Existe una correlación con los orbitales de energía –entre más duro sea el ácido, más estable será su orbital disponible, su *LUMO*, y mientras más dura sea la base, menos estable será su *HOMO*. La gran diferencia de energía entre los orbitales duros ocasiona que la transferencia de carga de base a ácido sea exotérmica (la interacción es primordialmente iónica). Por el contrario, los ácidos y bases blandos tienen orbitales fronterizos con energías intermedias (y por lo tanto más similares) que promueven la formación de enlaces covalentes. Generalizando, la fuerte interacción entre un ácido y una base duros se debe a una gran contribución electrostática en la energía de enlace. Las interacciones blando-blando se benefician de una gran contribución covalente.

4. CONSIDERACIONES ACTUALES

Las definiciones ácido-base no pueden considerarse correctas o incorrectas, sólo pueden ser útiles o no útiles. En el mejor de los casos, satisfacen la función creativa de sugerir paralelos entre factores que no se habían relacionado previamente, modos similares de observar sistemas aparentemente diferentes. En el peor de los casos, pueden ser excesivamente formales, restrictivas y hasta engañosas. Estas definiciones deben expandirse y cambiar, porque los hechos de la química a los que organizan también se expanden y cambian. La búsqueda de las mejores definiciones ácido-base es esencialmente la búsqueda de la analogía más poderosa, una que no sólo abarque la mayor cantidad de fenómenos, sino que también refleje el paradigma teórico aceptado en este tiempo.

1. GENERALIDADES

Dentro de la Química, el tema de ácidos y bases es particularmente retador, porque el estudiante debe poseer un profundo entendimiento de los átomos, moléculas, iones y reacciones químicas. Se define a un profundo entendimiento, como conceptos entrelazados por redes conceptuales organizadas jerárquicamente. El estudiante debe ser capaz de representar esta red de información, que llamamos conocimiento, en los tres niveles de pensamiento en Química (macroscópico, microscópico y simbólico-matemático). Los estudiantes deben estar cambiando constantemente entre estos sistemas de representación de la materia, empleando cada uno en el momento adecuado al introducirse en el razonamiento químico de ácidos y bases.

Este tema ocupa un lugar central en el currículo de la Química, tanto en los niveles de secundaria y bachillerato, como en los primeros semestres del área de química en la universidad; sin embargo, se conoce muy poco acerca de las ideas previas en esta área. Tanto los programas escolares (currículo), como los textos y la enseñanza en general, aparentemente funcionan sin considerar lo que los alumnos piensan acerca de este tema. Los conceptos químicos alrededor de estas sustancias (ácidos y bases) están tan íntimamente relacionados, que cuando los estudiantes tienen problemas con algún concepto en particular, es probable que también tengan problemas con otros aspectos.

Se encontraron ideas previas de los estudiantes en los niveles de secundaria, bachillerato y universidad, que han sido observadas como resultado de diferentes investigaciones y estudios, y cuyos resultados han sido publicados en diversas revistas educativas. Sin embargo, se pudo observar que falta investigación en este tema, pues los artículos publicados son pocos (con respecto a otros temas, como estructura de la materia o equilibrio químico) y las ideas previas que presentan son muy similares y se enfocan sólo a ciertos aspectos, como las propiedades macroscópicas de estas sustancias.

2. IDEAS PREVIAS DE ÁCIDOS Y BASES: CLASIFICACIÓN Y ANÁLISIS

La relación existente entre las ideas previas y la historia de los conceptos científicos, puede ser de diferentes tipos. El origen de la relación se puede encontrar en alguna antigua definición que ya no sea vigente, en confusión entre las diferentes definiciones actuales y en los usos específicos que éstas tienen, y en la atribución de ciertas características *históricas* a estas sustancias, entre otras.

Los estudiantes pueden tener diferentes niveles de entendimiento de estas ideas previas (niveles: macroscópico, microscópico y simbólico), de manera que se ejemplifica la falta de integración de los mismos.

Las ideas se clasificaron de acuerdo a temas específicos dentro de la acidez y la basicidad. A continuación se presenta esta clasificación y se analiza su relación con aspectos históricos de estos conceptos.

Propiedades macroscópicas

| IDEAS PREVIAS | EXPLICACIÓN |
|--|--|
| 1. Los ácidos son líquidos. | En las definiciones de Arrhenius las reacciones ácido-base sólo podían ocurrir en fase acuosa, pero en definiciones más modernas estas reacciones pueden ocurrir tanto en fase líquida como en fase gaseosa, fase sólida y en combinaciones de fases. Por lo que podemos encontrar especies ácidas como líquidos, sólidos o gases. |
| 2. Un ácido es claro e incoloro. | Los ácidos pueden tener características muy variadas, por ejemplo, la mayor parte de lo que comemos diariamente tiene características ácidas. |
| 3. El sabor de los ácidos es agrio y picante. | El sabor es una característica comúnmente atribuida a los ácidos y a las bases, pero hay muchas sustancias que no podemos probar para determinar su sabor característico. |
| 4. Todas las sustancias con olor fuerte o cortante son ácidos. | Hay sustancias con olores muy fuertes que no son ácidos y hay muchos ácidos que no desprenden algún olor perceptible para el ser humano. |

| | |
|---|--|
| 5. Todos los ácidos son fuertes. | Existen ácidos fuertes y ácidos débiles, así como hay bases débiles y bases fuertes. |
| 6. Un ácido es muy corrosivo. | Hay ácidos débiles, como los ácidos grasos, que no son corrosivos. |
| 7. Las sustancias que queman son ácidos. | Algunos ácidos al igual que algunas bases queman, y otros no. También hay sustancias que queman y no son ácidos. |
| 8. Los ácidos disuelven la mayoría de las sustancias. | El poder de disolver fue una de las primeras características adjudicadas a los ácidos; sin embargo, no se debe generalizar, hay muchos ácidos y materiales diferentes y su comportamiento es muy variado. |
| 9. Todos los ácidos son venenosos. | Gran parte de lo que ingerimos y de lo que forma parte de nuestro organismo tiene características ácidas. |
| 10. Las sustancias ácidas no deben ingerirse. | La mayor parte de lo que comemos diariamente tiene propiedades ácidas; algunas medicinas que ingerimos comúnmente son ácidos (aspirina: ácido acetilsalicílico). Además, los jugos gástricos que ayudan a la digestión son muy ácidos. |
| 11. Las frutas son básicas. | Casi todas las frutas que conocemos son ácidas en mayor o menor medida. |
| 12. El suelo no puede ser ácido; no pueden crecer las cosas en algo ácido. | Las características de los suelos pueden ser muy variadas, hay suelos ácidos y suelos básicos adecuados para diferentes usos. |
| 13. Los ácidos son sustancias que están en los laboratorios y las baterías de auto. | Los ácidos los encontramos en todas partes, están presentes en la vida cotidiana de todos nosotros (la vitamina C, indispensable en nuestro organismo, es ácida). |
| 14. Una base es algo que forma parte de un ácido. | Desde el punto de vista de Brønsted, considerando que todos los ácidos y las bases tienen sus bases y ácidos conjugados, esta idea tendría cierto sentido; sin embargo, una base y un ácido son sustancias diferentes. |

Análisis

Observamos que gran parte de las ideas previas más comunes tienen que ver con las propiedades macroscópicas de las sustancias, las propiedades que se pueden

detectar con nuestros sentidos. La primera interacción que tienen los estudiantes con los ácidos y las bases es generalmente en este nivel. Los profesores mencionan características comunes en las sustancias como el "sabor agrio" de los ácidos o su capacidad para "disolver" muchos materiales. Estas primeras aproximaciones a los conceptos de acidez y basicidad se quedan grabadas en la memoria de los estudiantes y ellos las generalizan. Empiezan a crear razonamientos mentales congruentes con su realidad (inicia la formación de ideas previas).

Un ejemplo de estos razonamientos podría ser el pensar que los ácidos son corrosivos y que las sustancias corrosivas son venenosas y no deben ingerirse, por lo tanto los ácidos no deben ingerirse. Este razonamiento, que *aparentemente* es muy lógico para el alumno, crea una cantidad enorme de ideas previas.

Aquí encontramos una falla en poder relacionar los conceptos químicos con las experiencias cotidianas de los estudiantes. La aproximación a nuevos conceptos debería hacerse en un nivel en el que los estudiantes puedan relacionar lo nuevo con su realidad, con su experiencia, con ejemplos concretos y reales.

Esta primera aproximación a dichos conceptos (propiedades macroscópicas), corresponde también a las primeras "definiciones" de ácido y álcali en las que se limitaban a enlistar cierta cantidad de propiedades que supuestamente caracterizaban a dichas sustancias. Estas propiedades han ido cambiando a lo largo de la historia, al punto de que muchos ácidos y bases no las presentan. El concepto original de álcali cambió precisamente porque se descubrieron muchas sustancias que reaccionaban con los ácidos, pero no presentaban las características generales de ser jabonosas, de esta manera se amplió el concepto a "base".

