

# EVOLUCIÓN DE LAS DEFINICIONES ÁCIDO-BASE EN FORMACIÓN DOCENTE. PROPUESTA PARA SU ENSEÑANZA EN FORMACIÓN DOCENTE

Griselda Firpo

Instituto de Profesores Artigas. Profesorado Semipresencial. Uruguay.  
gfirpo@semipresencial.edu.uy

## Resumen

*El estudio de las diferentes definiciones ácido-base y su evolución es pertinente para la comprensión de la química porque de dichas definiciones se desprende un amplio abanico de contenidos de la disciplina. El tema se percibe como crucial para la química inorgánica en cualquiera de sus enfoques, descriptivo o estructural, porque profundiza los conocimientos que el estudiante de profesorado ha aprendido en el área estructurante (por ejemplo: reacciones químicas, equilibrio químico y química de la oxidación-reducción) y da paso para una comprensión más sencilla de lo que sucede cuando se trabaja con solventes no acuosos. Los ácidos y las bases son fundamentales para la química inorgánica. Los temas relacionados de química de coordinación y redox constituyen la base de la química inorgánica descriptiva. En este artículo, se realiza primeramente el enfoque disciplinar (histórico-epistemológico del tema) y posteriormente, una propuesta para su enseñanza a nivel de formación docente basada en la diversidad metodológica.*

**Palabras clave:** química ácido-base; definiciones ácido-base; didáctica de formación docente; química inorgánica.

## 1. Introducción

Con respecto a la química ácido-base: “por ser tan fundamentales se han efectuado muchas investigaciones que con frecuencia han provocado disconformidad con objeto de intentar encontrar la ‘mejor manera’ de considerar este tema”. Con esta frase introducen Huheey, Keiter y Keiter (1997, p.366) el tema química de los sistemas ácido-base, advirtiendo al lector sobre la complejidad y subjetividad del mismo.

Asimismo, ácido-base brinda una oportunidad rica al formador de profesorado para enseñar la evolución de las definiciones ácido-base desde un enfoque histórico-epistemológico, a la vez que permite a los estudiantes de profesorado revisar su concepción de ciencia, proyectar posibles actividades para realizar con los alumnos de educación media, entre muchas otras relaciones de interés. Los docentes deben conocer los modelos conceptuales que se han inventado a lo largo de la historia y también ser capaces de justificar por qué un modelo histórico ha sido sustituido por otro. Los futuros docentes deben aprender a guiar a los estudiantes sobre cómo construir e interpretar modelos científicos. Furió, Calatayud, Guisasola y Furió-Gómez (2005, p.3) enfatizan en que los modelos son representaciones de la realidad falibles y limitados por lo tanto se deben enseñar sin ser presentados de forma tal que el modelo se confunda con la realidad evitando superponer modelos que den lugar a constructos híbridos carentes de fundamentación histórica-epistemológica.

Es frecuente encontrar en los textos de Química General una breve introducción al tema señalando que los ácidos y las bases se conocen desde hace cientos de años y que la palabra ácido alude a “agrio” y se asocia al sabor del limón o del vinagre. En tanto que la palabra alcalino deriva de árabe “al kali” y alguna explicación sobre el uso de los álcalis para elaborar jabón en el desarrollo de la química en sus inicios. Sin embargo, luego de una rápida presentación, estos textos suelen tratar las teorías de Arrhenius, Brönsted-Lowry y Lewis casi por exclusividad y no siempre con un hilo histórico. De todas formas, dado que la visión del estudiante de profesorado de química debe ser crítica, resulta necesario el análisis bibliográfico más profundo, además del dominio o acervo de conocimientos sobre textos de química que todo profesor debe poseer. En definitiva, es una excelente oportunidad tratar las definiciones ácido-base usando la comparación de textos de estudio que plantean un enfoque epistemológico con los que no.

La historia de la química puede ser entendida en etapas cruciales que actuaron a modo de revoluciones científicas permitiendo el avance de los conocimientos (Chamizo, 2017). En estas etapas aparecen los ácidos y los álcalis con un papel preponderante en el descubrimiento del comportamiento de la materia. Es de destacar que Chamizo aclara que considerar estas etapas como “revoluciones científicas” es un tema discutible desde la perspectiva kuhniana. Para Kuhn las “revoluciones científicas se inician con un sentimiento creciente de que un paradigma existente ha dejado de funcionar adecuadamente en la exploración de un aspecto de la naturaleza hacia el cual, el mismo paradigma había previamente mostrado el camino.” (Kuhn, 1971) y estas etapas se ven más como un proceso o evolución que como un cambio paradigmático.

Igualmente es competente el análisis de las etapas propuestas por Chamizo para el desarrollo de los conceptos de ácido y de base y en el cómo las necesidades históricas de la sociedad de cada época fueron de la mano empujando el avance de la ciencia y viceversa.

Históricamente, las primeras señales del uso de sustancias alcalinas datan de casi 3000 años a.C en Babilonia donde se encontraron restos de aceites mezclados con cenizas vegetales alcalinas. Aunque se desconocen más detalles de este hallazgo, señalan Cortés, Blanco y Matos (2017) que son los cerca de 5000 años de desarrollo del proceso de manufactura de jabón en Oriente Medio de los que se conoce perfectamente el uso de álcalis extraído de cenizas de algunas plantas.

En tanto que las sustancias alcalinas se desarrollaron mayormente en Oriente, en Europa los alquimistas estaban detenidos precisamente por la limitación que imponía no tener acceso a los ácidos minerales. “Los antiguos alquimistas no sabían cómo determinar la densidad del metal obtenido o atacar ese metal con ácidos, por lo que la obtención de un metal dorado era la confirmación que se había obtenido oro” (Katz, 2016).

