



UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO

FACULTAD DE EDUCACIÓN Y HUMANIDADES

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

CARRERA DE PEDAGOGÍA EN CIENCIAS NATURALES CON MENCIÓN EN BIOLOGÍA
O FÍSICA O QUÍMICA

MEMORIA PARA OPTAR A TÍTULO DE PROFESOR EN CIENCIAS NATURALES CON
MENCIÓN EN QUÍMICA

Propuesta de aprendizaje para favorecer el concepto de basicidad en estudiantes universitarios

**AUTORAS: CAMPOS MUÑOZ, CARLA ANDREA
SANDOVAL ARCE, JEMIMA ESTER**

Profesores guías: Ahumada Gutiérrez, Hernán Raúl
Moreno Osorio, Luis Eduardo

CHILLÁN, 2021

Índice general

1. Introducción	5
2. Marco teórico	7
2.1 Educación híbrida	7
2.2 Métodos de enseñanza y aprendizaje	7
2.2.1 Secuencia didáctica.....	7
2.2.2 Estrategia de enseñanza-aprendizaje.....	8
2.2.3 Marco de una progresión de aprendizaje en química.....	8
2.2.4 Enseñanza cíclica.....	9
2.3 Ácidos-Bases.....	9
2.3.1 Modelos teóricos de Ácidos-Bases	9
a) Modelo de Arrhenius	10
b) Modelo de Brønsted-Lowry.....	10
c) Modelo de Lewis.....	11
2.4 Conceptos teóricos utilizados en química.....	12
Estructura de Lewis	12
Propiedades Macroscópicas.....	13
Resonancia.....	13
Geometría molecular	14
Electronegatividad	15
Polaridad molecular	15
Hibridación de orbitales	16
Nucleófilo y Electrófilo	16
3. Descripción y justificación del problema de estudio.....	17
2.1 Aprendizaje de los estudiantes en modelos de ácido-base	17
3.2 Dificultades de los estudiantes para comprender modelos ácido-base.....	18
3.3 Enseñanza de la química	19
3.4 Enseñanza de ácidos y bases en cursos universitarios	21
4. Pregunta de investigación.....	22
5. Hipótesis.....	22
6. Objetivos.....	23
6.1 Objetivo general	23
6.2 Objetivos específicos	23

7. Metodología.....	23
7.1 Elaboración de propuesta de aprendizaje para la enseñanza de ácidos y bases	23
7.2 Estructura de la propuesta de aprendizaje.....	24
8. Resultados y Discusión	26
8.2 Resultados de ciclo de geometría molecular y propiedades macroscópicas.....	35
8.3 Resultados de ciclo de polaridad	40
8.4 Resultados de ciclo de movimiento de electrones y resonancia	47
8.5 Propuesta de aprendizaje global para la enseñanza de basicidad.....	57
9. Conclusión	59
Bibliografía	61

Índice de tablas

Figura 1. Representación de la enseñanza en clases presenciales (izquierda) y enseñanza en modalidad virtual (derecha). Adaptado desde Mercier <i>et al.</i> (2021). <i>CHIMIA International Journal for Chemistry</i> , 75(1-2), 58-63.....	19
Figura 2. Triángulo de Johnstone (2007)	20
Figura 3. Progresión de aprendizaje para estructura y función. Traducido de Cooper <i>et al.</i> , 2012	25
Figura 4. Propuesta de aprendizaje de modelos teóricos de ácidos y bases.....	26
Figura 5. Ciclo de modelos teóricos para el aprendizaje de ácidos y bases en Química orgánica.	28
Figura 6. Ciclo de modelos teóricos para el aprendizaje de ácidos y bases en Química orgánica.	30
Figura 7. Ciclo de geometría molecular, adaptada por Carla Campos & Jemima Sandoval desde Cooper <i>et al.</i> J. Chem. Educ. 2012, 89, 1351-1357.....	35
Figura 8. Ciclo de geometría molecular, adaptada por Carla Campos & Jemima Sandoval desde Cooper <i>et al.</i> J. Chem. Educ. 2012, 89, 1351-1357.....	37
Figura 9. Ciclo de geometría molecular, adaptada por Carla Campos & Jemima Sandoval desde Cooper <i>et al.</i> J. Chem. Educ. 2012, 89, 1351-1357.....	37
Figura 10. Propuesta de aprendizaje del concepto de electronegatividad	40
Figura 11. Propuesta de aprendizaje para el concepto de polaridad.....	42
Figura 12. Propuesta de aprendizaje para el concepto de polaridad.....	44
Figura 13. Propuesta de aprendizaje para el concepto de polaridad.....	44
Figura 14. Propuesta de aprendizaje para el concepto de resonancia.....	47
Figura 15. Propuesta de aprendizaje para el concepto de movimiento de electrones	49
Figura 16. Propuesta de aprendizaje para el concepto de movimiento de electrones	52
Figura 17. Propuesta de aprendizaje para el concepto de resonancia	56
Figura 18. Propuesta de aprendizaje para el concepto de resonancia	56
Figura 19. Propuesta de aprendizaje global para la enseñanza de basicidad	57
Figura 20. Vista general de las propuestas de aprendizaje.....	58

1. Introducción

Una de las habilidades que deben desarrollar los estudiantes para el aprendizaje de la química es “realizar de manera correcta inferencias sobre diversas propiedades físicas y químicas de una amplia variedad de moléculas, las cuales deben integrar el análisis de la composición de la molécula, características estructurales y la aplicación de modelos” (McClary, & Talanquer, 2011).

Para el aprendizaje tridimensional en química, generalmente se requiere que los y las estudiantes construyan explicaciones que relacionen el comportamiento atómico/molecular con eventos que sean observables. Hacer esta relación es una tarea desafiante, debido a las inferencias que deben realizar entre las partículas invisibles con el mundo macroscópico. Alex Johnstone describe estas inferencias como una relación entre dos niveles de pensamiento: submicronivel, que involucra el comportamiento de átomos y moléculas y el macronivel que involucra fenómenos observables (Stowe *et al.*, 2019).

La transición de la química general a la química orgánica es un claro desafío para muchos estudiantes universitarios. Para obtener buenos resultados, se deben recordar sus habilidades de química general y transferir ese conocimiento a química orgánica. No obstante, esta transición posee obstáculos, tales como, 1) falta de conocimientos previos y 2) falta de comprensión de cómo el conocimiento fundamental de química general es aplicable a química orgánica (Pulukuri, Torres, & Abrams, 2021). Según Houchlei, Bloch, & Cooper, (2021) “la química orgánica a menudo se considera un curso difícil, ya que, los estudiantes deben acudir a habilidades de razonamiento y pensamiento crítico para su comprensión”.

Las reacciones ácido-base son un componente fundamental de la química, si los alumnos comprenden el tópico ácido-base en todas sus formas, podrán conectar e integrar fenómenos, como la transferencia de protones, complejos de coordinación de metales de transición y las reacciones orgánicas que involucran ataques nucleofílicos y electrofílicos. Sin embargo, el estudiantado enfrenta diversos problemas a medida que aprenden conceptos ácido-base, estos van desde conceptos alternativos, hasta las

dificultades para comprender como usar y moverse con flexibilidad entre los modelos teóricos de ácido-base (Cooper, Kouyoumdjian & Underwood, 2016).

Los contenidos en química en los distintos niveles educativos habitualmente se establecen con base en el conocimiento y la experiencia de los expertos en la disciplina, estos realizan propuestas que responden a la lógica de la materia a enseñar (Talanquer, 2013). No obstante, esta forma de organizar la enseñanza ha sido criticada por la falta de comprensión sobre como aprenden los estudiantes (Corcoran, Mosher & Rogat, 2009). Una progresión de aprendizaje conducirá a un mejor dominio de las ideas centrales en la disciplina de la química, por parte del alumnado, ya que esta propuesta educativa puede favorecer un aprendizaje más coherente y significativo (Cooper et al., 2012; Talanquer, 2013). Sin embargo, investigaciones anteriores han indicado que muchos estudiantes se encuentran en niveles bajos en la progresión del aprendizaje y no poseen una comprensión adecuada requerida para los cursos de química en la educación superior (Taber, 2003).

La presente investigación plantea una propuesta de aprendizaje que combina una forma de enseñanza cíclica y el marco de la progresión de aprendizaje aplicado al tópico ácido-base, que tiene por objetivo principal potenciar el aprendizaje de basicidad, mediante el reforzamiento continuo de los conceptos del tópico ácido-base en estudiantes universitarios que cursan la asignatura de química orgánica en un contexto híbrido de educación. Este tipo de educación es utilizado actualmente en la educación superior debido a la pandemia por Covid-19, donde la mayoría de los profesores y académicos han tenido que transformar su manera de enseñanza tradicional (Guaman, Villarreal y Cedeño, 2020).

2. Marco teórico

2.1 Educación híbrida

En el ámbito de la educación, un aula se define como “una sala destinada para la enseñanza”, por lo general esta enseñanza era entregada de manera presencial, aunque en los últimos años (2020-2021) se vio interrumpida por causa de la pandemia por Covid-19, por lo que, tanto profesores y estudiantes, tuvieron que encontrar una nueva alternativa para la educación (Prince Torres, 2021).

La educación híbrida es el producto entre métodos de enseñanza y una gestión presencial-virtual, siendo un modelo propio pedagógico, el cual presenta componentes tanto presenciales como virtuales, siendo un contexto más idóneo respecto al contexto actual, alcanzando una mayor cobertura y calidad (Prince Torres, 2021).

2.2 Métodos de enseñanza y aprendizaje

2.2.1 Secuencia didáctica

La secuencia didáctica es un conjunto de actividades de aprendizajes y evaluaciones, que por medio del docente busca cumplir metas educativas, mediante una serie de recursos, con el propósito que durante la aplicación existan mejoras en el proceso de formación de los estudiantes (Tobón, Prieto y Fraile, 2010).

En parte, las secuencias didácticas permiten tomar conciencia en la importancia que tienen los procesos de enseñanza-aprendizaje; ya que, considera todas las etapas que involucra el desarrollo de una clase para el alumnado. Una secuencia didáctica es mucho más que prever lo que puede suceder en el desarrollo de una clase, pues esta también es una herramienta que permite al profesorado ser más estratégicos, en la toma de decisiones para favorecer el aprendizaje de los estudiantes (Badell *et al.*, 2004).