Como vemos, la mayor parte de las ideas previas se refieren específicamente a los ácidos, hay muy poca referencia a las bases y su comportamiento. Esto se nota también en el desarrollo histórico de los conceptos. Muchas veces las bases se definieron a partir del poder reaccionar con los ácidos, de ser opuestas a ellos, sin tomar en cuenta sus características propias.

Neutralización y pH

| IDEAS PREVIAS | EXPLICACIÓN |
|--|---|
| 1. La neutralización es una reacción irreversible. | En mayor o menor medida las reacciones químicas son reversibles. La neutralización se revierte con el disolvente y condiciones adecuadas. |
| 2. Una reacción de neutralización produce una solución neutra. | No cualquier proceso ácido-base da una disolución final neutra. La reacción de un ácido débil con una base fuerte es una reacción de neutralización, sin embargo la solución producida no es neutra. Debido a que el ácido débil no libera fácilmente los iones hidrógeno, el equilibrio se desplaza hacia los productos y la solución seguirá teniendo un pH básico. Una solución sólo puede ser neutra, si los iones H_3O^+ y OH^- están en concentraciones iguales. En una solución acuosa, los iones H_3O^+ y OH^- se producen por autoionización del agua. |
| 3. En una reacción de neutralización siempre debe haber la misma cantidad de H^+ y OH^- , de otro modo el ácido o la base no estarían suficientemente neutralizados. | La reacción entre un ácido y una base se considera una reacción de neutralización y ésta puede ser parcial. Para que haya una reacción de neutralización no importa la cantidad de ácido o base que reaccionen. Un ácido débil con una base fuerte se neutralizarán parcialmente. |
| 4. En una solución neutra no hay H^+ 's ni OH^- 's presentes. | Una solución neutra tiene un valor de $pH=7$; sin embargo, este valor no podría medirse si no hubiera H^+ 's presentes, ya que por definición $pH = -\log[H^+]$. Existe un equilibrio dinámico entre los iones hidrógeno y los iones hidróxido. |
| 5. El producto de la neutralización es una base. | El producto de una neutralización es una sal. |
| 6. La neutralización es la ruptura de un ácido o algo que cambia de un ácido. | En la neutralización, el ácido y la base se combinan dando lugar a sustancias diferentes. |

| | |
|--|--|
| 7. En la neutralización de ácido clorhídrico con hidróxido de potasio se produce un gas. | Al reaccionar un ácido fuerte y una base fuerte se produce una sal no un gas. |
| 8. En una neutralización, el valor de pH es neutro. | El mayor problema lo encontramos en lo que se entiende por neutralización. El valor del pH es neutro solamente cuando se neutraliza un ácido fuerte con una base fuerte y cuando la concentración de H^+ y OH^- es la misma. |
| 9. En cualquier proceso ácido-base, la disolución final tiene un pH=7. | Un pH=7 corresponde a una disolución neutra y hay muchos procesos ácido-base que producen disoluciones ácidas o básicas dependiendo de la cantidad de H^+ y OH^- que reaccionen. |
| 10. Una solución neutra siempre tiene un pH=7. | El porcentaje de las moléculas de agua que se ionizan depende en gran parte de la temperatura. Sólo a 25 °C, la relación $[H^+] \times [OH^-] = 10^{-14}$ es exacta dando un pH de 7 en el punto neutro. Al aumentar la temperatura aumenta el porcentaje de moléculas que se ionizan. Por lo tanto, a temperaturas elevadas, el pH de neutralidad disminuye. A la temperatura del cuerpo humano, 37 °C, el pH neutro del agua es de 6.81. |
| 11. En una titulación, el punto final y el punto de neutralización son el mismo. | El punto de neutralización involucra el consumo de todo el ácido y toda la base y es un punto teórico; mientras que el punto final se estima experimentalmente al observar un cambio físico asociado a la condición de neutralización (p.e. un cambio en el color del indicador). |
| 12. La disociación de una sal y su hidrólisis es lo mismo. | La hidrólisis es el desdoblamiento de un compuesto químico por la acción del agua, sin embargo Arrhenius aplica este concepto tanto a la reacción de las sales como a algunos de sus iones y esto provoca errores en el aprendizaje de este concepto. |
| 13. El pH en el punto de equivalencia es igual a 7 y luego se produce la hidrólisis de la sal formada. | Esta idea supone en los alumnos un razonamiento causal secuencial e ignorar la existencia de los equilibrios en todo el proceso. |
| 14. Un pH igual a cero | Una solución con pH igual a cero sería muy ácida. |

| | |
|--|--|
| significa que no hay ácidos ni bases presentes. | |
| 15. El pH es una medida de la acidez pero no de la basicidad. | Una definición descriptiva del pH es que es la medida del grado de acidez. Sin embargo, el pH es una medida del grado de acidez (si es menor que 7) y del grado de basicidad (mayor que 7) de las sustancias. |
| 16. Sólo existen los pH's con valores de 1-14. | La definición de pH ($-\log H^+$) permite valores fuera del rango 1-14, aunque raramente se encuentran. Sustituyendo la molaridad del ácido clorhídrico comercial (12M) en la definición de la ecuación, da un $\text{pH}=-1.1$, del mismo modo una solución 8M de hidróxido de sodio usada para hacer jabón de grasa animal da un $\text{pH}=14.9$. |
| 17. Un ácido fuerte tendrá un mayor pH. | Entre más fuerte es un ácido menor será su pH; los pH's altos (mayores a 7) corresponden a sustancias básicas. |
| 18. El pH es concentración. | El pH no es concentración, es únicamente una medida del grado de acidez y en su definición considera la concentración de los iones H^+ , pero no es lo mismo. |
| 19. El pH de la lluvia ácida se debe a que en la atmósfera se forman ácidos fuertes. | Los alumnos no consideran la concentración del ácido ni su volumen. Olvidan la cantidad real de éste que está presente. |

Análisis

El concepto de neutralización ha cambiado muchas veces de acuerdo con las teorías del momento. En el siglo diecisiete, la neutralización se consideraba una reacción de adición en la que el ácido y la base desaparecían dando lugar a una sal. Después se postuló la existencia de un principio de acidez y la neutralización se vio como un equilibrio o una redistribución de ese principio. Con el advenimiento de la teoría del hidrógeno, los ácidos y las bases ya no fueron los verdaderos componentes de las sales, sino más bien fueron los compuestos de los que derivaban todas las sales por sustitución. Posteriormente, Arrhenius definió a la neutralización como la reacción del ion H^+ , generado por el ácido, con el ion OH^- , generado por la base, para dar agua. Las definiciones ionotrópicas, entre

ellas las de Brønsted, carecen de los conceptos de neutralización y formación de sales. Finalmente, para Lewis, los ácidos y las bases son especies de carácter opuesto que se neutralizan directamente por medio de reacciones de adición, y el producto resultante se conoce como sal, aducto ácido-base, compuesto de coordinación, o ion complejo cuando tiene una carga neta.

Como vemos, este concepto ha cambiado mucho a lo largo de la historia, e ideas previas como que la neutralización es una reacción irreversible pueden vincularse con la idea de que el ácido y la base se “destruyen”, sin considerar que en una reacción química siempre hay cierto grado de reversibilidad. La idea de que una reacción de neutralización siempre va a dar una solución neutra, no considera la existencia de sales ácidas y sales básicas; además de que, de acuerdo con Lewis, la reacción de un ácido con una base puede dar sales, aductos o iones: el mismo ácido clorhídrico puede ser el producto de la reacción del ácido H^+ con la base Cl^- . La idea de que en una reacción de neutralización debe haber la misma cantidad de H^+ y OH^- puede surgir de la forma en la que Arrhenius define neutralización.

Además, los estudiantes pueden entender los conceptos de neutralización y pH en el nivel simbólico, en el microscópico y en el macroscópico, y la falta de una comprensión integral, que relacione los tres niveles adecuadamente, los hace conceptos complejos y abstractos.

El significado de la neutralización responde a su etimología y significa “la adición de una disolución ácida a otra alcalina, o viceversa, hasta que la concentración de iones hidrógeno sea igual a la de iones hidróxido, es decir, hasta alcanzar un $pH=7$ ”; pero es frecuente utilizar este término para cualquier reacción ácido-base, independientemente de que el resultado final sea una disolución neutra o no. Esto genera una enorme cantidad de ideas previas en los estudiantes con respecto a estos conceptos.

Lo que podemos concluir es que hay una confusión en lo que se entiende por neutralización, y los maestros deben decir de manera clara y explícita lo que los alumnos tendrían que entender o las diferentes concepciones que se pueden encontrar, tanto en libros de texto, como en otros profesores.