Un nuevo hito apareció de la mano de Robert Boyle (1627-1691) en el siglo XVII quien en los finales de la alquimia dejó registro de jugos de plantas que podían cambiar de color según estuvieran en contacto con ácidos o con álcalis (Chamizo, 2017). “Usaba extractos de violetas, rosas, campanilla blanca, palo Brasil, primulas, cochinilla o grana” (Grompone, 2011). Boyle fue un poco más allá porque se refirió a las propiedades de los ácidos y los álcalis de la siguiente manera:

- Alcali: Resbaladizo y capaz de disolver aceites
- Ácido: Picante, corrosivo, capaz de disolver muchas otras sustancias

Boyle era escéptico y había criticado una postura anterior llamada “la teoría ácido-alcalina” que había ido formándose a partir de las apreciaciones de Van Helmont (1580-1644), un personaje multifacético, médico y alquimista que había estudiado la digestión, los jugos gástricos y la bilis. En esta etapa, los ácidos y los álcalis eran de interés para la medicina porque la iatroquímica tenía afección por teorías que explicaran algunas enfermedades. En el siglo XVII, Francisco Silvio (1614-1632) y Otto Tachenio (1620-1690) forjaron la teoría ácido-alcalina en que “la digestión era una contienda entre sustancias ácidas y alcalinas seguida de una neutralización” (Brock, 1992, p. 65).

Siguiendo un hilo conductor, es muy conocido e interesante mostrar a los estudiantes de profesorado el diagrama de Nicolás Lémery (1645-1715) sobre una de las reacciones más conocidas de la Química, la reacción de neutralización entre un álcali y un ácido para dar una sal.

Lémery utilizó el diagrama mecanicista acorde al estado paradigmático de la ciencia de la época en donde se ven dos ruedas de engranaje, una punzante y otra porosa que encajan perfectamente. Este modelo fue utilizado para explicar el comportamiento de los ácidos y de las bases en una publicación llevada a cabo en 1675. Al respecto, García Cruz (2015) publicó una preciada recapitulación del trabajo de este médico y boticario francés al que se le atribuye el fin de la alquimia y el comienzo de la Química como Ciencia de la Naturaleza. Tanto del diagrama de Lémery como la modelización de la reacción entre un ácido y un álcali (pues el álcali es la sustancia porosa y el ácido se incrusta en el álcali por ser punzante) son de rico aporte para la formación de profesores de Química en lo epistemológico y en lo disciplinar puesto que es una evidencia más de la constante búsqueda de relaciones entre estructura y propiedad de las sustancias químicas que ha acompañado el desarrollo de la disciplina.

Era de esperar que el paso de la alquimia a la Química diera lugar a controversias que son fundamentalmente de interpretación. Chamizo (2017) atribuye a Joseph Black (1728-1799) el comienzo de la química por haber aislado el dióxido de carbono a partir de un carbonato en forma cuantitativa mientras que son varias las atribuciones a otros científicos de la época, siendo la más extendida la de “padre de la Química Moderna” a Antoine Lavoisier (1743-1794); un “título” que deja de lado la importante participación de su esposa, Marie-Anne Pierrette Paulze (1758-1836) quien, al igual que muchas científicas de la historia pasó inadvertida a pesar de ser su contribución a la Química, digna de destacar.

Lavoisier publicó en 1777 una memoria sobre la combustión en la que habla de la naturaleza de los ácidos, del oxígeno (término que significa generador de

ácidos) en donde dejó en claro que algunos elementos no metálicos que contenían oxígeno generaban, al quemarse, óxidos que se disolvían en agua formando ácidos (Bascuñan, 2008).

En los primeros 70 años del siglo XIX, el conocimiento de la materia y el auge de la Química como Ciencia no pararon de crecer; en esta etapa se encontraron las relaciones entre las masas de reactivos, se sintetizaron muchos compuestos químicos y si bien hubo descubrimientos importantes como la síntesis del ácido tricloroacético y el reconocimiento del HCl como ácido sin contener oxígeno, no fue hasta que Svante Arrhenius (1859-1927) planteó su teoría de la disociación electrolítica, que la atención de la creación del conocimiento científico en la disciplina se volvió a volcar sobre los ácidos y las bases. Para Arrhenius no fue fácil el camino para dar a conocer su teoría y requirió de la ayuda de varios científicos prestigiosos de la época. Eran llamados “Los iónicos” y querían explicar al mundo que los ácidos, las bases y las sales se disociaban en agua y conducían la corriente eléctrica. Sus experimentos con la conductividad en solución acuosa fueron fundamentales para obtener dichas conclusiones. Mc Krause (2019) enaltece el trabajo de Arrhenius por su contribución al desarrollo del conocimiento de la disociación electrolítica y su aplicación a los ácidos y las bases o álcalis. Fue 1887 el año en que Arrhenius publicó su teoría que es interpretada hoy en día como la más básica y limitada en la gran mayoría de textos que tratan química ácido-base, sin embargo, Brock (1992) se toma el trabajo de analizar la tesis doctoral de Arrhenius y la califica como ciertamente “indisciplinada” y que en la actualidad no sería aceptada por un tribunal británico.

Si bien el libro de química inorgánica de Huheey et al. (1997) y todas sus versiones son tomadas en este proyecto como el libro de estudio fundamental para el subtema, los autores no incluyen a Arrhenius en la lista de definiciones ácido-base al igual que Housecroft y Sharpe (2005) y Atkins, Overton, Rourke, Weller y Armstrong (2010). Pero a los efectos de la formación de profesorado, no se debe omitir la definición de Arrhenius. Huheey, por otra parte, sí aclara que las llamadas “teorías ácido-base” no son teorías sino definiciones y que la problemática no está planteada en cuál definición es la verdadera sino cuál es la más adecuada para una situación dada.