Cabe destacar que las secuencias didácticas se realizan por fases, las cuales cada una por sí misma tienen una gran importancia, no obstante, cada una de ellas están relacionadas con la otra, estas fases son: fase inicial, fase de desarrollo y fase de cierre (Badell *et al.*, 2004).

2.2.2 Estrategia de enseñanza-aprendizaje

Las estrategias de enseñanza son métodos que el profesorado utiliza de manera reflexiva para fomentar logros de aprendizajes significativos (Rosas y Jiménez, 2009). Las estrategias de enseñanza además son recursos o medios, el cual presta ayuda psicológica (Díaz-Barriga & Hernández, 2002), pues estas están estrechamente relacionadas con el aprendizaje, la enseñanza y el currículo, resaltando el momento en que el docente realiza la clase (Rosas y Jiménez, 2009). En síntesis, una estrategia de enseñanza es un método que debe seguir el profesor mediante una serie de secuencias de actividades educativas, las cuales generan actitudes, adquieren conocimientos y también pueden desarrollar habilidades en el estudiantado. (Villalobos, 2003).

2.2.3 Marco de una progresión de aprendizaje en química

Los contenidos en el currículo de química en los diferentes niveles educativos normalmente están establecidos en base al conocimiento y la experiencia de los expertos en la disciplina, quienes ofrecen propuestas que responden a la lógica de cómo enseñar los contenidos. Por ejemplo, se decide enseñar teoría atómica, sin antes discutir los conceptos de enlace químico o estructura molecular, ya que consideran que los conocimientos sobre un tema necesariamente deben entenderse para comprender el siguiente tema en el currículo (Talanquer, 2013). Esta forma de estructurar la enseñanza ha sido bastante criticada en los últimos años, ya que consideran que no presta atención a los resultados de la investigación educativa sobre cómo los estudiantes aprenden (Corcoran, Mosher y Rogat, 2009).

Duschl *et al.* (2007) definen el concepto de progresión de aprendizaje como “una secuencia más sofisticada de pensar y tratar un cierto contenido, esto sucede cuando los estudiantes aprenden de un contenido en un periodo largo de tiempo. Las progresiones de aprendizaje se realizan bajo una visión constructivista del conocimiento, en donde la comprensión sobre un tema se irá construyendo de manera incremental (Phillips, 1995).

Stevens *et al.*, (2010) en sus estudios describen la progresión del aprendizaje como la forma en la que los estudiantes pueden avanzar hacia una comprensión más sofisticada de las grandes ideas de la ciencia. El paso hacia la experiencia en ciencias y química

requiere una construcción de ideas más complejas sobre la base de la comprensión de conocimientos implícitos que se conectan con otros temas relacionados (Wang y Barrow, 2013).

2.2.4 Enseñanza cíclica

Este tipo de enseñanza consiste en la organización de contenidos, el cual tiene una duración relativamente corta, que por lo general es el primer curso de un nivel educativo o el primer trimestre de un curso. Esta enseñanza se realiza bajo una visión lo más completa posible en cuanto a contenidos de una materia o asignatura, entregando al estudiante una visión global acerca de las principales ideas o conceptos que corresponde al contenido que se estudiará, pues a lo largo del curso el docente va haciendo una profundización del conjunto de contenidos (López, 1981).

2.3 Ácidos-Bases

A lo largo de la historia, los químicos han buscado correlacionar tanto las propiedades de los ácidos y bases con su composición y su estructura molecular. Pues desde un inicio con la química experimental, los científicos han reconocido tanto a los ácidos como a las bases a partir de sus propiedades características. Por ejemplo, los ácidos poseen sabor agrio (ej. el ácido cítrico del jugo de limón) y una de sus cualidades es que hace que ciertos tintes cambien de color (por ejemplo, el indicador de pH tornasol, se vuelve rojo en contacto con los ácidos). Por otra parte, las bases, poseen un sabor amargo y estas son resbalosas al tacto (Ej. Un jabón). Cabe destacar que, cuando agregan base a un ácido, produce un cambio en el ácido, ya que esta se reduce o baja su cantidad. Por lo que cuando se mezclan tanto los ácidos y las bases en unas ciertas proporciones, las propiedades características de estas desaparecen casi por completo.

2.3.1 Modelos teóricos de Ácidos-Bases

El concepto de ácidos y bases es fundamental en los planes de estudios de química en la enseñanza escolar. Sin embargo, a lo largo de la historia de la química, los ácidos y las bases han sido explicados de muchas maneras, provocando una introducción de nuevos modelos con el propósito de dar una mejor descripción a los fenómenos naturales, pues las definiciones para los conceptos de ácidos y bases han ido

evolucionando desde un nivel fenomenológico a un nivel abstracto. En los planes de estudio para la enseñanza secundaria, se pueden reconocer tres distintos modelos, siendo estos modelos: (a) el modelo de Arrhenius, (b) el modelo de Brønsted-Lowry (Drechsler, M. & Van Driel, J., 2008) y (c) modelo de Lewis (Domínguez Reboiras, M. Á., 2006).

a) Modelo de Arrhenius

Los ácidos en este modelo son explicados tanto en un nivel fenomenológico como a nivel de partículas. Para el modelo de Arrhenius, las propiedades de los ácidos estaban conectadas con el ión hidronio (H_3O^+); cuando mayor sea la concentración de iones H_3O^+ , mayor acidez tendrá la solución. Los ácidos son definidos como sustancias que pueden producir iones H_3O^+ en una solución acuosa, por otra parte, las bases son definidas de una manera más análoga, en si como sustancias que en una solución acuosa producen iones hidróxido (OH^-) (Drechsler, M. & Van Driel, J., 2008). Pues, en una reacción entre un ácido y una base (neutralización), los iones hidronios (H_3O^+) del ácido reaccionan con los iones hidróxido (OH^-) de la base, formando agua (Arrhenius 1903):



O de manera más simplificada, (cuando ya se han producido iones de hidrógeno e hidróxido)



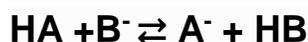
b) Modelo de Brønsted-Lowry

Este modelo explica las propiedades de los ácidos a través de un nivel abstracto, o nivel de partículas, se explican estas propiedades como la transferencia de protones entre partículas, es decir, moléculas o iones. El modelo de Brønsted-Lowry define a los ácidos y las bases como partículas, como moléculas o iones, además, no se limita al agua como un disolvente. Cabe señalar que, en este modelo, los ácidos son definidos como partículas

que donan protones, mientras que las bases se definen como partículas que aceptan protones. Es por ello, que el modelo de Brønsted-Lowry es utilizado para explicar de mejor manera las bases y también es de aplicación más general en comparación al modelo de Arrhenius. Así pues, cuando un ácido dona un protón, la partícula resultante sin el protón se convierte en una base. Por lo que se dice que tanto un ácido y una base están conectados de una manera que se conjugan o se denominan par ácido-base. Por ejemplo, cuando el ácido HA dona un protón, esta forma la base A⁻, y cuando la base B⁻ acepta un protón, esta forma el ácido HB. Este modelo facilita la interpretación de la acidez mediante a una solución resultante de una reacción ácido-base (Drechsler, M. & Van Driel, J., 2008). Según Brønsted-Lowry, una transferencia de protones se puede escribir en términos generales de la siguiente manera:

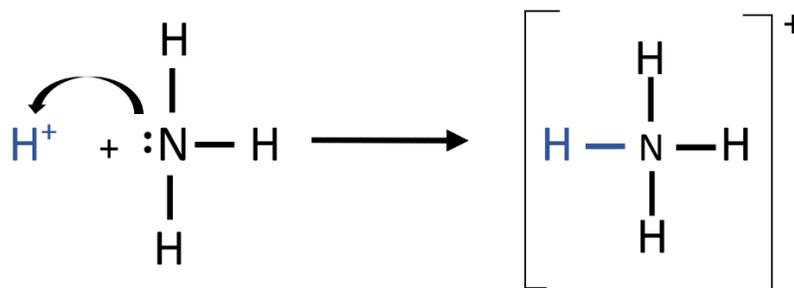


o como una ecuación iónica



c) Modelo de Lewis

En el mismo año en que Brønsted-Lowry definieron a los ácidos y las bases como “donantes y aceptores de protones”, un químico norteamericano G. N. Lewis, formuló una definición más general para describir su modelo teórico en ácidos-bases, este señala que “Cuando una base acepta un protón comparte con este un par de electrones no enlazados formando un nuevo enlace covalente” (Domínguez Reboiras, M. Á., 2006). Un ejemplo de aquello es la reacción del amoníaco con un protón, pues el amoníaco es una base de Lewis, ya que se comporta como un donador de par de electrones, por otro lado, el protón al ser un receptor del par de electrones posee un comportamiento de ácido. En resumen, la definición de ácido y base de Lewis queda establecida como: Un ácido de Lewis es aquel que capta (receptor) el par de electrones, en cambio, una base de Lewis es el que dona el par de electrones (Domínguez Reboiras, M. Á., 2006).



2.4 Conceptos teóricos utilizados en química

A continuación, se presentan y definen conceptos estrechamente relacionados con el tópico ácido-base, que son enseñados por los académicos a través de los libros de textos de química orgánica.

Estructura de Lewis

La estructura de Lewis es una representación más convencional para distribuir los electrones alrededor de los átomos de una molécula, siendo una herramienta simple y eficaz para el estudio de la molécula (Gispert, 2019). Las estructuras de Lewis son de suma importancia para comprender las moléculas en química, ya que posee un vínculo esencial entre la estructura del compuesto químico y su función (Cooper *et al.*, 2009).

Para comprender mejor la representación de las estructuras de Lewis de una molécula, es necesario recalcar otros conceptos, tales como, la regla del octeto y cargas formales. La regla del octeto o la “regla del ocho” resulta favorable al momento de tener que imaginar la estructura más apropiada de una molécula que tiene elementos del segundo periodo de la tabla periódica, sin embargo, el átomo de hidrogeno también tiene asociados electrones de valencia alrededor de su átomo, aunque este posee solo dos electrones a comparación de los elementos del segundo periodo (Álvarez y Yunta, 2005).

Por otra parte, el concepto de carga formal sabemos que está asociada a la conformación de la estructura de Lewis, ya que a través de esta se pueden describir las propiedades químicas y físicas de las moléculas. Pues, las cargas formales de un átomo en una molécula se obtienen mediante una serie de reglas simples (Gispert, 2019).