Concentración y fuerza

| IDEAS PREVIAS | EXPLICACIÓN |
|---|--|
| 1. Un ácido concentrado es una sustancia pura. | Muchos ácidos que se utilizan en soluciones acuosas, son mezclas, no sustancias puras y pueden contener otras impurezas. |
| 2. Los ácidos concentrados son mucho más peligrosos que las bases concentradas. | Muchos de los estudiantes principiantes de química tienen una buena idea del peligro de los ácidos concentrados pero tienen poca o ninguna idea de la peligrosidad de las bases y sus propiedades. Además no todos los ácidos son peligrosos. |
| 3. Un ácido, entre más concentrado, es más ácido. | El grado de acidez de una sustancia sí depende de que tan concentrada está. Sin embargo, la fuerza de un ácido no depende de su concentración. El ácido sulfúrico es un ácido fuerte independientemente de su concentración. |
| 4. Fuerza y concentración significan lo mismo. | Los estudiantes confunden con facilidad estos dos términos. La concentración se refiere al número de moles de soluto (ácido o base) por litro de solución. La fuerza se refiere al porcentaje de moléculas que se ionizan y forman iones en solución. El ácido clorhídrico se considera un ácido fuerte porque en soluciones acuosas prácticamente todas las moléculas se ionizan para producir iones H^+ y Cl^- . El ácido acético se considera un ácido débil porque sólo aproximadamente el 3 % de sus moléculas se ionizan. Resulta interesante hacer notar que el porcentaje de las moléculas que se ionizan en un ácido débil se incrementa al disminuir la concentración del ácido al diluirlo con agua. Por lo que el ácido acético se vuelve ligeramente más fuerte al ser diluido. |
| 5. Concentración y cantidad de sustancia significan lo mismo. | Muchos estudiantes tienen dificultad para distinguir entre estos conceptos. La cantidad de sustancia se mide en moles, una unidad de masa. La concentración en una solución es en general el número de partículas por unidad de volumen, es una relación de la masa (gramos, moles) entre el volumen. Se expresa frecuentemente como |

| | |
|---|---|
| | molaridad [M], que es la razón de moles de soluto en litro de solución. Por lo que el establecer la molaridad no da la cantidad de sustancia, es decir, la masa; el volumen también se debe conocer. La concentración es una propiedad intensiva. |
| 6. Los ácidos son mucho más poderosos que las bases. | Esta es una característica un tanto antropomórfica y confusa. Existen ácidos y bases muy fuertes y también los hay muy débiles. |
| 7. Un ácido débil produce una base débil. | Esta idea sólo se puede considerar desde el enfoque de Brönsted. Desde esta perspectiva, la base conjugada de un ácido débil es una base fuerte y viceversa. |
| 8. Un ácido débil no puede actuar tan bien como un ácido fuerte. | Un ácido no actúa bien o mal. El comportamiento de un ácido depende de las circunstancias de la experiencia y de lo que se quiera lograr con ella. |
| 9. La diferencia entre un ácido fuerte y uno débil es que el ácido fuerte corroe el material más rápido que el débil. | La corrosión depende en gran medida del material, no únicamente de la fuerza del ácido. Ciertos materiales pueden ser completamente inmunes a la corrosión de muchos ácidos fuertes. |

Análisis

Históricamente, los ácidos han recibido mucho más atención que las bases. Éstas, comúnmente se definían en función de los ácidos, con características opuestas a ellos. En alguna época se buscó un principio de acidez y su exceso o carencia hacía que una sustancia se considerara ácida o básica.

En las ideas previas de esta sección, y en general en todas las encontradas, son más las ideas de los alumnos con respecto a los ácidos, que a las bases. Por tanto, es comprensible que los alumnos consideren que los ácidos son más fuertes, poderosos y peligrosos que las bases. Aparentemente se sienten más familiarizados con ese concepto.

Otro punto en el que hay gran confusión en los estudiantes es el de fuerza, concentración y cantidad. De acuerdo a Brönsted, la fuerza de los ácidos se mide por su habilidad para ceder protones, qué tanto se disocian en solución, y la

fuerza de las bases depende de su capacidad para aceptar protones. Este concepto de fuerza es completamente independiente de la concentración de las sustancias; incluso, como se dijo antes, existen casos en los que al disminuir la concentración, aumenta la disociación. Por otro lado, el pH sí resulta afectado por la concentración de un ácido, es decir, un ácido fuerte muy concentrado tendrá un menor pH que el mismo ácido muy diluido, pero esto se debe a que la definición del pH implica la concentración de los iones H^+ .

Los alumnos ponen poca atención en la cantidad de sustancia, en la cantidad real del ácido presente en términos absolutos, y se centran en conceptos como fuerza y concentración, que por sí solos no son determinantes en un proceso.

Estructura molecular y eléctrica

| IDEAS PREVIAS | EXPLICACIÓN |
|--|--|
| 1. Un ácido contiene iones hidrógeno. | Desde el punto de vista de Lewis, un ácido no necesariamente contiene iones hidrógeno, la característica esencial de los ácidos es que pueden aceptar un par de electrones de otra especie. |
| 2. Las bases contienen iones hidróxido. | Esta idea proviene de las definiciones de Arrhenius, pero hay sustancias que presentan propiedades básicas como el NH_3 , que no tiene iones OH^- , y reacciona directamente con el HCl produciendo NH_4Cl . |
| 3. Las sustancias que contienen H son ácidas; las sustancias que contienen OH son básicas. | Hay muchas sustancias que contienen H y no son ácidos y muchas otras que contienen OH y no son bases. El azúcar ($C_6H_{12}O_6$) contiene H y OH y sin embargo, al disolverse en agua sus moléculas no se ionizan para producir iones H^+ u OH^- . Como las moléculas de azúcar no pierden iones H^+ u OH^- , no se considera ni ácido ni base. Los alcoholes tienen el grupo hidroxilo característico, OH, unido por un enlace covalente al resto de la molécula. Cuando los alcoholes se disuelven en agua, también lo |

| | |
|---|--|
| | hacen molecularmente, no se ionizan. Como no se liberan iones OH^- , los alcoholes no son bases. |
| 4. Los ácidos contienen iones hidróxido. | Desde el punto de vista de Arrhenius, las bases son las que generalmente contienen iones hidróxido. En definiciones más modernas, el que las sustancias sean ácidos o bases no depende de si las moléculas tienen o no iones hidróxido o iones hidrógeno, sino de su capacidad para donar o aceptar protones o pares electrónicos. Los ácidos pueden contener grupos OH, pero no desprenden iones OH^- al disociarse. Por ejemplo, el H_2SO_4 se puede representar como $SO_2(OH)_2$. |
| 5. Las bases no contienen hidrógeno. | Desde el punto de vista de Arrhenius, las bases tienen un grupo hidroxilo característico en el cual el hidrógeno está involucrado. Hay bases que contienen hidrógeno en su molécula ($NH_3, NaOH$) y bases que no lo tienen (F^-). |
| 6. Los iones negativos no son bases a menos que sean iones hidróxido. | Esta idea proviene también de Arrhenius, los estudiantes no pueden comprender el concepto de ácidos y bases conjugados de Brönsted. En el enfoque de Arrhenius los iones negativos reaccionan primero con agua para producir iones OH^- sin explicar el porqué de esta reacción. |
| 7. Los ácidos "donan" protones. | Esta idea es parcialmente correcta y proviene de la misma definición de Brönsted, sin embargo crea un concepto equivocado de la acción de un ácido como si de algún modo éste expulsara su protón por medio de una fuerza interna. En realidad la base tiene que arrancar el H^+ de las poderosas fuerzas de atracción que lo mantienen unido al ácido, rompiendo su enlace con una fuerza superior. |
| 8. Cuando un ácido "donador de protones" reacciona, el núcleo del átomo pierde un protón. | Al hablar de los ácidos como donadores de protones, se habla del ion hidrógeno H^+ , no del protón del núcleo de otro átomo. Aunque algunos químicos se refieren comúnmente a los ácidos y a las bases como donadores o aceptores de protones, es importante darse cuenta de que el ion H^+ es el que se mueve de una especie química a |