La lectura de la definición de Arrhenius y su vinculación con la conductividad y disociación electrolítica puede leerse en Mahan y Myers (1987); los autores proponen una versión interesante con un enfoque histórico de los aportes del científico. Finalmente cuestionan las debilidades del concepto ácido-base de

Arrhenius: la naturaleza del ion  $H^+$  en solución y la existencia de bases que no son hidróxidos.

Prácticamente no hay texto de Química General y de Química Inorgánica que no mencione lo propuesto por Johannes Brønsted (1879-1947) y Thomas Lowry (1874-1936) en forma independiente. Y no solamente es muy valioso el aporte que estos dos científicos hicieron a la disciplina y en especial al conocimiento de la Química ácido-base con el planteo de especies ácidas capaces de ceder protones y especies básicas capaces de aceptarlos; también es importante destacar los siguientes puntos respecto a las definiciones propuestas por ellos:

- Aparece la idea de que un ácido se comporta como tal en la medida que está frente a una sustancia que se comporta como base pues la transferencia de protones implica reciprocidad.
- El agua es conocida a partir de aquí como una sustancia anfótera, aunque la explicación vendrá después con el estudio de la definición del sistema del disolvente y el efecto nivelador.
- Sus definiciones permitieron dar lugar a lo que conocemos como fuerza relativa de los ácidos y las bases.
- Han persistido en el tiempo habiendo trabajado por separado por lo que son un ejemplo de comunión en cuanto a los reconocimientos de los descubrimientos científicos. Brønsted en Dinamarca y Lowry, en Londres llegaron a las mismas conclusiones con más o menos profundidad pero siempre figuran juntos como si fueran co-autores.

La definición planteada por Brønsted y por Lowry añadió muchas sustancias a la lista de ácidos y bases. Es mucho más generalizada que todo lo hecho al respecto hasta la fecha pero todavía no tiene en cuenta las reacciones entre sustancias con características semejantes a los ácidos y a las bases conocidas que carecen de protones. 1923 fue un año glorioso para la Química ácido-base pues en este año se publicaron los estudios de Brønsted, los de Lowry y también los de Lewis. Sin embargo, fue en 1930 cuando el modelo ácido-base de Lewis cobra relevancia (Atkins et al., 2010).

Del modelo de Lewis se pueden destacar aspectos importantes de tratar con los estudiantes de profesorado ya que:

- explica cómo se da la atracción en los compuestos de coordinación (aductos de Lewis). Lo hizo Nevil Sidwick (1873-1952), citado en Rodger (1995) al retomar la definición de Lewis para explicar el enlace en los compuestos de coordinación,

- relaciona el concepto de ácido o de base con la estructura molecular, los pares de electrones libres y los orbitales; es decir que brinda, al docente de profesorado, la oportunidad de retomar contenidos aprendidos en niveles anteriores,
- explica muy bien la basicidad de las aminas y la acidez de los cationes metálicos aumentando la cantidad de reacciones químicas de tipo ácido-base que no implican transferencia de protones,
- y porque “en el contexto de las velocidades de reacción, un par de electrones se denomina nucleófilo y un aceptor de electrones se llama un electrófilo.”, traducido de Atkins et al. (2010); cuestiones muy importantes para Química Orgánica.

Ya en la mitad del siglo XX se publica una nueva definición ácido-base aún más amplia y que es considerada como crucial para la Química Inorgánica; Hermann Lux (1904-1999) fue el autor de la misma y define ácido como sustancia capaz de aceptar el ion óxido y base como aquella capaz de donar iones óxido. Esta explicación fue ampliada por el noruego Hákon Flood (1905-2001) dando lugar a lo que se conoce hoy en día como definición de Lux-Flood. Las características ácidas y básicas de los óxidos metálicos y no metálicos capaces de reaccionar en ausencia de protones ya podía explicarse como una reacción ácido-base. Así, es que la reacción  $\text{CaO(s)} + \text{SiO}_2\text{(s)} \rightarrow \text{CaSiO}_3\text{(s)}$  es una típica reacción ácido-base de Lux-Flood (Huheey, 1997).

Brönsted-Lowry, Lewis y Lux-Flood habían propuesto definiciones ácido-base que se interpretaban como transferencias de partículas o iones con carga. Una de las definiciones menos afamada es la del químico ruso Michail Usanovich (1894-1981) que, según Huheey ha sido postergada y olvidada en principio por la “relativa inaccesibilidad de la literatura original para los químicos”, además de ser una definición peculiar y compleja.

Usanovich define:

- **Ácido:** Como cualquier especie química que reacciona con bases, cede cationes o acepta aniones o electrones
- **Base:** Como cualquier especie química que reacciona con ácidos, cede aniones o electrones o se combina con cationes.

Huheey (1997) indica que esta definición ha sido criticada porque incluye casi toda la química en términos de reacciones ácido-base y que los críticos indican que el vocablo “reacciones” sería suficiente. Pues son pocos los libros de estudio de química que tratan la definición de Usanovich, incluso son pocos los

textos de historia de la química que la mencionan. Entre estos pocos, Valenzuela (1995) señala que Usanovich no da lugar a interpretar el enlace de coordinación como de naturaleza ácido-base.

Más adelante, Valenzuela expresa que, en un intento por englobar todas las definiciones ácido-base existentes el propio Huheey en la primera edición en inglés del libro que se ha citado reiteradamente en este trabajo, propone una definición ácido-base universal.

- **Ácido** es aquella especie con capacidad de donar una especie positiva o aceptar una especie negativa
- Y **base** es aquella especie con capacidad de donar una especie negativa o aceptar una especie positiva

Entre las especies que se donan y se aceptan están los protones, electrones, iones y pares de electrones.