1. Se consideran los pares de electrones no enlazantes asociados a un átomo en particular, el cual está bajo influencia únicamente de su núcleo.

2. Se consideran los electrones de un par enlazante, los que están compartidos entre dos átomos enlazados, en donde se asigna uno de cada uno de ellos.
3. La carga formal se calcula por intermedio del número de electrones de valencia inicial del átomo libre más el número de electrones de electrones de valencia asociados al mismo mediante las dos reglas anteriores.

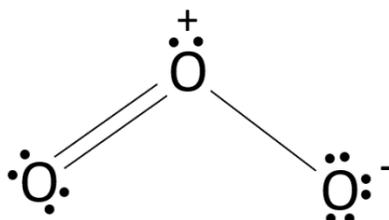
Propiedades Macroscópicas

Estas propiedades en primer lugar se deben saber que son medidas directamente, es decir, que existen instrumentos para determinar estas propiedades, algunas de estas son: presión, temperatura, punto de fusión o ebullición, entre otras (Chang & Goldsby, 2013).

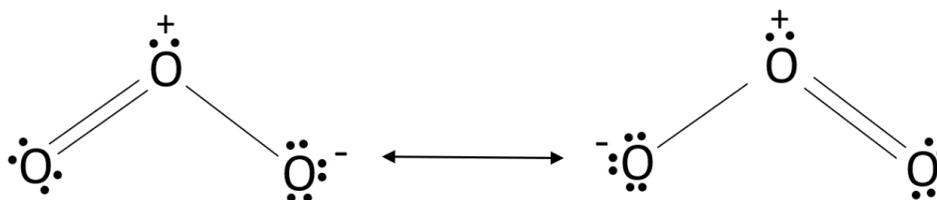
Cabe destacar que el nivel macroscópico se desarrolla mediante procesos o sustancias que son directamente perceptible a los sentidos, es decir, que nadie pone en duda a lo que está sucediendo, así como también incluye todo aquello que se puede medir. En las propiedades macroscópicas, debemos diferenciar entre propiedades macroscópicas extensivas y propiedades macroscópicas intensivas. Las propiedades macroscópicas extensivas, son aquellas que dependen de la cantidad de sustancia con la que se está trabajando, por el contrario, las propiedades macroscópicas intensivas no dependen de la cantidad de sustancia (Franco-Mariscal, 2020).

Resonancia

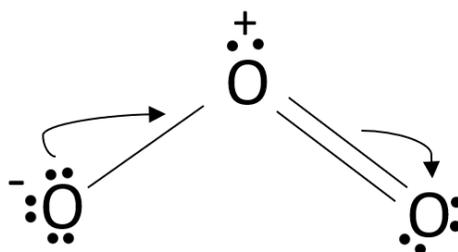
De acuerdo con este concepto, la definición de resonancia proviene de cuando una molécula posee dos o más estructura de Lewis, esto ocurre cuando la molécula tiene doble o triple enlaces como, por ejemplo, el ozono (O_3), pues al escribirlo con su estructura de Lewis, tenemos esta molécula (Carey & Giuliano, 2014).



No obstante, el contribuyente de la estructura real no es la más adecuada, según su forma experimental, ya que esta estructura no puede describir bien su distribución electrónica. En estos casos, la resonancia procura corregir los defectos que puede proporcionar las fórmulas de Lewis, ya que estas señalan como si los electrones estuvieran localizados, y es a través de esto que la resonancia distribuye a los electrones en una manera más estable (Carey & Giuliano, 2014).



Cabe destacar que la estructura de Lewis que aporta a un híbrido de resonancia resulta ser más fácil de escribirlo usando flechas curvas, con el propósito de prever los electrones deslocalizados (Carey & Giuliano, 2014).



Geometría molecular

La geometría molecular está referida a la disposición de los átomos en tres dimensiones en una molécula. Esta puede afectar en sus propiedades físicas y químicas, ya sea, en su punto de ebullición o fusión, en la densidad o en las reacciones que las moléculas puedan participar. Para determinar la distancia y los ángulos de los enlaces, estos deben ser resueltos de manera experimental; no obstante, hay procedimientos para reconocer la geometría de las moléculas o iones, y se realizan a través del número de electrones que rodea al átomo central, según la estructura de Lewis de la molécula o iones (Chang & Goldsby, 2013).

Cabe señalar que, en un enlace covalente, el par de electrones comúnmente llamado par enlazante, es el encargado de mantener dos átomos juntos. Por otro lado, cuando

se trata de una molécula poliatómica, en las cuales hay dos o más enlaces en el átomo central, y los átomos que rodean a este, hacen que los electrones se repelen de los diferentes pares enlazantes, haciendo que estos se mantengan lo más alejado posible. Finalmente, la geometría que adopta la molécula es aquella que su repulsión sea mínima (Chang & Goldsby, 2013).

Electronegatividad

La electronegatividad está relacionada con la capacidad que posee un elemento en atraer electrones, además es un parámetro de suma importancia al momento que se forma una unión química. En efecto, la electronegatividad también esta relaciona con la energía de ionización y la afinidad electrónica que tiene un átomo, pues un átomo con alta energía de ionización y alta afinidad electrónica, como por ejemplo el flúor, posee una gran capacidad de atraer electrones, siendo el elemento de la tabla periódica con un mayor valor de electronegatividad (Lacreu, 2012).

Es preciso señalar que, la diferencia de electronegatividad mide la tendencia de polarización de los electrones que son compartidos con otros elementos, además la electronegatividad aumenta de izquierda a derecha en cada periodo de la tabla periódica y de abajo hacia arriba en cada grupo. Sin embargo, cuando dos elementos que poseen electronegatividades distintas y también forman enlace covalente, este queda polarizado, pues el elemento que tiene la electronegatividad más alta adquiere una carga parcial electronegativa, aunque, por otro lado, el elemento menos negativo queda con una carga parcial positiva (Weininger & Stermitz, 1988). Esto significa que la nube de electrones se distribuye en torno al átomo más electronegativo, traduciéndose en una variación de carga.

Polaridad molecular

La polaridad de una molécula surge de la distribución de cargas entre los átomos que la componen, además depende de dos variables: la geometría molecular y la polaridad de los enlaces (Talanquer, 2010; Furió Más & Furió 2018). Cuando las moléculas son polares tienden a orientarse respecto a los campos eléctricos, incluyendo así, a otras moléculas polares (Allinger, 1983).

La existencia de moléculas que tienen enlaces polares no asegura que estas sean necesariamente moléculas polares, ya que, esto depende también de la geometría molecular de dicha molécula, por tanto, la polaridad de una molécula depende tanto de los enlaces polares que esta posee, como también de la geometría molecular (Lacreu, 2012).

Hibridación de orbitales

La hibridación de orbitales es un suceso de gran importancia en la química, ya que, a través de esta se puede comprender la estructura de las moléculas, las cuales poseen geometrías diferentes, en la formación de un enlace, pues esta no conserva la distribución espacial que poseen los orbitales atómicos, lo que produce una redistribución energética, resultando una serie de orbitales híbridos, en donde son todos iguales en el ámbito energético y de forma. Sin embargo, la hibridación se da siempre y cuando, entre los orbitales no difiera mucho su contenido energético (Santana, 2004).

Nucleófilo y Electrónimo

Para la química orgánica, el nucleófilo y electrónimo puede considerarse como aceptores y dadores de pares de electrones, desde o hacia otros átomos, por lo general, átomos de carbonos. Es necesario resaltar que los nucleófilos y electrónimos poseen una relación con agentes oxidantes y reductores, ya que los agentes oxidantes son aceptores de electrones y los agentes reductores son dadores (ceden) de electrones (Sykes, 1985). Algunos de los electrónimos y nucleófilos más comunes son:

- ❖ Electrónimos: H_3O^+ ; H^+ ; NO_2^+ ; Br_2 ; O_3
- ❖ Nucleófilos: $[\text{HSO}_3^-]$; BH_4^- ; OH^- ; O^- ; N^- ; S^-

Los electrónimos en pocas palabras es un capturador de electrones, ya que poseen una zona con notable deficiencia de electrones. Por otra parte, un nucleófilo es quien posee pares de electrones en zonas con bastante densidad electrónica, la cual es competente a reaccionar con mucha facilidad con sustratos que son carentes de electrones, cediéndole así su densidad electrónica (Lafuente, Azcárate y Benito, 1997).

3. Descripción y justificación del problema de estudio

2.1 Aprendizaje de los estudiantes en modelos de ácido-base

No es sorpresa decir que la química es una asignatura muy exigente para los estudiantes. El tópico de ácidos y bases es fundamental en el currículo o en planes de estudios en química. Esta área se destaca en la vida cotidiana en contextos, tales como, en la alimentación, la industria, los problemas ambientales, las drogas, entre otros. En un nivel fenomenológico, las reacciones ácido-base pueden describirse usando ecuaciones mediante fórmulas, como reacciones entre sustancias; por otra parte, a nivel de partículas abstractas se usan ecuaciones iónicas como reacciones de transferencia de protones, según el modelo de Brønsted-Lowry (Drechsler, M. & Van Driel, J., 2008).

Investigaciones respecto al aprendizaje del tópico ácido-base, han demostrado que estos contenidos son difíciles de comprender por parte de los estudiantes (Demerouti *et al.* 2004). Carr, (1984) señala que los libros de textos de química no son claros al momento de describir esta área. Tradicionalmente cuando se enseña un concepto científico, a los estudiantes se les explica primero utilizando un modelo simple, por lo general el más antiguo, para que continuamente se adentren con modelos más sofisticados o nuevos. Justi y Gilbert (2002) muestran que el alumnado suele confundirse cuando se les introduce un modelo nuevo, más cuando se fusionan con cualidades de otros modelos, por lo que es importante, presentar y explicar de forma clara cuando se introducen nuevos modelos para el aprendizaje de ácido y base.

Según Boulter y Gilbert (2000), es primordial que los estudiantes aprendan sobre los modelos teóricos que se utilizan y también sus aplicaciones, reconociendo así las limitaciones que estos pueden tener en la ciencia; pues esto les permite concebir una mejor comprensión de los modelos, tanto de los hechos como de la naturaleza de la ciencia, observando que un fenómeno puede ser explicado de diferentes formas o bien se pueden utilizar varios modelos para un mismo objetivo (Drechsler, M. & Van Driel, J., 2008).