| | |
|---|---|
| | <p>otra, no el protón de un núcleo a otro. Si los protones del núcleo se transfirieran, los elementos cambiarían su identidad en las reacciones ácido-base, al cambiar los números atómicos de los átomos involucrados.</p> |
| <p>9. Al mezclar un ácido con magnesio se desplaza un hidrógeno.</p> | <p>El magnesio no “desplaza” a un hidrógeno como ocupando su lugar. Los estudiantes tienen la idea errónea de que en el ácido están ocultas las moléculas de hidrógeno y que el magnesio las empuja, haciendo evidente su presencia.</p> |
| <p>10. Un ácido fuerte libera más hidrógeno porque tiene más enlaces de hidrógeno que un ácido débil.</p> | <p>La fortaleza de un ácido no depende de cuántos hidrógenos tiene en la molécula, sino de qué tan fácil o difícilmente éstos pueden ser removidos. El ácido acético CH_3COOH tiene más hidrógenos que el HCl y éste es más fuerte.</p> |
| <p>11. Los ácidos contienen un exceso de cargas positivas (iones hidrógeno e hidronio) y las bases contienen un exceso de cargas negativas (iones hidróxido).</p> | <p>Este razonamiento puede ser ocasionado por una mala interpretación originada por la definición de que un ácido contiene iones H^+; éste es un protón y como los protones son positivos, un exceso de protones significará un exceso de cargas positivas. El exceso de cargas positivas y negativas no responde a ninguna de las definiciones de ácido y base, aunque en las definiciones modernas los iones negativos se comportan como bases pues aceptan protones y tienen pares electrónicos sin compartir. Las moléculas o las soluciones son eléctricamente neutras. Se mezclan dos significados diferentes de neutralidad (el eléctrico y el ácido-base).</p> |
| <p>12. Para el ácido sulfúrico, decir que la disociación es completa significa que el ácido ha perdido los dos protones.</p> | <p>Cuando se dice que la disociación del ácido sulfúrico es completa no significa que las especies en solución son dos iones hidrógeno y un ion sulfato por cada molécula disuelta. El hecho de que el ácido sulfúrico sea “fuerte” se debe sólo a la separación del primer ion hidrógeno.</p> $H_2SO_4(ac) \leftrightarrow H_3O^+(ac) + HSO_4^-$ $K_{a1} = \frac{[H_3O^+][HSO_4^-]}{[H_2SO_4]}$ $HSO_4^-(ac) \leftrightarrow H_3O^+(ac) + SO_4^{2-}(ac)$ |

$$K_{a_2} = \frac{[H_3O^+][SO_4^{2-}]}{[HSO_4^-]}$$

$$K_{a_1} \gg K_{a_2}$$

Análisis

Estas ideas previas tienen mucho que ver con las diferentes definiciones que han surgido a lo largo de la historia y con que algunas de ellas siguen siendo vigentes. Los científicos, a lo largo de la historia, trataron de clasificar las sustancias en ácidos o bases de acuerdo con un criterio. Actualmente se utilizan estas clasificaciones según la utilidad que proporcionan. Sin embargo, esto ha resultado en una gran cantidad de ideas previas y confusión en los estudiantes, pues no entienden claramente en qué situaciones se usan unas y otras.

Por una parte, los estudiantes identifican a los ácidos como sustancias que contienen H^+ y a las bases como sustancias que contienen OH^- . Además, generan la idea de que las bases no tienen hidrógeno y que iones negativos que no sean hidróxido no pueden ser bases. Vemos que el concepto de Arrhenius está muy arraigado en los estudiantes y les cuesta trabajo aceptar definiciones más modernas con conceptos de ácido y base más incluyentes.

Hay algunos autores, entre ellos Hawkes, que opinan que el enfoque de Arrhenius genera una gran cantidad de problemas. Como es el primero que se enseña en el bachillerato y en los primeros semestres de la universidad, es el que se acepta con más facilidad, y cualquier cambio resulta difícil. Proponen que el enfoque de Brønsted-Lowry se enseñe primero, porque es más simple e involucra sólo la transferencia de un protón. Las definiciones de Arrhenius servirían como un antecedente histórico, pero no como un concepto viable.

Por otro lado, la definición de Brønsted de un ácido (que es la que usan los libros de texto y la mayoría de los profesores), de que los ácidos donan protones, ocasiona que los alumnos piensen que los ácidos donan los protones como si una persona donara algo que no le sirve, que le sobra. Esta idea crea un concepto falso de la acción de un ácido, pues la base debe utilizar mucha energía para

romper las fuerzas que unen el protón con el ácido. Se ha llegado a proponer cambiar las definiciones de Brønsted-Lowry de la manera siguiente:

- Un ácido es una sustancia de la cual se puede remover un protón.
- Una base es una sustancia que puede remover un protón de un ácido.

Se ve en los estudiantes una tendencia a generalizar características, no pueden comprender el carácter incluyente de las teorías más modernas en las que una base no es sólo la sustancia que contiene OH^- , ni únicamente los iones negativos, sino que las bases pueden ser especies como: OH^- , Cl^- , H_2O ó NH_3 .

Reacciones y comportamiento de las sustancias

| IDEAS PREVIAS | EXPLICACIÓN |
|---|--|
| 1. Un antiácido es una sustancia que no reacciona con los ácidos. | Los antiácidos son sustancias con características básicas que reaccionan con los ácidos para neutralizarios. |
| 2. Los ácidos y las bases no interactúan directamente. | Esta idea equivocada proviene de las definiciones de Arrhenius en las que los ácidos y las bases se disocian en medio acuoso dando H^+ y OH^- respectivamente, y estos iones son los que reaccionan. En enfoques más modernos los ácidos y las bases reaccionan directamente donando y aceptando protones o compartiendo pares electrónicos con la otra especie. |
| 3. Los ácidos y bases no reaccionan; simplemente forman mezclas físicas. | Los ácidos y las bases sí reaccionan; hay un intercambio de protones o electrones dependiendo de las definiciones que se consideren. La reacción de ácidos y bases es una reacción química, las especies que reaccionan son diferentes a las especies producidas. |
| 4. Los ácidos y bases reaccionan de manera que se pegan para formar una sola partícula. | Los ácidos y las bases no se "pegan", no forman una sola partícula. Hay un intercambio entre las especies y se forman otras nuevas. |
| 5. Una sal es una mezcla de ácido y base. | Una mezcla es una combinación de dos o más sustancias en la cuál éstas mantienen su identidad. El ácido y la |

| | |
|---|---|
| | base reaccionan (ocurre un cambio químico) formando sal, no es posible recuperar el ácido o la base por medios físicos. |
| 6. El producto de la reacción de un ácido y una base es una sal. | Esta idea es parcialmente correcta, pero en definiciones más modernas, esta reacción puede generar sustancias que no se consideran sales. En el enfoque de Lewis en la reacción de un ácido con una base se forman "aductos" que pueden ser compuestos que conocíamos como sales ($NaCl$) y también ácidos de Arrhenius y Brønsted (HCl). En el enfoque de Brønsted se forman el ácido y la base conjugados correspondientes. |
| 7. En la reacción de un ácido con una base no hay calor involucrado. | En todas las reacciones ácido-base hay calor involucrado, son reacciones exotérmicas en donde hay desprendimiento de calor. |
| 8. A una reacción química corresponden cambios a nivel macroscópico. | Los cambios de una reacción química (ácido-base) pueden no ser observados como un cambio en el color o precipitación de algún compuesto. |
| 9. Las reacciones químicas tienen lugar en una sola dirección. | Las reacciones químicas tienen una doble dirección que establece el equilibrio. |
| 10. Al adicionar agua a una solución de ácido débil, HA (ac), el equilibrio no cambia porque la concentración de agua se incluye en la expresión de K_a . | El equilibrio no cambia, pero sí la libertad con que actúan los iones H_3O^+ (fugacidad). El equilibrio es dinámico. $HA(ac) + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+(ac) + A^-(ac)$ $K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA][H_2O]} \rightarrow K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$ |
| 11. Los indicadores ácido-base están constituidos por sustancias que sólo reaccionan con la solución valorada cuando se ha agotado toda la sustancia que se analiza o se trata de determinar. | Esta interpretación del funcionamiento del indicador ignora la existencia del equilibrio y el intervalo de viraje. |

Análisis

También estas ideas pueden observarse en diferentes niveles. En muchas de ellas, los estudiantes se refieren a cuestiones macroscópicas, cambios que supuestamente deben observarse si hay reacción química; en otras, el nivel simbólico predomina en forma de ecuaciones y fórmulas.

Esta clase de ideas previas pueden también tener cierta vinculación con el desarrollo histórico de los conceptos. Por ejemplo, el que los ácidos y las bases no reaccionan directamente está claramente ligado al enfoque de Arrhenius, en el que primero el ácido y la base se disocian dando H^+ y OH^- , éstos reaccionan para dar H_2O y los iones correspondientes forman una sal. También la idea de que la reacción de una base con un ácido siempre va a dar una sal no se puede generalizar, pues en el enfoque de Brønsted y de Lewis esta reacción puede producir sustancias con características muy variadas. En general, se puede observar que los estudiantes tienen dificultad para diferenciar cambio físico y cambio químico (3,4 y 5).