También con una idea generalizadora, se sucede a la definición de Lewis, el principio de Ralph Pearson (1919-) que clasifica cationes (ácidos de Lewis) y aniones (bases de Lewis) en duros y blandos, principio conocido del inglés como HSAB (Jensen, 1978). Housecroft y Sharpe, (2005) mencionan que el principio de Pearson es algo diferente que lo que se ha venido mostrando en las últimas “teorías”. Pearson logra clasificar iones en ácidos duros, blandos e intermedios en lo que sería un principio básico para el entendimiento de la estabilidad de la Química de coordinación en solución.

Albert Germann (1886-1976) publicó su “teoría del disolvente” y es la llamada “definición del sistema del disolvente” por Huheey; definición muy interesante puesto que da lugar a:

- Un mayor conocimiento de la fortaleza relativa de ácidos y bases
- Una relación intrínseca entre esta fuerza relativa y el solvente
- El efecto nivelador del solvente, la razón por la cual para la química en solución acuosa, el agua es una sustancia anfótera

Esta definición parte de que los solventes sufren autoprotónación y todas aquellas especies que aumentan la concentración de la especie catiónica se comportará como ácido en dicho disolvente mientras que las que aumentan la concentración de los aniones se comportarán como especies básicas (Germann, 1925, p.2463). Por ejemplo, si se usa amoníaco como solvente, el cloruro de amonio será un ácido fuerte puesto que se disuelve en amoníaco aumentando la concentración de amonio y las amidas metálicas serán bases fuertes en tanto que al ser un solvente más alcalino que el agua, las bases que son fuertes en agua,



pueden comportarse como bases débiles en amoníaco líquido. El pH para el sistema solvente-amoníaco estaría basado en la constante de autoprotólisis del  $\text{NH}_3(\text{l})$  que por lo que la escala de  $\text{pNH}_4$  no sería de 0 a 14 sino de 0 a 29.

Esta teoría fue criticada porque “algunos químicos se rehusaron a nombrar a las especies comprendidas como ácidos y bases pero insistieron en que eran análogas de los ácidos y análogas de las bases”. “¡Esto es semántica y no química!” escribe con énfasis Huheey (1997) que también advierte al lector sobre los cuidados que hay que tener con esta definición al interpretar sistemas en solventes no acuosos en no ir más allá porque se centra únicamente en las propiedades iónicas del solvente y no en las propiedades físicas del mismo.

## 2. ¿Cómo enseñar ácido-base en formación docente?

De la lectura de la introducción se desprende que del análisis de las ideas sobre ácidos y bases de la antigüedad hasta las definiciones vigentes que conceptualizan lo que es un ácido y lo que es una base se alcanzan vinculaciones con otros subtemas de la disciplina; por otra parte, se logra el conocimiento de un gran número de sustancias que será de utilidad para el enfoque descriptivo de la química inorgánica que procede.

Además, el subtema ácidos y bases es rico en sí mismo porque es frecuente que existan concepciones alternativas (ideas previas) en los estudiantes de educación media y en todos los niveles sobre lo que es un ácido o lo que es una base, sus propiedades y las reacciones que son capaces de dar (Jimenez-Aponte, Molina y Carriazo, 2015).

En una investigación realizada a estudiantes de 15 a 18 años sobre el desarrollo de las competencias procedimentales tras el estudio del tema ácido-base, Alvarado, Mellado, Garritz y Ruíz (2009), destacan lo importante que es el enfoque procedimental del tema en los estudiantes así como Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) en los docentes que enseñan el tema. En esta publicación, aparecen distintas opciones para desarrollar competencias procedimentales deseables en los estudiantes; titulaciones con realización de gráficas, análisis de textos, elección de reactivos indicadores, diseño de experiencias y contextualizaciones, como por ejemplo, el estudio de la lluvia ácida.