3.2 Dificultades de los estudiantes para comprender modelos ácido-base

A lo largo de la historia de la química, los ácidos y las bases han sido explicados de muchas maneras, desde la introducción de modelos químicos teóricos con el propósito de dar una mejor descripción a los fenómenos naturales hasta definiciones de como los conceptos de ácidos y bases han ido evolucionando desde un nivel fenomenológico a un nivel abstracto.

Drechsler & Van Driel (2008) han demostrado que los estudiantes poseen dificultades para comprender el modelo de Brønsted-Lowry. Según Ross y Munby (1991) y Nakhleh (1994) los estudiantes de enseñanza secundaria y superior no comprenden completamente la química ácido-base, ya que se les dificulta entender los ácidos y las bases como iones. Por otra parte, Rayner-Canham (1994) y Demerouti *et al.* (2004) muestran que, en los estudiantes, se espera que comprendan mejor el modelo de Brønsted-Lowry, aunque estos están más familiarizados con el modelo de Arrhenius, pues el modelo de Brønsted-Lowry no lo utilizan para explicar las propiedades de los ácidos y las bases. Otros investigadores como, Schmidt y Volke (2003) encuentran que los estudiantes tienen problemas en aceptar el agua como base.

Estas dificultades pueden generarse debido a que los expertos no dan a informar claramente a los alumnos sobre los beneficios que les puede generar el hecho de introducir el modelo de Brønsted-Lowry, sobre todo la enseñanza del concepto de conjugar ácidos y bases (Drechsler, M. & Van Driel, J., 2008). Drechsler y Schmidt (2005b) exponen que los estudiantes confunden los atributos que poseen los diferentes modelos, pues cuando se les pide que expliquen reacciones a través de estos, los estudiantes no entienden las diferencias entre el modelo de Arrhenius y el modelo Brønsted-Lowry. Según Carr (1984) sugiere que las dificultades que poseen los estudiantes para entender los conceptos de ácidos y las bases se deben a la confusión que estos tienen acerca de modelos que son utilizados tanto, en la enseñanza media como universitaria, además señala que los libros de texto utilizados en la universidad confunden aún más los modelos ácido-base tanto de Arrhenius como Brønsted-Lowry, en el cual no se discute que en realidad son diferentes.

3.3 Enseñanza de la química

Según Mercier *et al.* (2021), el acto de enseñar se puede representar con un triángulo donde cada ángulo representa a los diferentes participantes que están involucrados en la actividad pedagógica: el profesor, el estudiante y el conocimiento. Cada borde del triángulo conecta a los tres participantes que se mencionaron anteriormente con cada proceso (Fig. 1). El docente se conecta al alumno a través de la interacción y con el conocimiento mediante el proceso enseñanza, y finalmente, el conocimiento y el alumno se unen a través del aprendizaje. En la educación, estos tres procesos ocurren de manera simultánea, siguiendo una trayectoria a través de una secuencia pedagógica que mueve cada punto del triángulo en función de la situación educativa.

Dado el contexto ocasionado por la pandemia se han tenido que implementar técnicas digitales para el proceso de enseñanza-aprendizaje lo cual modifica considerablemente el triángulo, puesto que ahora está presente un nuevo factor que reorganiza el triángulo pedagógico en un tetraedro pedagógico, así el número de aristas se incrementa de tres a seis, lo que implica nuevas conexiones e interacciones entre las técnicas digitales y los participantes (Fig. 1) (Mercier *et al.* 2021).

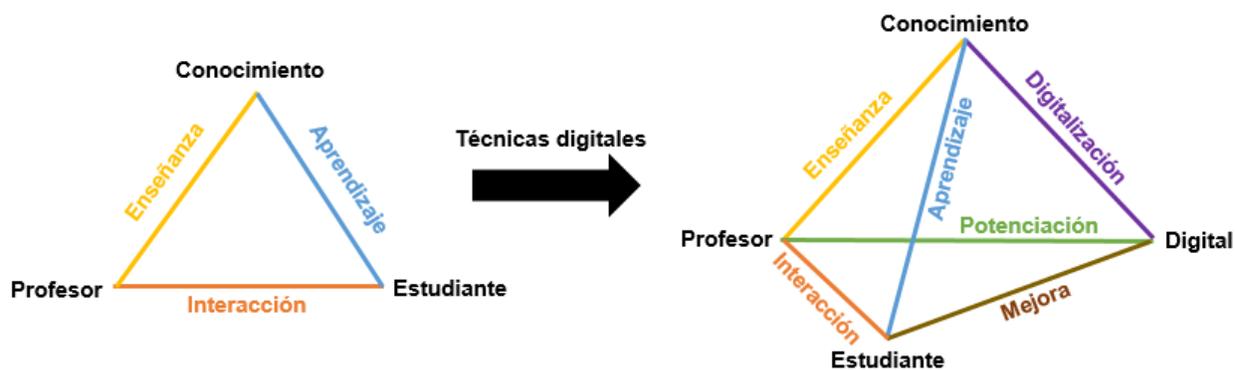


Figura 1. Representación de la enseñanza en clases presenciales (izquierda) y enseñanza en modalidad virtual (derecha). Adaptado desde Mercier *et al.* (2021). *CHIMIA International Journal for Chemistry*, 75(1-2), 58-63.

El conocimiento y las técnicas digitales se conectan a través de la digitalización; el alumno y las técnicas digitales se unen a través de la mejora y finalmente el profesor y las técnicas digitales se conectan vía potenciación. A partir de esta representación, la secuencia pedagógica incluye nuevas dimensiones, las cuales ofrecen nuevas oportunidades, pero también factores de distracción y problemas técnicos. La adición del componente digital durante las lecciones modifica fuertemente la interacción entre estudiantes y profesores, proporcionando más libertad e independencia al alumno, pero también un mayor requisito de responsabilidad en su propio aprendizaje (Mercier *et al.*, 2021).

Asimismo, Johnstone formula en 1982 un triángulo como un claro instrumento en la enseñanza de la química, que muestra la gran complejidad del pensamiento químico. En él, Johnstone (1993) propone tres componentes básicos: la macroquímica de lo tangible; la química microscópica de lo molecular y atómico; y la química representacional de los símbolos, ecuaciones y estequiometría. De acuerdo con Talanquer (2011) el principal argumento educativo que utiliza Johnstone, fue que los químicos expertos componen la realidad acorde con una combinación dinámica de elementos macro, submicro y simbólicos, mientras que los principiantes operan solo en niveles macro.

El aprendizaje de la química implica discutir los fenómenos a nivel de lo que se puede ver y manejar, usando formas novedosas de representación que forman parte del lenguaje especialista de la asignatura, esto se logra a través del uso de modelos explicativos que involucra supuestos en una escala muy pequeña para ser visible, donde se incluyen los electrones, iones y moléculas (Taber, 2017, p. 326).

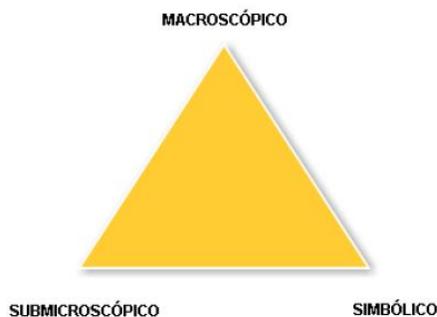


Figura 2. Triángulo de Johnstone (2007)

Actualmente la educación, ha sido afectada gravemente por la pandemia, producto de COVID-19, donde los docentes enfrentan grandes retos para modificar las herramientas de enseñanza dado que no se están realizando clases presenciales, por lo que, la tecnología y las plataformas educativas han sido un factor clave en el desafío de velar y favorecer al aprendizaje de todos los estudiantes (Isla y Medina, 2020).

La educación en ciencias se ha visto especialmente desafiada por la pandemia, ya que en la modalidad virtual, a distancia, no se pueden aplicar las mismas estrategias didácticas en comparación a las estrategias que se pueden aplicar de forma presencial, por lo tanto, esto ha afectado el desarrollo de habilidades científicas y procedimientos propios de la ciencia que en muchas ocasiones requieren de la observación directa, de salidas a terreno, pero sobre todo del trabajo en colaboración, el cual se ha visto mermado por las condiciones contextuales (Isla y Medina, 2020).

Enseñar química en tiempos de pandemia significa comprender el presente y el entorno que nos rodea, desarrollar competencias que nos permitan acercarnos al uso apropiado y eficiente de la tecnología, tanto para permitir la educación a distancia, como para poder informarnos de forma asertiva de lo que ocurre en el mundo, en el país y la sociedad. También permite generar medidas sanitarias efectivas en los estudiantes, con un respaldo científico claro de su utilidad. Vincular los conocimientos, habilidades y actitudes con la práctica actual, a través de ejemplos cotidianos y concretos que nos afectan como sociedad y generar una opinión crítica en los estudiantes ante la actual crisis sanitaria (Hernández, 2021).

3.4 Enseñanza de ácidos y bases en cursos universitarios

La enseñanza de las reacciones ácido-base son un componente fundamental de la química, ya que, si los estudiantes comprenden estas reacciones podrían conectar e integrar fenómenos aparentemente diversos como la transferencia de protones, los complejos de coordinación de metales de transición y las reacciones orgánicas que involucran ataques nucleofílicos y electrofílicos.

Académicos expertos de cursos universitarios de química orgánica, indican que, siguiendo una perspectiva pedagógica, el concepto de basicidad no posee una secuenciación lógica con respecto a los conceptos relacionados que deben integrarse

para enseñar basicidad, además en ella debe existir un hilo conductor coherente, como al igual estrategias para poder introducir este concepto en algún curso de química (Franco, J., Melo, P., 2020).

Como lo reportan Franco, J. y Melo, P. (2020), algunos profesores expertos poseen una tendencia a determinar el concepto de basicidad mediante la acidez y sus respectivas constantes, pues aquello se podría definir como una subordinación de la basicidad a la acidez, esto podría ser causado por diferentes motivos, tales como, la organización de los contenidos en libros tradicionales de química general o química orgánica, ya que, estos textos enseñan a determinar la fuerza de una base mediante una relación par ácido-base, donde resalta la oración “Mientras más ácido, menos básico y así viceversa”. Asimismo, cuando explican los factores que afectan la fuerza de un ácido, por lo general hacen énfasis a la electronegatividad y resonancia, quitando otros factores o efectos menos relevantes.