Representaciones simbólicas

| IDEAS PREVIAS | EXPLICACIÓN |
|---|--|
| 1. El compuesto $HNaO$ se considera un ácido. | A menudo los estudiantes piensan que la manera de escribir las fórmulas determina si el compuesto es ácido o base. Debido a la forma en que el Na, el O y el H interactúan producen un compuesto llamado hidróxido de sodio. No importa cómo se escriba la fórmula ($HNaO$ o $NaOH$) el compuesto es el mismo, lo que importa es cómo interactúan los átomos en la estructura para determinar las propiedades del compuesto. |
| 2. Los ácidos son "malos" y las bases son "buenas". | Los alumnos consideran a los ácidos como corrosivos y peligrosos, y a las bases como las sustancias que los neutralizan; pero hay bases corrosivas, y ácidos y bases que no lo son. Estas son características antropomórficas que atribuyen a las sustancias. |

| | |
|---|---|
| <p>3. El nombre de la sustancia que se forma cuando el gas amoniacado se disuelve en agua es hidróxido de amonio.</p> | <p>El gas amoniacado se disuelve rápidamente en agua. Después de que se ha disuelto se llega a un equilibrio de acuerdo a la siguiente ecuación:</p> $NH_3(g) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_4^+(ac) + OH^-(ac)$ <p>Algunas veces a esta solución se le llama hidróxido de amonio, sin embargo el equilibrio se orienta mucho más hacia la izquierda; muy pocos iones NH_4^+ y OH^- están presentes en la solución. La especie NH_4^+ no ha sido aislada. El amoniacado es una base débil por lo que las soluciones acuosas de amoniacado son electrolitos débiles. Amoniacado acuoso es un mejor nombre para la sustancia en cuestión.</p> |
|---|---|

Análisis

Estas ideas se originan porque los alumnos no tienen un entendimiento correcto de los conceptos de ácidos y bases y de las diferentes teorías que existen. Además, no integran los niveles macro, micro y simbólico de una manera adecuada y, por lo tanto, no comprenden, las explicaciones se quedan en el pizarrón y en las definiciones, ecuaciones y fórmulas que ven en clase. Ellos "saben" que un ácido tiene H, y si ven en la fórmula de una sustancia el H dan por hecho que la sustancia es un ácido.

Las ideas en este nivel pueden ser muy similares y puede ser útil que los profesores aclaren las confusiones más comunes al estar desarrollando la Química en este nivel.

1. HERRAMIENTAS ÚTILES EN LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA

El constructivismo y el enfoque de las ideas previas nos dan herramientas para que el proceso de enseñanza-aprendizaje sea más efectivo.

En el caso del aprendizaje de los conceptos de ácidos y bases, podemos ver que la historia puede representar una herramienta muy útil en su enseñanza. Sin embargo, para tener éxito en el proceso educativo, se tienen que considerar otros procesos con una base constructivista y que tomen en cuenta las ideas previas de los estudiantes.

Tener en cuenta el modelo de aprendizaje cooperativo, y llevar algunas de sus modalidades a la práctica, puede facilitar el surgimiento de las ideas de los alumnos y el posterior cambio conceptual. Por otro lado, el laboratorio, especialmente en química, es de gran importancia para la comprensión adecuada de muchos conceptos y procedimientos. Un cambio en su forma tradicional de enseñanza, tomando como punto de partida los criterios constructivistas, puede resultar en un mejor aprovechamiento y entendimiento de la Química. En las últimas décadas, y especialmente en los últimos años, han surgido herramientas computacionales (programas de multimedia, programas de simulación e internet), como elementos muy útiles en la enseñanza de las ciencias.

APRENDIZAJE COOPERATIVO

En muchas propuestas de enseñanza se visualiza el aprendizaje de la ciencia como un cambio conceptual en tres etapas básicas:

- Una fase de extracción de las ideas de los alumnos, haciéndolos conscientes de su factibilidad y productividad.
- Una fase de reestructuración, creando el conflicto cognitivo, generando insatisfacción en los alumnos con sus ideas y preparándolos para la introducción de los conceptos científicos.
- Una fase de aplicación, que da la oportunidad para usar las nuevas concepciones en diferentes contextos y consolidarlas.

Uno de los modelos constructivistas de enseñanza más usados e investigados es el de aprendizaje cooperativo, que implica actividades de aprendizaje organizadas alrededor de pequeños grupos de estudiantes que trabajan juntos para alcanzar metas de aprendizaje comunes y favorece el proceso de cambio conceptual.

El aprendizaje cooperativo es un enfoque que permite la construcción activa de conocimiento, así como el desarrollo de muchas habilidades. Éste se refiere a un conjunto de métodos de enseñanza que requieren la participación activa, tanto del maestro, como de los estudiantes; en vez de transmitir el conocimiento en su forma final, éste se forma a través de interacciones profesor-estudiante, estudiante-estudiante y estudiante-contenidos.

El aprendizaje cooperativo en un grupo permite el intercambio de conocimiento e ideas entre estudiantes que pueden diferir en sus niveles de desarrollo y conocimiento previo; también, estimula su motivación para participar activamente en el proceso de aprendizaje, ya que asegura conflictos cognitivo-sociales por puntos de vista, ideas y personalidades diferentes. Se desarrollan habilidades intelectuales y comunicativas a través del diálogo y la discusión. Los estudiantes aprenden a ayudar y contribuir en el desarrollo de sus compañeros. En esta situación, el proceso de aprendizaje se vuelve más cualitativo y reemplaza una mera acumulación de conocimiento. Los resultados de investigaciones muestran que la cooperación incrementa el respeto de los estudiantes por sí mismos y por sus compañeros, de manera que no hay "ganadores" y "perdedores", porque en las interacciones cooperativas trabajan juntos para alcanzar una meta común. Los reconocimientos dados al grupo, de acuerdo a sus logros, también contribuyen a un buen éxito individual.

El papel del profesor en el aprendizaje cooperativo no se limita al contenido de la enseñanza, sino que se extiende a un "coordinador de conocimientos" que estimula la motivación de los estudiantes y las interacciones estudiante-maestro y estudiante-estudiante. El docente estimula a los alumnos para que hagan afirmaciones, confronten y defiendan sus ideas y puntos de vista. El profesor dirige las discusiones de clase y crea situaciones en las que los alumnos se sientan libres para preguntar e investigar; además, estructura el pensamiento de los educandos al transformar lo que dicen espontáneamente en declaraciones

precisas, confrontándolos con lo que dicen otros compañeros, dirigiéndolos al formular preguntas, estimulándolos a generalizar, a extraer lo que es esencial. Para asegurar un funcionamiento efectivo del grupo, el maestro debe ayudar a los estudiantes a perfeccionar habilidades como escuchar activamente a sus compañeros, respetar el derecho de otros a hablar, aceptar la responsabilidad que cada uno tiene en el esquema de trabajo en grupo y compartir el propio punto de vista con los demás.

En este ambiente, afloran las ideas previas y existe la posibilidad de que los estudiantes asimilen las ideas previas de otros compañeros, por lo que el papel del profesor se vuelve indispensable para dirigir al grupo hacia el conflicto cognitivo y provocar el cambio conceptual.

Es conveniente que el enfoque usado en la enseñanza asegure, en la medida de lo posible, que cada individuo forme conceptos activamente, mediante una interacción social y una interacción con el contenido de estudio, con un razonamiento productivo, analítico y crítico, y mediante el intercambio y discusión de ideas.

Estrategias de investigación cualitativas concluyen que la experiencia de aprendizaje cooperativo aparta a los estudiantes de una memorización rutinaria, los lleva hacia un aprendizaje significativo y desarrolla habilidades interpersonales y de comunicación. Además, hace surgir sus ideas previas y fomenta el cambio conceptual. La calidad y la naturaleza del procesamiento cognitivo que ocurre cuando los alumnos tratan de explicar una idea, o tratan de entender las explicaciones de otros, los ayuda a usar estrategias metacognitivas y elaborativas y un alto nivel de razonamiento. Los maestros dan a los estudiantes más responsabilidad para aprender, y distribuyen la atención de manera más equitativa al funcionar como mentores, facilitadores y personas con recursos, más que como dadores de información. También otros factores como la organización de la tarea académica, las estructuras de reconocimiento y el tiempo usado en compartir ideas, pueden influir en un mejor aprendizaje en ambientes cooperativos.

LABORATORIO

Dentro del constructivismo, la práctica de laboratorio se considera, más que la sola adquisición de habilidades, un ingrediente esencial en el entendimiento de la misma ciencia.

No es posible separar los siguientes tres elementos: *aprender ciencia* (adquirir el conocimiento teórico y conceptual), *aprender acerca de la ciencia* (desarrollar un entendimiento de la naturaleza y métodos de la ciencia, y darse cuenta de las complejas interacciones entre la ciencia y la sociedad) y *hacer ciencia* (ocuparse y volverse experto en la cuestión científica y la resolución de problemas).

Los estudiantes pueden aprender ciencia y acerca de la ciencia al conducir investigaciones científicas bien diseñadas (haciendo ciencia), con el asesoramiento de una persona experimentada (el profesor). En cualquier investigación científica, se debe buscar que los alumnos logren tres tipos de aprendizaje. Primero, se promueve el entendimiento conceptual de lo que se está estudiando o investigando. Segundo, se promueve el conocimiento procedimental, aprendiendo más acerca de los experimentos y estudios relacionados, adquiriendo un entendimiento más sofisticado de la observación, el experimento y la teoría. Tercero, se promueve la experiencia en la investigación.