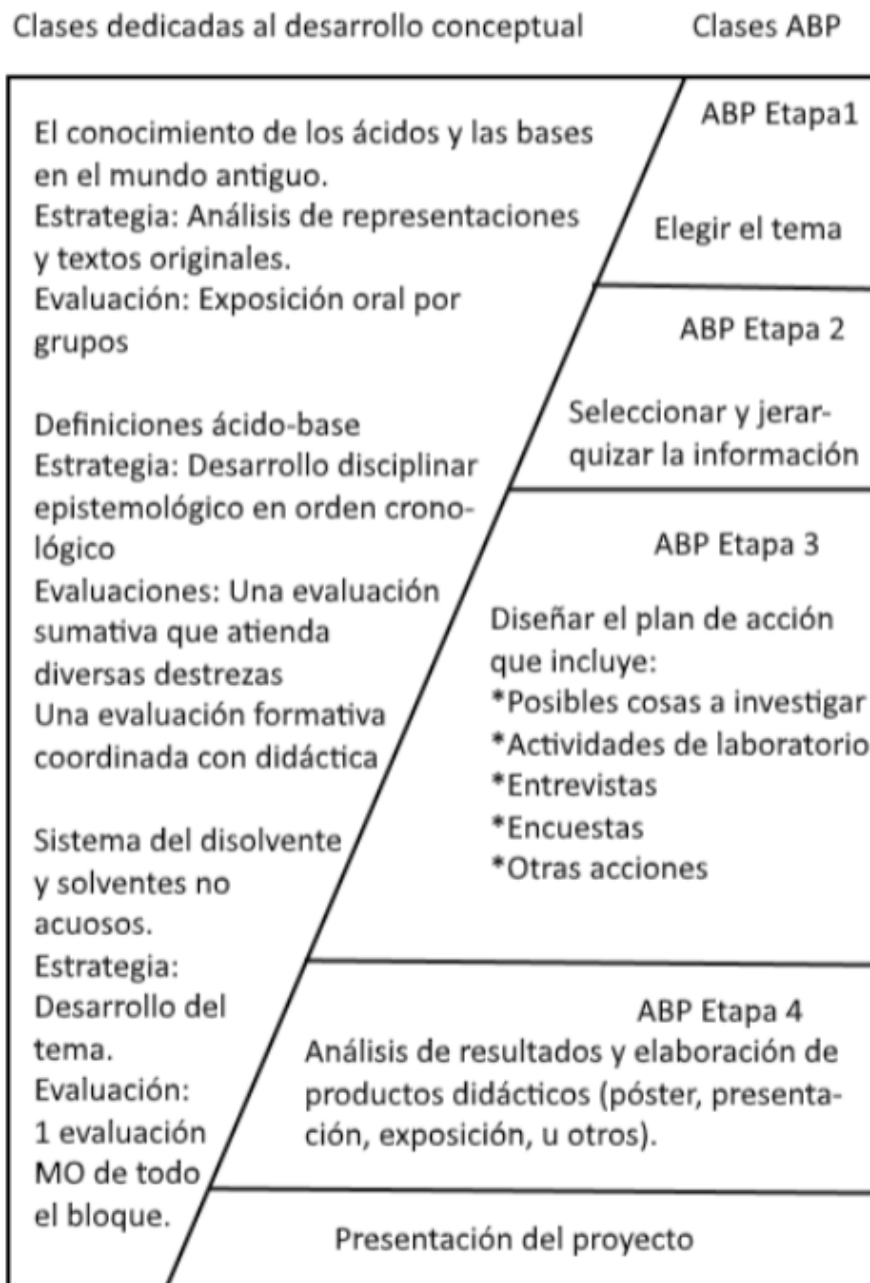


Fig. 1. Esquema de planificación de las clases. Fuente: elaboración propia.

Como elección de acciones didácticas, se propone para esta propuesta de formación terciaria, la implementación de una estrategia de aprendizaje basado en proyectos (ABP) por ser ésta especialmente útil para el desarrollo de la competencia científica.

El auge del enfoque de la enseñanza por competencias deviene de la necesidad imperiosa de utilizar el espacio y tiempo educativo para resolver problemas cuando se tiene toda la información a mano. Ya no es necesario transmitir contenidos porque todo está publicado sino utilizar todo lo disponible para seleccionar, jerarquizar e interpretar la información, lo que es señalado por Perrenoud (2001) como nueva forma de alfabetización para el siglo XXI.

El ABP es una metodología que, pese a no ser nueva, ha resurgido con mucha intensidad este último tiempo y sus ventajas vienen siendo destacadas en forma creciente. La motivación con que aprende el estudiante, la metacognición, el pensamiento crítico, la autonomía, son aspectos a destacar en muchas investigaciones, entre ellas, la revisión sobre ABP de Thomas (2000), ITM (2004), Montaner (2017), entre otros.

La *figura 1* muestra la forma en que se desarrollarán los temas y su temporalización (cualitativa). En la zona izquierda del esquema se incluyen bloques que se enseñarán con diversas estrategias y evaluaciones. En la zona derecha del esquema se incluyen las etapas de un ABP que se instrumentará simultáneamente.

### 3. El Aprendizaje basado en proyectos (ABP)

Se trata de ir gradualmente cediendo horas de clase al ABP mientras tanto se desarrollan los temas con distintas estrategias y evaluaciones en un total de 7 semanas.

La fundamentación de por qué se elige implementar ABP en el aula de formación de profesorado tiene raíz en que “En el marco de la sociedad actual, está bien demostrado que los llamados métodos tradicionales de enseñanza no posibilitan el desarrollo de la competencia científica en la mayoría de la población.” (Sanmartí y Márquez, 2017), a lo que comenta lo difícil que es validar la herramienta por la gran diferencia de estilos con que se implementa el ABP. Así que, a los efectos de este proyecto, el ABP presentado para formación terciaria en química inorgánica tendría las siguientes características: (a) parcial, no implicando la totalidad de la carga horaria, (b) en equipos de estudiantes de 4 a 6 integrantes, (c) con etapas definidas según el esquema, (d) que incluya varias actividades de laboratorio, encuestas y/o entrevistas, (f) vinculado a un conteni-

do del curso y a otra disciplina, (g) con una presentación final externa (producto didáctico), (h) con evaluaciones formativas entre etapas (entregas), (i) con una evaluación final mediante rúbrica que abarque diferentes aspectos del trabajo de los estudiantes.

Estas decisiones se basan en que Thomas (2000) señala que un ABP debe reunir ciertas exigencias para ser considerado como tal: obedecer a contenidos curriculares, ser realizado en equipo de estudiantes, ser interdisciplinario, corresponderse con un problema real, implicar el uso de las Tecnologías de la Información (TIC), ser propuesto finalmente a otras personas más allá del grupo de clase. La presentación de los proyectos propuestos por los estudiantes se debe realizar fuera del contexto del aula, por ejemplo, en forma de exposición en la Institución o presentación para otras clases y/u otros actores educativos.

Otro profesor que ha investigado las estrategias de ABP es Jordi Domenech-Casal. En una publicación muy reciente se indaga acerca de las dificultades que presenta el profesorado español en los ABP (Domenech-Casal, Lope y Mora, 2019). Las conclusiones son muy interesantes, incluso lo sería replicar la investigación para ver la concordancia con el profesorado uruguayo. En esta investigación, el equipo, citando a otra investigación conjunta de Domenech-Casal y Trujillo (otro profesor investigador entusiasta del ABP) mencionan que los docentes manifiestan la dificultad de plantear la totalidad del currículo en forma de ABP. Pérez-Aguirre (2018) afirma que todo ABP debe incorporar la totalidad del currículo, pero dado el nivel terciario en el que se enfoca este proyecto y la importancia crucial del tema para el conocimiento de la Química se entiende que el enfoque dual es de riqueza para los estudiantes de profesorado quienes mientras estudian las definiciones ácido-base, experimentaran diferentes modelos de enseñanza y evaluación.