4. Pregunta de investigación

De acuerdo con el contexto que actualmente vive la sociedad a nivel mundial, la educación ha tenido que reinventarse a través de las distintas plataformas virtuales para continuar con el proceso de enseñanza-aprendizaje, en base a esta situación surge la siguiente pregunta de investigación:

En un contexto híbrido de educación ¿Sería recomendable una propuesta de aprendizaje cíclica para favorecer el aprendizaje de basicidad en estudiantes universitarios?

5. Hipótesis

La evidencia bibliográfica de la enseñanza de la química permitirá desarrollar una propuesta de aprendizaje cíclica basada en los conceptos de ácido-base para favorecer el aprendizaje de basicidad en estudiantes universitarios que cursan la asignatura de química orgánica.

6. Objetivos

6.1 Objetivo general

El objetivo principal de esta investigación es elaborar una propuesta de aprendizaje cíclica para potenciar el aprendizaje de basicidad, mediante el reforzamiento continuo de los conceptos de ácido-base en estudiantes universitarios que cursan la asignatura de química orgánica en un contexto híbrido de educación.

6.2 Objetivos específicos

- Explorar los modelos actuales utilizados en la enseñanza de ácido-base.
- Identificar modelos que favorezcan la enseñanza de basicidad en estudiantes universitarios.
- Desarrollar una propuesta global de aprendizajes cíclicos, orientada en conceptos utilizados en química, para favorecer la enseñanza de la basicidad en cursos de química orgánica

7. Metodología

7.1 Elaboración de propuesta de aprendizaje para la enseñanza de ácidos y bases

Para la elaboración de la propuesta de aprendizaje, que tiene por objetivo potenciar el aprendizaje del concepto de basicidad, mediante el reforzamiento continuo de los conceptos de ácido-base en estudiantes universitarios que cursan la asignatura de química orgánica, es necesario realizar una búsqueda bibliográfica de:

- ✓ Como los académicos expertos enseñan los distintos modelos de ácido-base
- ✓ Como comprenden los estudiantes los distintos modelos de ácido-base, identificando las principales dificultades que poseen a nivel macroscópico y microscópico.
- ✓ Evidencia del favorecimiento del aprendizaje de los estudiantes en química mediante secuencias didácticas aplicadas por expertos.

Según Díaz-Barriga (2013) la confección de una secuencia didáctica es una tarea de suma importancia que tiene por objetivo organizar el contenido de una asignatura mediante actividades secuenciadas que se aplican a los estudiantes para fomentar su aprendizaje. El alumno aprende por lo que realiza, por lo que dibuja, por la relevancia de la actividad que se lleva a cabo, por la posibilidad de integrar nueva información a concepciones previas que poseen, y por la capacidad que logran al justificar y argumentar ante otros la reconstrucción de la información.

De acuerdo con Gutiérrez *et al.* (2014) es relevante desarrollar e implementar programas y guías de actividades, que les permita a los estudiantes comprender con mayor facilidad los conceptos de ácido-base para que ellos puedan obtener un aprendizaje significativo. Asimismo, es importante que las actividades secuenciadas estén estructuradas a partir de investigaciones previas, para que este tipo de propuestas presenten una finalidad y sean significativas a nivel educativo.

En la docencia, la enseñanza virtual se comporta como una extensión del aula presencial, sustentada principalmente por la comunicación permanente que se debe establecer entre el profesor y el estudiante. Durante la interacción se utilizan diferentes recursos didácticos de manera virtual, para desarrollar actividades con nuevas formas y formatos de distribución de contenidos, donde los estudiantes gestionan su conocimiento. Ante la actual situación de pandemia los docentes se enfrentan a un gran desafío, en el proceso de enseñanza-aprendizaje, ya que ahora es donde se impone el difícil y acelerado cambio de modelo, donde se necesita la adopción de nuevas estrategias didácticas, sustentadas en variados soportes virtuales y que consideren los medios más accesibles para ellos y sus estudiantes (Vidal, 2020).

7.2 Estructura de la propuesta de aprendizaje

La estructura de la propuesta de aprendizaje se sustenta principalmente por ciclos que incorporan los principales conceptos más complejos identificados en académicos expertos, para entender los conceptos de ácido-base, tales como; modelos teóricos utilizados en la enseñanza de ácidos y bases; geometría molecular y su relación con propiedades macroscópicas; polaridad; movimiento de electrones y resonancia. Los

ciclos a desarrollar siguen la forma cíclica de la progresión de aprendizaje propuesto por Cooper, M. *et al.* (2012), proponiendo actividades de forma que los estudiantes puedan identificar y argumentar la basicidad de moléculas contemplando sus propiedades macroscópicas y microscópicas (Fig. 3).

De acuerdo con Cooper, M. *et al.* (2012), el camino que deben seguir los estudiantes desde fórmulas moleculares hasta predicciones de propiedades implican al menos ocho pasos distintos (Fig.3), cada uno de los cuales debe estar conectado con el último, y muchos de estos requieren la aplicación de conjuntos y reglas que para los estudiantes pueden resultar desconocidos. Este proceso puede ser difícil para los alumnos que han llegado a creer y a comprender que la química significa memorizar y reconocer patrones, del mismo modo aquellos estudiantes que sean incapaces de atravesar el largo camino desde la estructura a nivel molecular hasta la predicción de propiedades, están limitados a una comprensión superficial de la química.

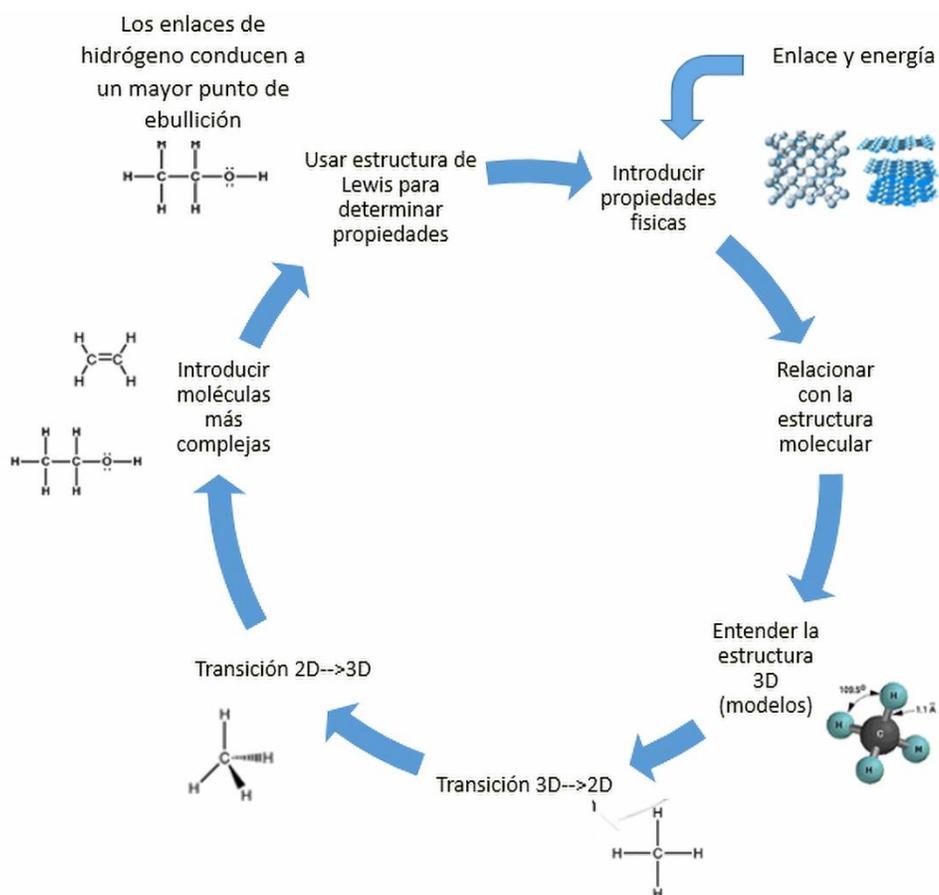


Figura 3. Progresión de aprendizaje para estructura y función. Traducido de Cooper *et al.*, 2012

8. Resultados y Discusión

Se realizaron propuestas de aprendizaje de forma cíclica que abordan los conceptos de; modelos teóricos utilizados en la enseñanza de ácidos y bases; geometría molecular y su relación con propiedades macroscópicas; polaridad; movimiento de electrones y resonancia. Para cada uno de estos conceptos se confeccionó más de un ciclo, pero con diferentes moléculas. Además, se elaboró un ciclo que integra todos los conceptos mencionados anteriormente con el propósito de que se relacionen entre sí, para favorecer los conceptos de ácido-base y de esta forma potenciar el aprendizaje de la basicidad en los estudiantes. Los resultados se presentarán por cada ciclo y se irán discutiendo por concepto.