Hacer ciencia es insuficiente por sí misma para dar el entendimiento conceptual que busca el currículo. Restringir el currículo a aprender ciencia y acerca de la ciencia no asegura que los estudiantes sean capaces de hacer ciencia por ellos mismos.

Por lo tanto, el trabajo práctico debe considerar los siguientes tres propósitos:

- Ayudar a los estudiantes a aprender ciencia –adquirir y desarrollar el conocimiento teórico y conceptual.
- Ayudar a los estudiantes a aprender acerca de la ciencia –desarrollar un entendimiento de la naturaleza de los métodos científicos y darse cuenta de la complejidad de las interacciones ciencia-sociedad-tecnología-medio ambiente.
- Habilitar a los estudiantes para que hagan ciencia –desarrollar experiencia en la investigación científica y en la solución de problemas.

El trabajo de laboratorio presenta las siguientes características:

1. El estudiante se involucra activamente y asume la responsabilidad de su propio aprendizaje.
2. Las ideas previas de los estudiantes se obtienen con muchos métodos, por ejemplo: el maestro hace preguntas después de que los estudiantes han tenido la oportunidad de explorar con materiales o considerar un problema, o se pide a los estudiantes que generen preguntas, predicciones y explicaciones.
3. El profesor pone problemas que creen insatisfacción y conflicto con el conocimiento previo de los estudiantes.
4. El trabajo se desarrolla en grupos o equipos. Se discute dentro del grupo y cada equipo entrega un trabajo escrito que es discutido por todos. Los equipos hacen presentaciones ante el grupo.
5. Los estudiantes buscan aplicaciones adicionales.

La esencia del constructivismo es que el conocimiento se construye en la mente de quien aprende. Esta afirmación se expande a cinco proposiciones o postulados, a partir de los cuales se pueden modificar las actividades de laboratorio.

1. El aprendizaje requiere una actividad mental: por lo tanto se deben modificar los laboratorios para incrementar la actividad cognitiva de los alumnos.

- a. Identificando las variables relevantes.
- b. Diseñando el procedimiento o reduciéndolo a sus partes esenciales.
- c. Diseñando una tabla de datos.
- d. Usando una hoja de trabajo estándar de laboratorio, que incluya conceptos importantes como planteamiento del problema, hipótesis, variables involucradas, constantes, tabla de datos, resumen y conclusiones.
- e. Sugiriendo fuentes de error en el laboratorio y modificaciones para eliminarlas.

2. El conocimiento previo afecta el aprendizaje: por lo tanto se deben diseñar los laboratorios para aprender cuál es este conocimiento.

- f. Mover el laboratorio al principio del capítulo o del tema a tratar, usándolo como el principio del ciclo de aprendizaje.
- g. Que los estudiantes hagan predicciones y las expliquen antes del laboratorio.

3. *Los alumnos deben sentirse insatisfechos con su conocimiento presente: por lo tanto el laboratorio debe desafiar este conocimiento.*

- h. Modificar la práctica de laboratorio como un problema cuya solución no es obvia.

4. *El aprendizaje tiene un componente social: por lo tanto en el diseño de la práctica se deben incluir actividades grupales que involucren a toda la clase.*

- i. Que los estudiantes tengan la oportunidad de discutir sus predicciones, explicaciones, procedimientos y datos antes de realizar la práctica, y que presenten los resultados después de haberla terminado.

5. *El aprendizaje necesita aplicación: por lo tanto en el diseño de las prácticas se debe requerir que los estudiantes encuentren o demuestren aplicaciones.*

- j. Demostración de las aplicaciones después de la práctica de laboratorio.

Las modificaciones propuestas probablemente consuman más tiempo, ocasionando que se tenga que disminuir el número de experimentos programados inicialmente. Sin embargo, los métodos sugeridos dan un marco coherente para hacer un progreso, al incrementar el aprendizaje de los estudiantes en las actividades de laboratorio.

La falta de aprendizaje de las experiencias de laboratorio no depende de la complejidad de la materia, sino de la falta de atención en lo poco que los estudiantes aprenden en el laboratorio, debido a la manera en la que se estructuran las prácticas comúnmente.

Aparentemente, los estudiantes no son capaces de construir razonamientos que relacionen las representaciones macroscópicas, microscópicas y simbólicas. El trabajo de laboratorio puede ser un medio para construir la integración de estos niveles, ya que los estudiantes experimentan los fenómenos en los niveles macroscópico y simbólico, pero tienen que interpretarlos en el nivel microscópico. Para que el aprendizaje de los estudiantes sea más significativo, los experimentos

de laboratorio se deben relacionar de manera más efectiva con la teoría vista en clase o en algunos casos reemplazarla (integrando la teoría con el laboratorio).

Puede ser conveniente pasar el trabajo de laboratorio al principio del trabajo teórico para crear interés en el material que se va a aprender y dar la oportunidad al maestro para diagnosticar las ideas previas de los estudiantes. El trabajo de laboratorio puede jugar el papel de “puente” entre el conocimiento previo y el nuevo.

Al determinar el mejor estilo de laboratorio, se deberá toma en cuenta cuál logra mejor los siguientes objetivos:

- entendimiento conceptual
- retención de los conocimientos aprendidos
- habilidades de razonamiento científicas
- orden cognitivo superior
- habilidades de manipulación en el laboratorio
- mejor actitud hacia la ciencia
- mejor entendimiento de la naturaleza de la ciencia

USO DE COMPUTADORAS E INTERNET

Las estrategias constructivistas centradas en el alumno, promueven la integración de la tecnología basada en computadoras en el salón de clase. Los maestros constructivistas utilizan esta tecnología como una herramienta, un recurso adicional que el maestro usa para cubrir de una manera más eficiente las necesidades de los estudiantes. Esta tecnología facilita un aprendizaje activo al reducir aspectos repetitivos y tediosos, enfocándose a procesos y habilidades de alto nivel.

La Tecnología de la Información o tecnología basada en computadoras disponible para el uso en las clases de ciencias es:

- *Registro de datos.* Esta tecnología une a la computadora con sensores que permiten la medición, presentación y análisis de datos. Este tipo de actividades se conoce como “Laboratorio asistido por computadora”. Sus principales características son que recoge datos mucho más rápido

que las personas, tiene una capacidad de memoria para almacenar datos muy grande, se puede usar por grandes periodos de tiempo, permite cálculos rápidos y tiene una alta credibilidad.

- *Hojas de cálculo.* Esta tecnología permite el almacenaje de datos y su valor se centra en la posibilidad de procesar resultados rápidamente, presentándolos de manera accesible y significativa.
- *Simulaciones.* Esta tecnología emula procesos y sistemas, y generalmente se diseña para procesos específicos. En el aprendizaje de las ciencias se usan cinco formas diferentes de simulación: a) para experimentos hipotéticos, como experimentos que normalmente serían imposibles por la seguridad o restricciones en el acceso, tiempo, etcétera; b) para contravenir las leyes de la naturaleza; c) para experimentos limpios en los que sólo se necesiten ver patrones y tendencias; d) para captura y despliegue de datos; e) para modelos matemáticos.
- *Modelado.* A diferencia de la simulación, que se enfoca a un fenómeno en particular, el modelado permite a los estudiantes usar lenguajes de modelado para la solución de problemas. El modelado basado en computadora se basa en el desarrollo y evaluación de un modelo.
- *Multimedia (CD ROM, bases de datos, paquetes especiales).* El uso de esta tecnología promueve el aprendizaje porque alienta a los estudiantes a ser reflexivos, a juzgar y evaluar información en términos de su pertinencia y relevancia; además, permite que éstos expresen su creatividad y promueve el pensamiento crítico. Los estudiantes se vuelven diseñadores del conocimiento.
- *Internet y correo electrónico.* El potencial pedagógico de esta tecnología es que ofrece a los estudiantes y maestros oportunidades para presentar, manipular y obtener información de todo tipo, y de muy variadas maneras. Muchas veces la información y servicios obtenidos son gratuitos; sin embargo, se debe tener en cuenta que no hay arbitraje ni regulación y podemos encontrar información de diferente calidad.

El potencial del uso de la tecnología basada en computadora, en las clases de ciencias, es inmenso. La educación científica debe reflejar el alcance de la computadora como herramienta para el aprendizaje y como herramienta utilizada por científicos. Sin embargo, estos usos serán efectivos sólo si los maestros diseñan tareas y procedimientos adecuados.

2. APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

Las estrategias que incorporen el uso de productos familiares y experiencias personales, pueden mejorar la conexión entre el conocimiento existente y nuevos conceptos. Estos puntos de partida pueden ser concepciones previas a la instrucción acerca de los fenómenos y conceptos que se van a aprender, visiones de la Química y de la enseñanza de la Química, habilidades mentales, motivaciones e intereses, así como características clave de la vida cotidiana. Los estudiantes se comprometen en esta cuidadosa construcción, sólo si sienten la necesidad de aprender y el proceso es exitoso, sólo si son cuidadosamente guiados desde sus visiones y concepciones previas, hacia los conceptos químicos.

Para lograr esto, se pueden usar enfoques de enseñanza que consideren la historia y la filosofía de la ciencia, de manera que se tomen en cuenta aspectos relacionados al contexto del descubrimiento.

Una de las perspectivas actuales de la enseñanza de la ciencia se basa en el uso de la historia de la ciencia para presentar la actividad humana en un fuerte sentido cultural, social y ético. Un enfoque de este tipo permite un entendimiento más global de la naturaleza de la ciencia, el conocimiento científico y el trabajo de los científicos. El conocimiento es un producto humano y cultural, y no se puede entender su naturaleza y el sentido de su realización, sin conocer sus contextos históricos.

El cambio conceptual implica un cambio metodológico, por lo que las estrategias de enseñanza deben de incluir explícitamente actividades que asocien el cambio conceptual con la práctica de la metodología científica. Uno de los

defectos de la enseñanza de las ciencias ha sido el de estar centrada casi exclusivamente en los conocimientos declarativos, olvidando los procedimentales y actitudinales.

Desde un punto de vista constructivista, resulta esencial asociar explícitamente la construcción del conocimiento a problemas. Una característica fundamental del tratamiento científico de los problemas es tomar las ideas que se tienen, incluso las más seguras y obvias, como simples hipótesis de trabajo que es necesario comprobar, esforzándose en imaginar otras hipótesis.

Una estrategia muy coherente y congruente con la orientación constructivista y con las características del razonamiento científico, es la que plantea el aprendizaje de las ciencias como investigación. Este modelo consiste en el tratamiento de situaciones problemáticas abiertas, a través de las cuales los alumnos puedan participar en la construcción de los conocimientos.

Estrategia de enseñanza para un aprendizaje como investigación

1. Plantear situaciones problemáticas que generen interés y proporcionen una concepción preliminar de la tarea.
2. Proponer a los estudiantes el estudio cualitativo de las situaciones problemáticas planteadas y la toma de decisiones, con la ayuda de las necesarias búsquedas de información (bibliográficas y otras), para acotar problemas precisos.
3. Orientar el tratamiento científico de los problemas planteados, que lleva a:
 - La construcción de conceptos y emisión de hipótesis.
 - La elaboración de estrategias de resolución para la contrastación de las hipótesis con el cuerpo de conocimientos de que se dispone.
 - La resolución y el análisis de los resultados, cotejándolos con los obtenidos por otros grupos de alumnos y por la comunidad científica. Ello puede convertirse en ocasión de conflicto cognoscitivo entre distintas concepciones y obligar a concebir nuevas hipótesis.

4. Plantear el manejo reiterado de los nuevos conocimientos en una variedad de situaciones para hacer posible la profundización y afianzamiento de los mismos.

En este modelo, el aprendizaje de las ciencias es concebido como un cambio a la vez conceptual, metodológico y actitudinal.

La propuesta de organizar el aprendizaje de los alumnos como una construcción de conocimientos, responde a una *investigación dirigida* en dominios perfectamente conocidos por el "director de investigaciones" (profesor) y en la que los resultados parciales, obtenidos por los alumnos, pueden ser reforzados, matizados o puestos en cuestión, por los obtenidos por los científicos que les han precedido. Un trabajo de investigación en el que constantemente se cotejan los resultados de los distintos equipos y se cuenta con la ayuda de un experto.

Se trata de que el alumno construya su propia ciencia mediante un trabajo colectivo de investigación dirigida, tan alejado del descubrimiento autónomo como de la transmisión de conocimientos ya elaborados.

Las situaciones problemáticas abiertas, el trabajo científico en equipo y la interacción entre los equipos, se convierten en tres elementos esenciales de una orientación constructivista radical del aprendizaje de las ciencias.

Una orientación como ésta exige la transformación de las actividades fundamentales del aprendizaje de las ciencias (desde la introducción de conceptos al trabajo de laboratorio, pasando por la resolución de problemas sin olvidar la evaluación), para que se conviertan en ocasión de construcción de conocimientos.

El desarrollo eficaz de un programa de investigación exige la transformación del clima del aula para que se supere la habitual atmósfera de control autoritario. En esta transformación de las actividades y situaciones de aprendizaje, la historia y la filosofía de la ciencia aparecen como recursos fundamentales, pudiendo ilustrar sobre las situaciones problemáticas enfrentadas por los científicos y el desarrollo evolutivo de los conceptos.

3. SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES

Tomando en cuenta lo que hasta este momento hemos visto, podemos hacer las siguientes sugerencias y recomendaciones desde un punto de vista constructivista, considerando la manera en la que los alumnos aprenden y lo complejo que puede ser la Química para muchos.

- Que se use la historia de la ciencia, el desarrollo evolutivo de los diferentes conceptos y los problemas a los que se enfrentaron los científicos antiguos y actuales, como herramientas e hilos conductores en la construcción activa del conocimiento por parte de los estudiantes.
- Que se presente el material del curso de manera inductiva, moviéndose de hechos y fenómenos familiares, a teorías y modelos matemáticos, en oposición al enfoque tradicional de “fundamentos y después aplicaciones”.
- Que se usen rutinariamente ejemplos de procesos reales para ilustrar principios básicos, dando oportunidades para laboratorio y presentando a científicos experimentados que describan cómo usan los métodos que los estudiantes aprenden en clase.
- Que se ponga énfasis en las experiencias de aprendizaje activo en clase, disminuyendo la cantidad de tiempo que se da a la exposición del maestro; que se use mucho aprendizaje cooperativo (basado en equipos), tanto dentro, como fuera de clase, tratando de que los estudiantes se enseñen unos a otros (con una dirección adecuada), en vez de que dependan únicamente del maestro como fuente de conocimiento.
- Que se asignen regularmente preguntas abiertas y ejercicios de formulación de problemas, junto con los problemas tradicionales de sustitución algorítmica.
- Que se haga un uso extenso de material práctico y visual para ilustrar la presentación de conceptos verbales/matemáticos abstractos, y que se incluya una gran variedad de tipos de problemas en tareas y ejercicios.
- Que el trabajo de laboratorio adquiera la debida importancia como parte indispensable en la construcción del conocimiento.

- Que todas las herramientas (aprendizaje cooperativo, laboratorio, material práctico y computacional) se utilicen con el objetivo de lograr el cambio conceptual. Que afloren las ideas previas de los estudiantes y los profesores sepan guiar hacia el conflicto cognitivo, presentando los conceptos científicos y aplicándolos en situaciones reales.
- Que los docentes hagan un manejo adecuado del lenguaje, haciendo mucho énfasis en la diferencia entre el lenguaje común y el científico, de manera que los estudiantes entiendan lo que el profesor pretende.
- Que se tome en cuenta que los alumnos recuerdan primordialmente la primera teoría que se les enseña (generalmente la de Arrhenius), por lo que se tiene que tener mucho cuidado y atención al introducir otras teorías. Incluso se debe considerar la propuesta de Hawkes de introducir primero la teoría de Brønsted y, posteriormente, la de Arrhenius como un aspecto histórico en la evolución de los conceptos.

El uso repetido de estos métodos en el currículo tendrá efectos positivos y significativos en la comprensión y retención de los conceptos, en el funcionamiento y las actitudes de los estudiantes hacia la química, y en la confianza en sí mismos.

La visión de la ciencia como algo objetivo, como la descripción de la realidad tal como es, como la última verdad inapelable, ha quedado en el pasado. El constructivismo nos muestra a la ciencia, como una herramienta para entender el mundo y ésta evoluciona y cambia, así como también lo hacen los conocimientos y los alcances tecnológicos y humanos.

Dentro de este enfoque, el conocimiento previo o ideas previas de los estudiantes ocupan un papel fundamental dentro del aprendizaje. Todos aprendemos a partir de nuestro conocimiento previo, por lo que resulta indispensable conocerlo y ver qué tan congruente es con respecto a los conocimientos científicos actualmente vigentes. Los individuos empiezan a construir estas ideas previas desde pequeños, al tratar de entender el mundo en el que viven, relacionándolas con sus experiencias cotidianas. Si el conocimiento científico se construye sobre unas bases equivocadas, deformadas o incompletas, éste no será asimilado adecuadamente por los estudiantes: lo que aprenden lo aprenden mal y lo olvidan fácilmente. Hemos visto que estudiantes de culturas y edades diferentes presentan ideas previas similares con relación a conceptos científicos, por lo que es importante realizar más investigación sobre las ideas previas en Química, de manera que se tengan bases más firmes sobre las cuales empezar a trabajar.