### 3.1 La evaluación del ABP

---

Se utilizarán dos rúbricas una inicialmente y otra al final. Ambas estarán disponibles para los estudiantes.

- Instrumento de planificación y evaluación propuesto por el BIE (2005) que es útil para determinar si una propuesta de proyecto califica como ABP o debe mejorar. En esta instancia, sería interesante la coevaluación entre equipos utilizando esta herramienta.
- Rúbrica para evaluar el proyecto final.

**Tabla 1.- Rúbrica para evaluar el proyecto final. Fuente: Elaboración propia.**

	<b>Excelente</b>	<b>Satisfactorio</b>	<b>Aceptable</b>	<b>Insuficiente</b>
Tema	Reviste interés para la comunidad educativa/ contexto Es atractivo / Es original	Cumple al menos dos de las características anteriores	Cumple una de las características	No cumple ninguna característica
Preguntas de investigación	Están correctamente formuladas El trabajo responde exactamente estas preguntas	Su formulación es correcta pero el trabajo no logra responderlas en su totalidad	Responde inquietudes pero no logran formularse correctamente las preguntas	No se relacionan las preguntas de investigación con el trabajo propuesto
Marco teórico	Es original (admite copyscape) Es pertinente Tiene la extensión correcta Tiene un hilo conductor Es de lectura amena	Es original (admite Copyscape) Es adecuado en extensión pero no tiene un hilo conductor lógico	Es original (admite Copyscape) Se interpreta como suma de información	No admite Copyscape No es pertinente con la investigación realizada
Enfoque disciplinar	Utiliza conocimientos de Química para resolver situaciones problemáticas del proyecto Logra incluir los conocimientos químicos en las conclusiones del proyecto Incluye otra/s disciplina/s en forma integrada	Utiliza conocimientos químicos para explicar aspectos relevantes de la investigación Se apoya en otra/s disciplina/s sin integrarlas	Utiliza conocimientos químicos en el marco teórico del proyecto	No utiliza conocimientos químicos

	<b>Excelente</b>	<b>Satisfactorio</b>	<b>Aceptable</b>	<b>Insuficiente</b>
Metodología	Plantea un método de investigación innovador Utiliza la comparación y maneja la constancia y variabilidad de factores Realizó entrevistas, visitas, encuestas para mejorar su trabajo Usó TIC	Plantea un método de investigación ya propuesto, mejorado o modificado Realizó visitas/ entrevistas para mejorar su trabajo Usó TIC	Utiliza un método práctico ya existente con mínimas modificaciones Realizó una encuesta para mejorar su trabajo	No plantea un método de investigación, su trabajo consistió en recopilar información
Conclusiones	Concluye con acierto en virtud de los resultados obtenidos en la investigación Realiza un análisis de las causas de error de su trabajo Reconoce exactamente los impedimentos no superados y plantea posibles soluciones a futuro Proyecta posibles rutas a seguir en una nueva etapa	Concluye con acierto y proyecta posibles derivaciones de su trabajo	Concluye acertadamente pero no realiza proyecciones ni análisis de error ni dificultades	Obtiene conclusiones no relacionadas con el proyecto
Bibliografía	Presenta bibliografía en forma correcta con normas APA	Presenta bibliografía en forma correcta con errores de concordancia	Presenta bibliografía aunque no es homogénea	Omite la bibliografía

	<b>Excelente</b>	<b>Satisfactorio</b>	<b>Aceptable</b>	<b>Insuficiente</b>
Presentación oral	Se expresan correctamente Exponen en forma equilibrada Utilizan vocabulario correcto Utilizan lenguaje científico correcto Utilizan un buen tono de voz y velocidad adecuada	Se expresan correctamente, su exposición es equilibrada en tiempos con buen vocabulario pero desaciertan en el lenguaje específico	La exposición no es equilibrada o no utilizan buen volumen de voz. No presentan errores pero no profundizan	Presentación oral pobre, escasa y/ desequilibrada. Un estudiante permanece en silencio
Presentación digital	La presentación es leíble desde todo el salón Las diapositivas muestran fotografías originales El texto es meramente orientativo Incluyen datos del equipo y agradecimientos No presenta faltas de ortografía ni gramática Presenta concordancia con la presentación oral	La presentación es leíble e incluye fotografías originales pero presenta textos demasiado extensos No presenta faltas de ortografía Presenta concordancia con la presentación oral	La presentación no muestra imágenes de producción original La presentación es leíble y acorde al tema que se va desarrollando	La presentación tiene errores de ortografía No muestra imágenes originales No guarda relación con la exposición oral

	<b>Excelente</b>	<b>Satisfactorio</b>	<b>Aceptable</b>	<b>Insuficiente</b>
Póster	Es estéticamente agradable No presenta ningún tipo de error de ortografía o gramática Es equilibrado en cuanto a texto e imagen Es interesante/atrativa la propuesta/redacción Muestra contenido original (texto e imagen)	Es estéticamente agradable y no presenta errores de ortografía o gramática. Muestra contenido original Texto/imagen pero la relación entre texto-imagen no es equilibrada	Es acertado con el tema pero es demasiado teórico, tiene demasiado texto o imágenes La propuesta posee errores gramaticales Incluye conclusiones parciales	Material con errores de ortografía que no demuestra haber sido planificado para el Presenta desequilibrios texto-imagen No incluye conclusiones

En la investigación sobre las percepciones de los estudiantes sobre las estrategias ABP en la Facultad de Humanidades y Educación de Atacama, Chile donde se forman profesores de diversas disciplinas, Paineán, Aliaga y Torres (2012) encontraron que las mayores dificultades son: deficiente desempeño de algunos tutores, falta de compromiso de algunos tutores y alumnos, deficientes instrumentos para evaluar el desempeño de los estudiantes en los equipos, problemas de coordinación interna y externa y mala formulación de los problemas presentados a los equipos, de lo que se desprende una doble necesidad dado el auge de la modalidad en todos los niveles de enseñanza:

(1) Los formadores de profesorado deben contar con un sólido respaldo teórico para orientar estrategias de APB que conduzcan a buenos aprendizajes y

(2) Los estudiantes de profesorado deben llevar a cabo en su formación, experiencias ABP con rol de alumno y también con rol de docente (este último, en práctica docente).