8.1 Resultados de ciclo de modelos teóricos utilizados en la enseñanza de ácidos y bases

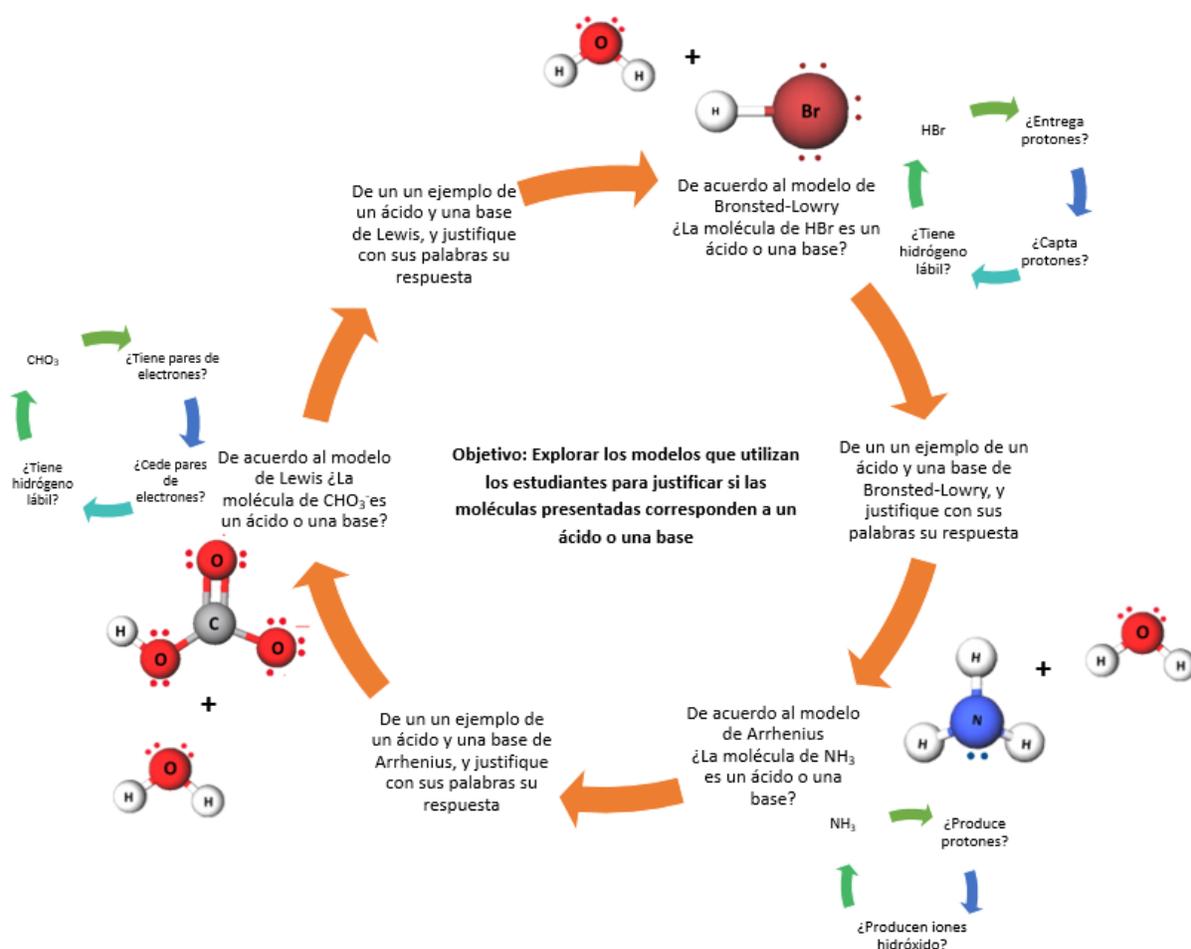


Figura 4. Propuesta de aprendizaje de modelos teóricos de ácidos y bases

La Figura. 4 tiene por objetivo central: Explorar los modelos que utilizan los estudiantes para justificar si las moléculas presentadas corresponden a un ácido o una base.

- El ciclo inicia con la introducción de las moléculas de ácido bromhídrico y agua, que representan una reacción.
 - ❖ En este punto se espera que los estudiantes analicen la reacción de acuerdo con sus conocimientos previos y puedan identificar, basándose en el modelo de Bronsted-Lowry si la molécula de HBr es de carácter ácido o básico. De acuerdo con su elección podrán ir avanzando en cada punto del ciclo.
- Luego, se les pide que puedan dar un ejemplo de un ácido y una base respecto al modelo de Bronsted-Lowry
 - ❖ Se pide que los estudiantes puedan ejemplificar un ácido y una base de Bronsted-Lowry para seguir explorando sus conocimientos previos, además, deben justificar su respuesta.
- A continuación, se introducen dos nuevas moléculas al ciclo en forma de una reacción química, amoníaco y agua, ambas con representación 3D.
 - ❖ En este punto se espera que los estudiantes analicen la reacción de acuerdo con sus conocimientos previos y puedan identificar, basándose en el modelo de Arrhenius si la molécula de NH_3 es de carácter ácido o básico. De acuerdo con su elección podrán ir avanzando en la parte restante del ciclo.
- Seguidamente, se les pide que puedan dar un ejemplo de un ácido y una base respecto al modelo de Arrhenius.
 - ❖ Se pide que los estudiantes puedan ejemplificar un ácido y una base de Arrhenius para seguir explorando sus conocimientos previos, además, deben justificar su respuesta.
- Finalizando el ciclo, se introducen dos nuevas moléculas 3D, ión bicarbonato y agua representando una reacción química.
 - ❖ En este punto se espera que los estudiantes analicen la reacción de acuerdo con sus conocimientos previos y puedan identificar, basándose en el modelo de Lewis si la molécula de $[\text{HCO}_3]^-$ es de carácter ácido o básico.
- Por último, se solicita a los estudiantes que puedan dar un ejemplo de un ácido y una base respecto al modelo de Lewis.

- ❖ En este último punto del ciclo, se pide a los estudiantes que den un ejemplo de un ácido y una base de Lewis, además se exige que justifiquen su respuesta.

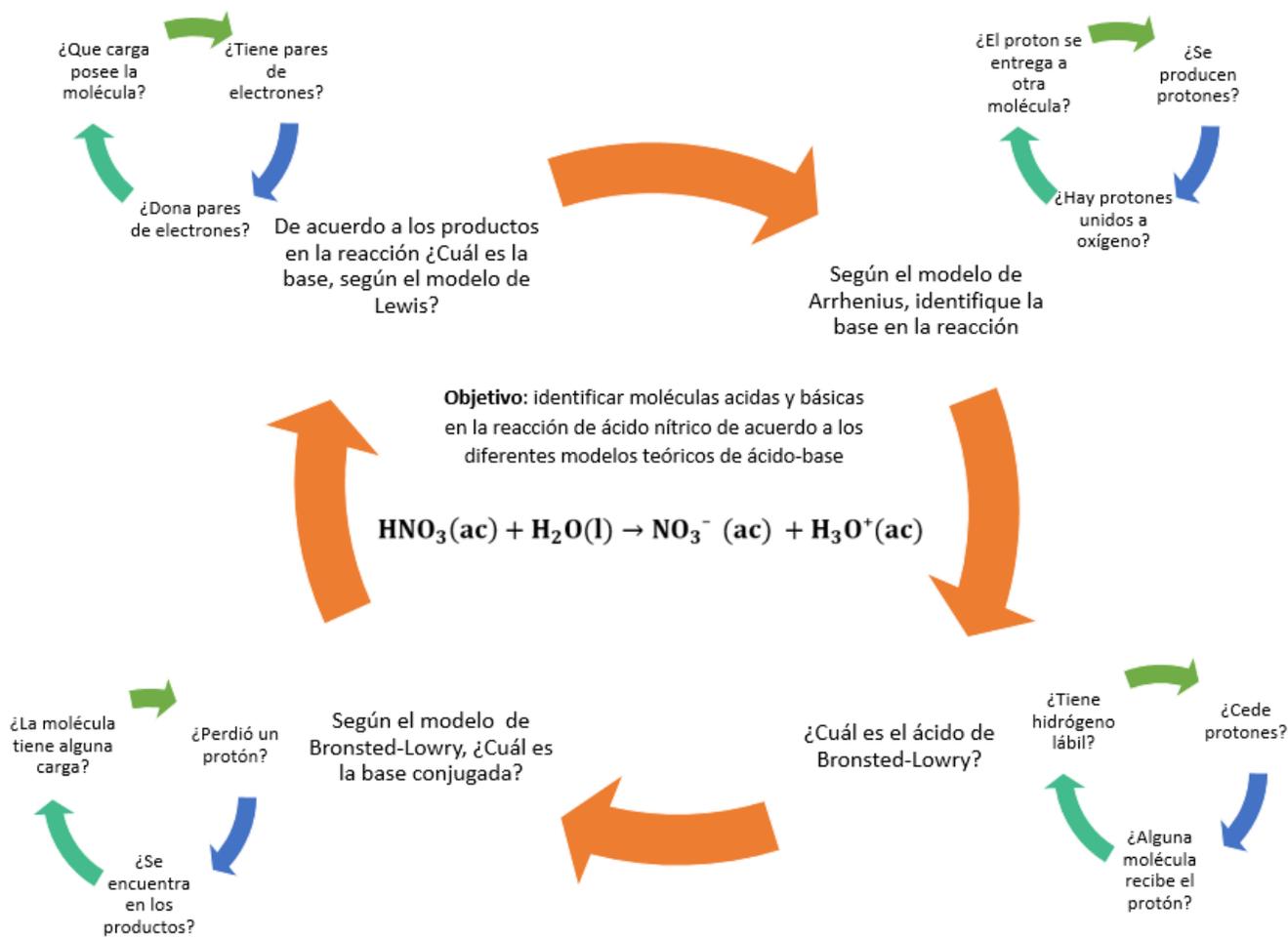


Figura 5. Ciclo de modelos teóricos para el aprendizaje de ácidos y bases en Química orgánica.

La figura 5 tiene por objetivo central: Identificar moléculas ácidas y básicas en la reacción de ácido nítrico de acuerdo con los diferentes modelos teóricos de ácido-base.

En el ciclo se presenta una reacción de ácido nítrico con agua, de acuerdo con eso, los estudiantes podrán ir avanzando en cada punto del ciclo.

- Al inicio del ciclo, los estudiantes deben identificar la molécula básica en la reacción, de acuerdo con el modelo de Arrhenius.

- ❖ En este punto se espera que los estudiantes analicen la reacción de acuerdo con sus conocimientos y puedan identificar, basándose en el modelo de Arrhenius la molécula básica. De acuerdo con su elección podrán ir avanzando en cada punto del ciclo.
- Luego, se solicita a los estudiantes que respondan ¿cuál es el ácido de Bronsted-Lowry?
 - ❖ En este punto se espera que los estudiantes analicen la reacción de acuerdo con sus conocimientos y puedan identificar la molécula ácida basándose en el modelo de Bronsted-Lowry.
- A continuación, se pregunta a los estudiantes ¿cuál es la base conjugada, respecto al modelo de Bronsted-Lowry?
 - ❖ En este punto se espera que los estudiantes analicen la reacción de acuerdo con sus conocimientos y puedan identificar la base conjugada de Bronsted-Lowry.
- Por último, se pide a los estudiantes que, respecto a los productos en la reacción, identifiquen la base de Lewis.