En esta orientación educativa, que involucra estrategias y modelos de enseñanza como el aprendizaje cooperativo, experiencias de laboratorio más acordes con el constructivismo y el uso de herramientas computacionales, la historia de la ciencia también juega un papel importante como herramienta en el aprendizaje. Los alumnos pueden visualizar a la ciencia como algo más humano, al repasar hechos históricos que representaron cambios fundamentales en el desarrollo científico y al tener una visión general de cómo los conceptos científicos fundamentales fueron evolucionando hasta llegar a lo que son y representan actualmente. Muchas de las ideas previas pueden relacionarse con la forma en que los científicos explicaban ciertos fenómenos, basándose en aspectos perceptivos, sin tomar en cuenta variables más elaboradas.

Dentro de la Química, el tema de ácidos y bases representa un eslabón fundamental desde la educación media, que involucra el entendimiento previo de una gran cantidad de conceptos. Los alumnos tienen dificultades para

comprender estos conceptos y, pocas veces o ninguna, se toman en cuenta las ideas previas que tienen al respecto. Otro de los problemas es que no existe una definición única para estos conceptos; los alumnos memorizan las definiciones pero no sus diferentes alcances y usos. No relacionan fácilmente el conocimiento previo (en este caso podrían ser las primeras definiciones vistas) con lo que aprenden, por lo que estas diferentes teorías no son asimiladas correctamente.

Podemos decir que la historia del desarrollo evolutivo de la acidez y la basicidad representa, de manera general, la historia de la Química. Muchas de las ideas observadas en los estudiantes pueden vincularse a la manera en la que los científicos en la antigüedad se aproximaron a estos conceptos, es decir, tomando en cuenta las propiedades observables y medibles; otras ideas se deben a que no han asimilado teorías más modernas y siguen generalizando definiciones que no incluyen lo que actualmente se considera una sustancia ácida o básica. En general, observamos que al integrarse al currículo, la historia podría jugar un papel muy importante y benéfico en el proceso de enseñanza-aprendizaje de estos conceptos. Esto ayudaría tanto en el tema de ácidos y bases como en el de la Química y la ciencia en general.

Con el hilo conductor de la historia de la ciencia, y con herramientas tales como: técnicas de aprendizaje cooperativo en el salón de clases, laboratorios con características que favorezcan la adquisición del conocimiento procedimental (tomando en cuenta el conocimiento declarativo y actitudinal) y, finalmente, tecnologías computacionales que nuestra sociedad actual nos ofrece, podemos aspirar a que este proceso tan complejo, el de enseñanza-aprendizaje, logre a mediano y largo plazo, lo que todos deseamos, la construcción de un conocimiento significativo y acorde con el pensamiento científico vigente.

1. Barker, V. (2000). Beyond appearances: students' misconceptions about basic chemical ideas. *A report prepared for the Royal Society of Chemistry*. 42-45.
2. 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.
3. Bell, R. P. (1969). Acids and Bases, Their quantitative behavior. *Metruen & Co. Ltd. and Science Paperbacks, Great Britain, London*.
4. Bodner, G. M. (1992). Why changing the curriculum may not be enough. *Journal of Chemical Education*, 69 (3), 186-190.
5. Borsese, A. (2000). Comunicación, lenguaje y enseñanza. *Educación Química*, 11 (2), 220-227.
6. Bowser, J. R. (1993). Inorganic Chemistry. *Brook/Cole Publishing Company, USA California*.
7. Caamaño R. A. (2001). La enseñanza de la química en el inicio del nuevo siglo: una perspectiva desde España. *Educación Química*, 12 (1), 7-17.
8. Carretero, M. (1993). Constructivismo y Educación. *Ed. Edelvives. España*.
9. Carretero, M. (1996). Construir y Enseñar: Las ciencias experimentales. *Aique Grupo Editor, España*.
10. 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, 331-336.
11. Cros, D. & Maurin, M. (1986). Conceptions of first-year university students of the constituents of matter and the notions of acids and bases. *European Journal of Science Education* 8 (3), 305-313.
12. De Manuel, T., Jiménez, M., Salinas, F. (2000). Las concepciones sobre ácidos y bases de los opositores al cuerpo de profesores de secundaria. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 24, 66-67.
13. Díaz, B. F. & Hernández, R. G. (1998). Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. *McGrawHill, México*.
14. Felder, R. M. (1996). Active-inductive-cooperative learning: an instructional model for chemistry?. *Journal of Chemical Education*, 73 (9), 832-836.

15. Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: a look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76 (4), 548-554.
16. Gabel, D. (2000). Theory-based teaching strategies for conceptual understanding of chemistry. *Educación Química*, 11 (2), 236-243.
17. Garnett P. J., Garnett P. J., 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.
18. Gil Pérez, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las ciencias*, 11 (2), 197-212.
19. Hand, C. W. & Blamitt, H. I. (1986). Acid-Base Chemistry. *Macmillan Publishing Company, New York*.
20. Hand, B. M. (1989). Student understandings of acids bases: A two year study. *Research in Science Education* 19, 133-144.
21. Hawkes, S. (1992). Arrhenius confuses students. *Journal of Chemical Education*, 69 (7), 542-543.
22. Herron, D., & Nurrenbern, S. (1999). Improving chemistry learning. *Journal of Chemical Education*, 76 (10), 1354-1361.
23. Hesse, J. J., & Anderson Ch. W. (1992). Students' conceptions of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (3), 277-299.
24. Hodson, D. (1996). Practical work in school science: exploring some directions for change. *International Journal of Science Education*, 18 (7), 755-760.
25. Huann-shyang Lin, (1998). The effectiveness of teaching chemistry through the history of science. *Journal of Chemical Education*, 75 (10), 1326-1330.
26. Jensen, W. B. (1980). The Lewis Acid-Base Concepts. *John Wiley & Sons, Inc. A Wiley-Interscience publication, USA*.
27. Jensen, W. B. (1998). Logic, history, and the chemistry textbook: I. Does Chemistry have a logical structure?. *Journal of Chemical Education*, 75 (6), 679-687.

28. Jensen, W. B. (1998). Logic, history, and the chemistry textbook: II. Can we un-muddle the chemistry textbook?. *Journal of Chemical Education*, 75 (7), 817-828.
29. Jensen, W. B. (1998). Logic, history, and the chemistry textbook: III. One chemical revolution or three?. *Journal of Chemical Education*, 75 (8), 961-969.
30. Miessler, G. L. & Tarr, D. A. (1991). *Inorganic Chemistry*. Prentice Hall, New Jersey, USA.
31. 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. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (9), 1149-1168.
32. 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.
33. Osborne, R. & Freyberg, P. (1995). El aprendizaje de las ciencias: implicaciones de las "ideas previas" de los alumnos. *Ed. NARCEA, Madrid*.
34. Paixao, M. F., Cachapuz, A. (2000). Mass conservation in chemical reactions: the development of an innovative teaching strategy based on the history and philosophy of science. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1 (2), 201-215.
35. Pozo, J. I., Gómez Crespo, M. A., Limón, M., Sanz Serrano, A. (1991). Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: las ideas de los adolescentes sobre la química. *C.I.D.E., Madrid*.
36. Pozo, J. I. & Gómez Crespo, M. A. (1998). Aprender y enseñar ciencia. *Ediciones Morata S. L., Madrid*.
37. Rayner-Canham, G. (1994). Concepts of Acids and Bases. *Journal of College Science Teaching*, 23 (4), 246-247.
38. Rayner-Canham, G. (2000). Química Inorgánica Descriptiva. *Pearson Educación, 2ª edición, México*.
39. Ross, B. & Munby, H. (1991). Concept mapping and misconceptions: a study of high-school students' understandings of acids and bases. *International Journal of Science Education*, 13 (1), 11-23.

40. Russo, S. & Silver, M. (2000). *Introductory Chemistry*. Addison Wesley Longman, USA.
41. Schmidt H. J. (1991). A label as a hidden persuader: chemists' neutralization concept. *International Journal of Science Education*, 13 (4), 459-471.
42. Shiland, T. W. (1999). Constructivism: the implications for laboratory work. *Journal of Chemical Education*, 76 (1), 107-108.
43. Sisovoc, D. & Bojovic, S. (2000). Approaching the concepts of acids and bases by cooperative learning. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1 (2), 263-275.
44. Treagust, D., Duit, R., Nieswandt, M. (2000). Sources of students' difficulties in learning Chemistry. *Educación Química*, 11 (2), 228-235

*a mi papá, a mi mamá y a mi hermano
por estar siempre conmigo y ser
un ejemplo en mi vida*

*a Marco
por su amor y su apoyo*

*a mi maestra, Silvia Bello
por su orientación y asesoría en este trabajo*

*a la Universidad Nacional Autónoma de México
por todo lo que me dio*

*y a todos aquellos que contribuyeron de distintas formas
para que esto sucediera . . .*

Gracias a todos.