Si bien el ABP tiene debilidades, al parecer, éstas se basan en una mala interpretación de la metodología o en la experimentación sin fundamento de la misma. Es de destacar que entre las corrientes pedagógicas que valoran la importancia del ABP se encuentra la Enseñanza para la Comprensión (EPC), evolucionada del constructivismo. El aprendizaje significativo de Vygotsky está presente en la EPC y es posible alcanzarlo con un ABP bien dirigido. Una lectura imprescindible para la EPC es la compilación de Stone-Wiske (1999).



## 4. Otras estrategias de enseñanza

En el bloque izquierdo del diagrama presentado para el enfoque didáctico se encuentran algunos lineamientos sobre cómo enfocar tal o cual contenido conceptual. Una de las estrategias que es interesante plantear en la primera parte de la evolución de las definiciones ácido-base es enfocar el desarrollo anterior a Arrhenius mediante el análisis de textos y dibujos antiguos originales.

### 4.1 Ejemplo de consigna 1

El siguiente texto fue publicado por el Dr. Nicolás Lémery para explicar la acidez y alcalinidad de las sustancias conocidas en su época (Lemery, 1710).

“... afirmaré que la acidez de cualquier licor consiste en agudas partículas de sales en movimiento; y espero que nadie disputará si un ácido tiene puntas o no al ver la experiencia general que lo demuestra, sólo se necesita que prueben el sabor de un ácido para estar satisfecho, ya que pica la lengua como cualquier cosa aguda y finamente dividida; pero una prueba demostrativa y convincente es que un ácido está formado de partes puntiagudas es, que no sólo todas las sales ácidas cristalizan con filos, sino todas las disoluciones causadas por licores ácidos asumen esta figura en su cristalización...”

Este otro texto en forma de poema fue escrito por Lucrecio, citado en la traducción Lucrecio (1985) diecisiete siglos antes.

“La miel y leche deliciosamente por otra parte el paladar recrean; pero el amargo ajeno y la centaura silvestre punzan con sabor ingrato: de modo que conoces fácilmente que son lisos y esféricos los cuerpos que nos causan sabores agradables; que la amargura y aspereza nacen del conjunto de átomos torcidos que, fuertemente unidos, acostumbran abrirse paso al paladar, rompiendo los órganos del gusto con su entrada”.

1. Busque información sobre la publicación de Lémery y ubíquela en una línea de tiempo junto a una breve reseña de otros científicos, químicos o alquimistas que contribuyeron al desarrollo de las definiciones ácido-base
2. Lémery, además de ese texto propuso un esquema para explicar la neutralización entre un ácido y una base. Interprete el texto y proponga cómo pudo este autor representar un ácido, una base y una sal. Busque información sobre el esquema propuesto y compárela con su dibujo.

3. ¿Qué tienen en común el texto de Lémery con el poema de Lucrecio? Habiendo estudiado evolución del modelo atómico en cursos anteriores y situando a Lucrecio en su respectivo contexto histórico ¿con qué filósofo griego se alinea lo explicitado en el poema?

#### 4.2 Ejemplo de consigna 2

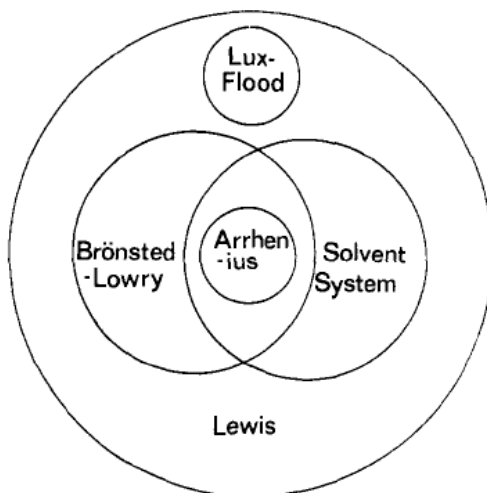


Figura 2.- Jensen (1978).

La figura 2 muestra un diagrama de Venn en donde Jensen, el autor de una importante revisión sobre el desarrollo histórico de las definiciones ácido-base representa en forma gráfica el tema.

- Redacte un texto explicando por qué Jensen construyó el diagrama de esta forma.
- ¿Cómo ubicaría en este mismo diagrama la definición de Usanovich?
- ¿Por qué la definición de Brønsted-Lowry incluye a Arrhenius pero no al revés? Dé un ejemplo.
- ¿Por qué Jensen considera que la definición de Lewis abarca a todas las demás?