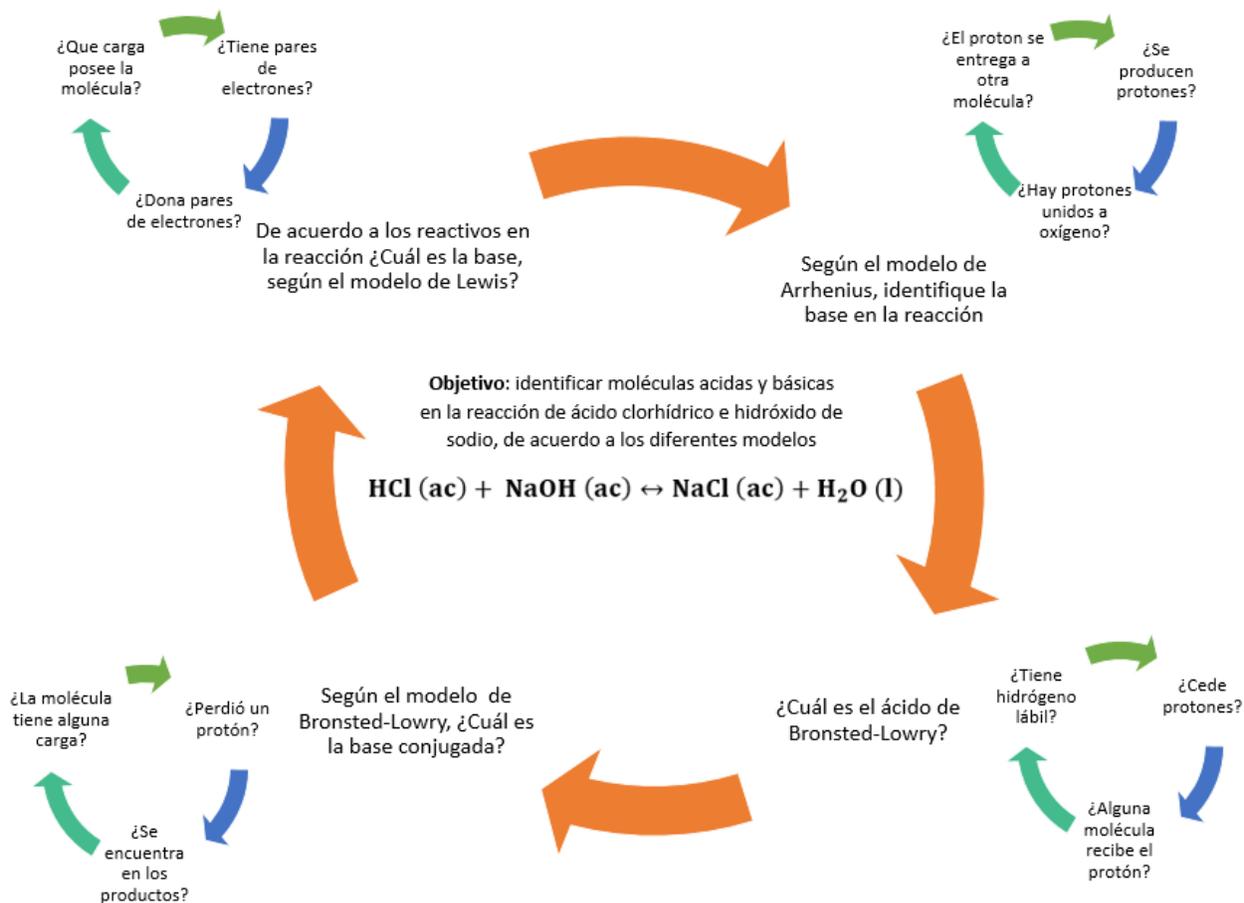


Figura 6. Ciclo de modelos teóricos para el aprendizaje de ácidos y bases en Química orgánica.

Las figuras 4, 5 y 6 representan una propuesta de aprendizaje de forma cíclica, que abordan los distintos modelos teóricos utilizados para enseñar el contenido de ácidos y bases en química orgánica. Los tres ciclos (Fig. 4, 5 y 6) plantean preguntas dirigidas hacia los estudiantes, que se relacionan principalmente con los tres modelos más utilizados por los libros de textos para enseñar ácidos y bases.

De acuerdo a una investigación realizada por Sánchez *et al* (2009) demuestra que una de las tantas formas de obtener información acerca del aprendizaje de los estudiantes, es a partir de preguntas que implican: a) respuestas literales de un texto; b) inferencias; c) comprender la idea global que expresa el texto y d) entender la interrelación entre las ideas globales. El procedimiento de preguntar correctamente es una buena técnica para mejorar el pensamiento crítico y creativo de los estudiantes, como también la adquisición

de capacidades cognitivas, tales como; exploración y descubrimiento (Sánchez *et al.*, 2009).

Cuando el estudiante hace la búsqueda a las preguntas que se le realizan, este procedimiento le permite explorar sus ideas previas, ejecutar una síntesis y transferir los conocimientos adquiridos a nuevas situaciones, lo cual favorece la interacción entre sus ideas y los nuevos conocimientos, este proceso es necesario para el aprendizaje significativo de los estudiantes (Sánchez, 2012).

Pulgar y Sánchez, (2014) afirman que *“el profesor que no utiliza habitualmente las preguntas difícilmente puede ser un profesor eficaz”*. Es por ello, que integramos diversas preguntas en los ciclos de modelos teóricos, ya que, creemos que entre las funciones didácticas del docente se encuentra la formulación de preguntas y la estimulación de las disposiciones y capacidades interrogadoras de los estudiantes.

La propuesta de aprendizaje en forma cíclica de los modelos de ácido-base (Figuras 4, 5 y 6) fueron elaboradas considerando las dificultades que presentan los estudiantes para comprender la relación que tienen los modelos teóricos que se utilizan para enseñar los ácidos y bases, Carr (1984) dice que las dificultades de los estudiantes para comprender los ácidos y las bases, al uso de modelos cada vez más complejos en situaciones de enseñanza. Variadas investigaciones (Wilson, 1998; Drechsler y Schmidt, 2005; Furio-Mas *et al.*, 2005; Gericke y Drechsler, 2006) han demostrado que los libros de texto suelen representar los modelos en orden sucesivo, sin establecer conexiones entre ellos, ni explicar en qué circunstancias un modelo puede ser superior a otro, además afirman que *“las conexiones débiles entre esquemas no ayudan a los estudiantes a resolver problemas”*. En consecuencia, como los académicos dependen en gran medida del uso de los libros de texto para enseñar los contenidos, pueden agudizar la confusión sobre el uso de modelos en los estudiantes al transmitir el conocimiento de acuerdo con el orden que se establece en la bibliografía.

En la Figura 4. Se inicia con dos moléculas; H_2O y HBr en 3D, la elección de estas moléculas surge de la revisión bibliográfica de los estudios hechos por Cooper *et al.* (2016). Se comienza con una pregunta dirigida a los estudiantes orientada al modelo de Bronsted-Lowry, sin embargo, en los libros de textos se empieza con el modelo de

Arrhenius, este cambio lo realizamos, ya que, Logan (1949) afirmó que tradicionalmente se ha enseñado el concepto de Arrhenius, pero no significa que sea el modelo más simple de entender, por lo tanto, debido a que el concepto de Bronsted-Lowry es más simple de entender y explicar debería cambiarse el orden. Asimismo, Hawkes (1992) indicó que, en la educación química tradicional, el concepto de Bronsted-Lowry se presenta después del concepto de Arrhenius, pero que este tipo de método educativo provoca que los estudiantes tengan conceptos erróneos; por lo tanto, el modelo de Bronsted-Lowry, que es más simple y claro, debe introducirse en primer lugar.

Los estudiantes deben acudir a sus conocimientos previos y analizar la reacción en 3D para dar respuesta a la pregunta que se presenta ¿La molécula de HBr, es un ácido o base de Bronsted-Lowry? Sabemos que dar una respuesta inmediata no es fácil, por lo tanto, adjuntamos un mini ciclo al costado del enunciado, que se centra principalmente en captar o transferir un protón, para que los estudiantes puedan guiarse y entender de forma más clara lo que se les pregunta. Siguiendo con la exploración de los aprendizajes previos, se les solicita que puedan dar un ejemplo de un ácido y una base de Bronsted-Lowry, de esta forma no solo acudimos a sus conocimientos previos, sino también, integramos nuevo contenido a su proceso de exploración y descubrimiento a través de las preguntas. De acuerdo con Nakhleh y Krajcik (1993) los estudiantes construyen conocimiento integrando nueva información con conocimientos previos, recurriendo a acciones y procesos de pensamiento.

Luego integramos el modelo de Arrhenius, incluyendo dos nuevas moléculas; NH_3 y H_2O en 3D y además en forma de reacción, las moléculas fueron extraídas desde el libro *Química: la ciencia central* de Brown et al, (2004), sabemos que la definición de Arrhenius discrimina toda solución que no sea acuosa, por este motivo integramos el agua. Los estudiantes deben responder a la misma pregunta del modelo anterior; ¿La molécula de NH_3 corresponde a un ácido o una base de Arrhenius? De igual manera, se incluye un mini ciclo al costado de la pregunta para orientar a los estudiantes en sus respuestas. Siguiendo con la misma modalidad de explorar sus conocimientos previos, en el siguiente paso se les pide que den un ejemplo de un ácido y una base de acuerdo con el modelo de Arrhenius.

Terminamos el ciclo con el modelo de Lewis, incluyendo dos nuevas moléculas, tales como; $[\text{HCO}_3]^-$ y H_2O en 3D representando una reacción química. Se presenta la siguiente pregunta a los estudiantes ¿La molécula de $[\text{HCO}_3]^-$ es un ácido o una base de Lewis? Ellos deberán responder analizando la reacción que se les enseña y además podrán guiar su respuesta con el mini ciclo que se les otorga al costado de la pregunta, para luego indicar un ejemplo de un ácido y una base de Lewis, justificando su respuesta. Un estudio realizado por Tarhan y Acar (2012) demostró que la mayoría de los estudiantes a menudo pueden clasificar correctamente una molécula como base de Lewis o como ácido de Lewis, pero no pudieron justificar cómo o por qué las moléculas actúan de esa forma. Por esta razón incluimos el término de “justificar su respuesta” durante el ciclo, ya que, en esta fase queremos explorar los conocimientos previos y la forma que tienen los estudiantes para justificar su elección, de igual manera creemos que este ejercicio debe aplicarse con frecuencia en la enseñanza de ácido-base.

Según Shaffer (2006) menciona que debería hacerse más hincapié en la teoría de Lewis en los cursos de química general, para que los estudiantes se enfrenten a química orgánica. Asimismo, Yik *et al.* (2021) afirma que *“el uso del modelo de Lewis para explicar las reacciones ácido-base es clave para el dominio de la química orgánica”*.