## Referencias bibliográficas

- Alvarado, C.; Garritz, A.; Mellado, V. y Ruíz, C. (2009). El conocimiento didáctico de los ácidos y las bases: un énfasis hacia las competencias procedimentales. *Enseñanza de las Ciencias*. 8, p. 712-717.
- Atkins, P; Overton, T; Rourke, J, Weller, M y Armstrong, F. (2010). *Shriver and Atkins' Inorganic Chemistry*, W. H. New York. USA.
- Bascuñán, A. (2008). Antoine Laurent Lavoisier: El revolucionario. *Educación química*, 19(3), p. 226-233. Recuperado de: <https://bit.ly/2ZXIX4S>
- BIE (2015). Planning Forms. Recuperado de: [http://www.bie.org/objects/cat/planning\\_forms](http://www.bie.org/objects/cat/planning_forms)
- Brock, W. (1992). *Historia de la química*. Alianza Editorial. Madrid. España.
- Chamizo, J. (2017). Los modelos históricos de las reacciones ácido-base. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 90, p. 33-60. Recuperado de: [http://www.joseantoniochamizo.com/pdf/educacion/articulos/031\\_Modelos\\_historicos\\_RQ.pdf](http://www.joseantoniochamizo.com/pdf/educacion/articulos/031_Modelos_historicos_RQ.pdf)
- Cortés, M; Blanco, G y Matos, N (2017). Revisión Bibliográfica sobre jabones. *Intra-Med*. 6(1), p. 1-9.
- Domenech-Casal, J; Lope, S y Mora, L. (2019). Qué proyectos STEM diseña y qué dificultades expresa el profesorado de secundaria sobre Aprendizaje Basado en Proyectos. *Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. 16(2), 2203. Recuperado de: <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/4762>.
- Furió, C., Calatayud, M. L., Guisasaola, J. y Furió-Gómez, C. (2005). *How are the Concepts and Theories of Acid-Base Reactions Presented? International Journal of Science Education*, 27(11), p. 1337-1358. doi: 10.1080/09500690500102896
- García Cruz, C. (2015). Nicolas Lémery y su teoría físico-química sobre diversos fenómenos de interés para las ciencias de la tierra. *Cuadernos Dieciochistas*, doi:10.14201/cuadeci201516311337
- Germann, A. (1925). *A general theory of solvent system. Univ. Of Alabama*. 48, p. 2461-2468. doi: 10.1021/ja01687a006
- Grompone, M. (2011). *Conferencias científicas. La flor del Itapebí*. Montevideo. Uruguay.
- Housecroft, C y Sharpe, A. (2005). *Inorganic Chemistry. 2da. Ed. Pearson Education Limited*. Londres. UK.
- Huheey, J; Keiter, E; y Keiter, L. (1997). *Química Inorgánica: principios de estructura y reactividad*. 4.a. edición. Harla. México DF. México.
- Instituto Tecnológico de Monterrey. ITM. (2004). El aprendizaje basado en problemas como técnica didáctica. Recuperado de: <http://sitios.itesm.mx/va/dide/documentos/inf-doc/abp.pdf>

- Jensen, W. (1978). *The Lewis acid-base definitions: a status report*. *Chem. Rev*, 78 (1), 1-22. doi: 10.1021/cr60311a002
- Jimenez-Aponte, F; Molina, M. Carriazo, J (2015). Investigación de las concepciones alternativas sobre ácidos y bases en estudiantes de secundaria. *Scientia et Technica*. Año XX, Vol 20 N°2, p188-194.
- Katz, M. (2016). *Temas de historia de la Química*. Asociación Química Argentina. Disponible en: <https://bit.ly/2FFqP8z>
- Kuhn, T. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. FCE. México DF. México.
- Lemery, N. (1710). *Curso Químico*. Imprellos Diego de Larumbe, Zaragoza, España.
- Lucrecio Caro, T. (1985). *De la naturaleza*. Tr. José Marchena. Porrúa; México DF. México.
- Mc Krause. (2019). *Historia de la Química*. Cambridge Stanford Books. California. USA.
- Mahan, B; Myers, R. (1987). *Química: curso universitario*. 4ta. Ed. Addison Wesley. Buenos Aires. Argentina.
- Montaner, S. (2017). Aprendizaje Basado en Proyectos: una aproximación teórica. *Revista Digital Docente*, 5, 24-27. Recuperado de: <https://www.campuseducacion.com/revista-digital-docente/numeros/5/files/assets/basic-html/page-24.html>
- Ocelli, M. y Valeiras, N. (2013). Los libros de texto de ciencias como objeto de investigación: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(2), p. 133-152.
- Paineán, Ó; Aliaga, V y Torres, T. (2012). *Estudios Pedagógicos* 38(1), p. 161-180.
- Pérez-Aguirre, R (2018). *Revista Fundación Ceibal. Herramientas para pensar y resolver problemas. + Aprendizajes*. 1 (2), 8-10. Plan Ceibal. Montevideo. Uruguay.
- Pintrich, P & de Groot, E. (1990). *Motivational and self-regulated-learning components of classroom academic performance*. *Journal of educational psychology*. 82(1), p. 33-40.
- Perrenoud, P. (2001). La formación de los docentes en el siglo XXI. *Revista de Tecnología Educativa*. 14 (3), p. 503-523. Recuperado de: [https://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/perrenoud/php\\_main/php\\_2001/2001\\_36.html](https://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/perrenoud/php_main/php_2001/2001_36.html)
- Rodger, G. (1995). *Introducción a la Química Inorgánica de coordinación, del estado sólido y descriptiva*. Mc. Graw Hill.
- Thomas, J. (2000). *A review of research on project-based learning*. CA Autodesk Foundation. San Rafael. USA.
- Sanmartí, N. y Márquez, C. (2017). Aprendizaje de las ciencias basado en proyectos: del contexto a la acción. *Ápice*. 1(1), 3-16. doi:<https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2020>
- Stone-Wiske, M. (1999). *La enseñanza para la comprensión*. Colección redes de educación. Editorial Paidós. Buenos Aires. Argentina.
- Valenzuela, C. (1995). *Química General. Introducción a la Química teórica*. EUS. Salamanca. España.