Estamos de acuerdo con lo que propone Shaffer y creemos que los estudiantes comprenderían más fácilmente los mecanismos de reacción y la predicción del equilibrio en los cursos de química orgánica, si el modelo de Lewis se destacará más en la formación de cursos de química anteriores. De acuerdo con el currículo, en los cursos de química orgánica se centran en la enseñanza del formalismo de movimiento de electrones para describir la formación de enlaces y la ruptura de estos.

El éxito en la predicción del mecanismo de reacción se basa en una sólida comprensión de cómo y por qué se mueven los electrones. Conforme con Cartrette y Mayo (2011) afirman que la teoría de ácidos y bases de Bronsted-Lowry es aplicable solo en contextos limitados, y viendo que gran parte de las reacciones enseñadas en química orgánica son entre donantes de electrones y aceptores de electrones, el modelo de Lewis resultaría más útil en términos de resolución de problemas en química orgánica. Si los estudiantes usan el modelo de Lewis para pensar en reacciones ácido-base, deberían desarrollar un

marco más sólido sobre el cual construir su comprensión de una gama más amplia de reacciones químicas. (Cartrette y Mayo, 2011; Shaffer, 2006)

Las figuras 5 y 6 representan dos ciclos que incluyen dos reacciones químicas, pero solo en su forma molecular, creemos que integrar las diversas representaciones de las moléculas ayudarán a los estudiantes a tener una gama visual más amplia en cuanto a estructuras. Ambas propuestas de aprendizaje se orientan a reforzar los modelos teóricos que se utilizan para la enseñanza de ácidos y bases. Según Cooper *et al.* (2016) la capacidad de moverse con flexibilidad entre modelos es uno de los sellos distintivos de una comprensión sofisticada de la ciencia, particularmente en química.

De acuerdo con la evidencia encontrada, las propuestas de aprendizaje en los ciclos posteriores se centrarán en el modelo de Lewis orientados a entender de manera didáctica los conceptos de ácidos y bases. En las propuestas de aprendizaje habrá ciclos exploratorios como vimos en la figura 4, y ciclos que articulan el contenido en base a preguntas como se vio en las figuras 5 y 6, de esta forma se incorpora el contenido nuevo con las ideas previas que poseen los estudiantes. Además, como vimos en el trabajo realizado por Franco y Melo (2020) donde demostraron que la basicidad es un concepto que está subordinado a la acidez, las moléculas elegidas son en su mayoría de carácter básico.

8.2 Resultados de ciclo de geometría molecular y propiedades macroscópicas

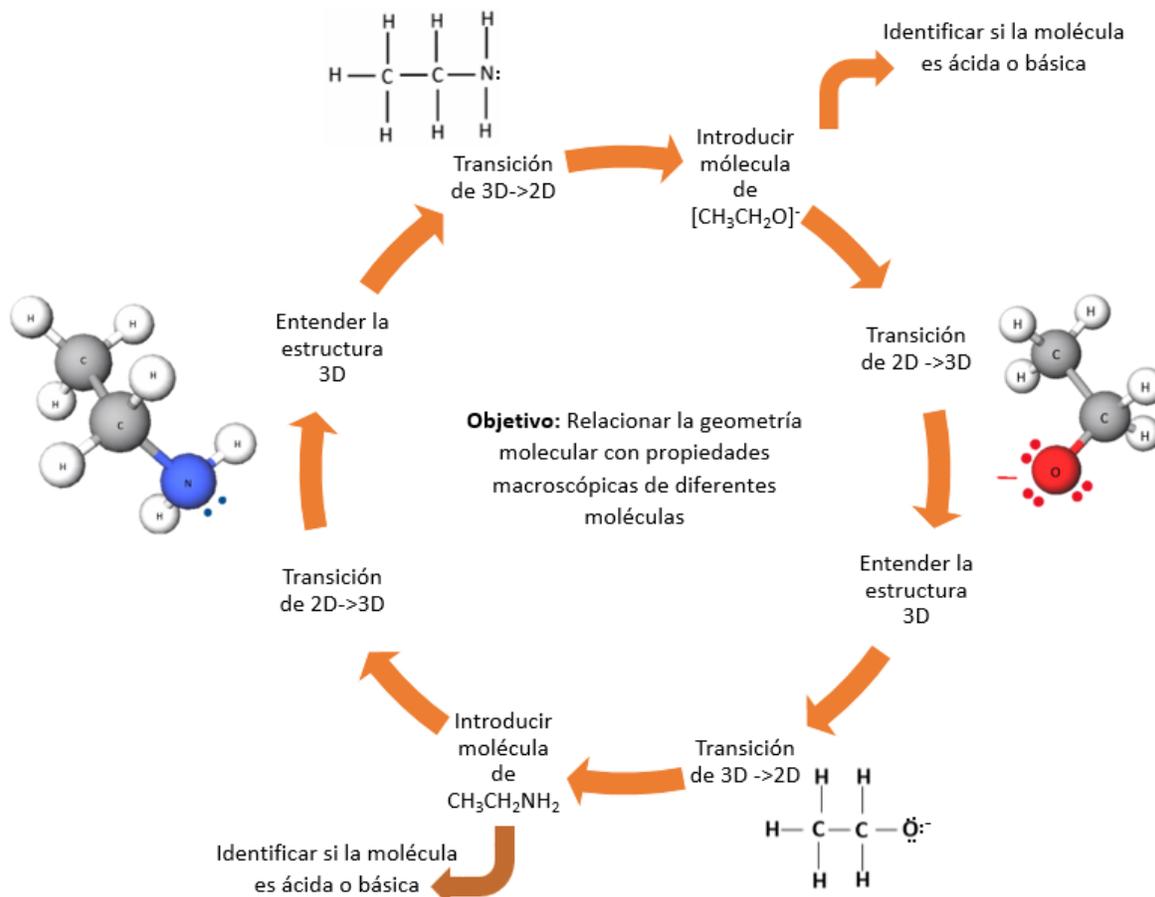


Figura 7. Ciclo de geometría molecular, adaptada por Carla Campos & Jemima Sandoval desde Cooper et al. J. Chem. Educ. 2012, 89, 1351-1357.

Para esta progresión de aprendizaje se seleccionaron seis moléculas, que se distribuyen dos por cada ciclo. En su mayoría las moléculas son de carácter básico y fueron seleccionadas del texto de Química orgánica de Carey & Giuliano (2014).

- Primer ciclo: ión etóxido y etilamina (Fig. 7)
- Segundo ciclo: amoníaco y metano (Fig. 8)
- Tercer ciclo: trimetilamina y dimetil éter (Fig. 9)

La Fig. 7 tiene por objetivo central: Relacionar la geometría molecular con propiedades macroscópicas de diferentes moléculas. Este ciclo está basado principalmente en el trabajo de Cooper, *et al.* (2012) Desarrollo y evaluación de una progresión de aprendizaje de la estructura y propiedades moleculares.

- El ciclo inicia con la introducción del ión etóxido
 - ❖ En este punto de la progresión de aprendizaje se espera que los estudiantes puedan identificar de acuerdo con sus conocimientos, si la molécula presentada es de carácter ácido o básico, respectivamente. De acuerdo con su elección podrán ir avanzando en cada punto del ciclo.
- A continuación, se incluyen dos transiciones de la sustancia (ión etóxido) de 2D a 3D y de 3D a 2D.
 - ❖ Los estudiantes son introducidos a estructuras en 3D donde tendrán que entender la forma molecular en el espacio, luego se realiza el cambio a 2D, y en este cambio, ellos podrán determinar los tipos de fuerzas intermoleculares presentes en la especie.
- Posteriormente se introduce una nueva molécula (etilamina)
 - ❖ El objetivo de incorporar una nueva molécula es que los estudiantes puedan comprender de mejor manera la relación que hay entre geometría molecular y las propiedades macroscópicas, siguiendo el mismo orden de la molécula anterior.

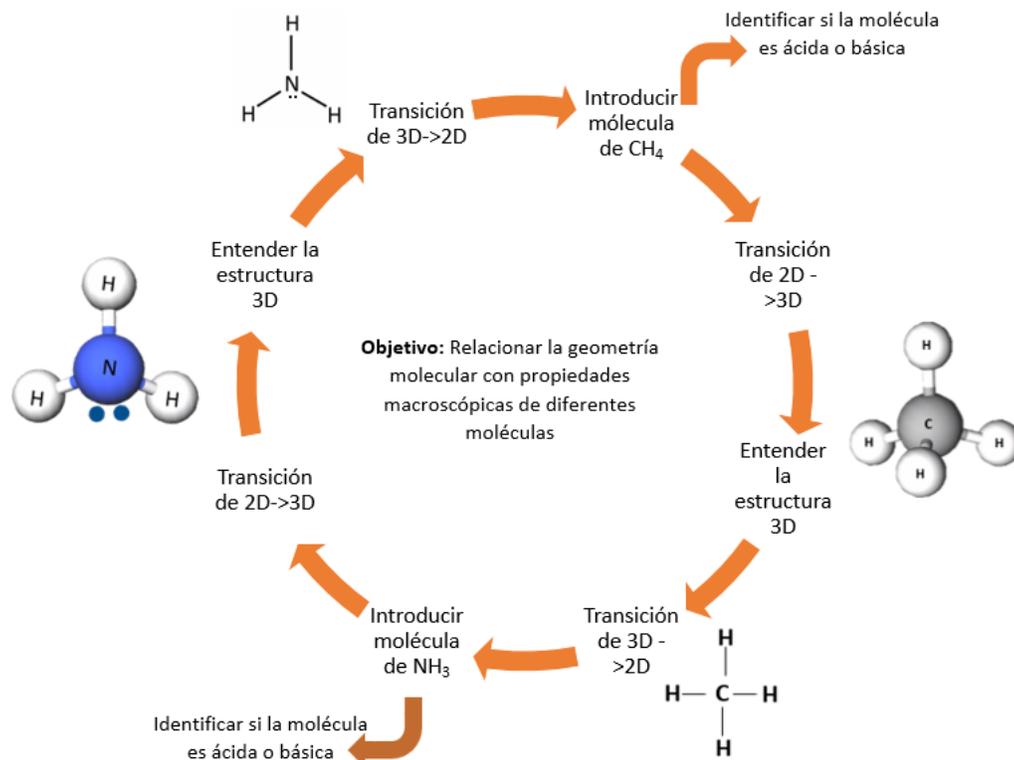


Figura 8. Ciclo de geometría molecular, adaptada por Carla Campos & Jemima Sandoval desde Cooper et al. J. Chem. Educ. 2012, 89, 1351-1357.

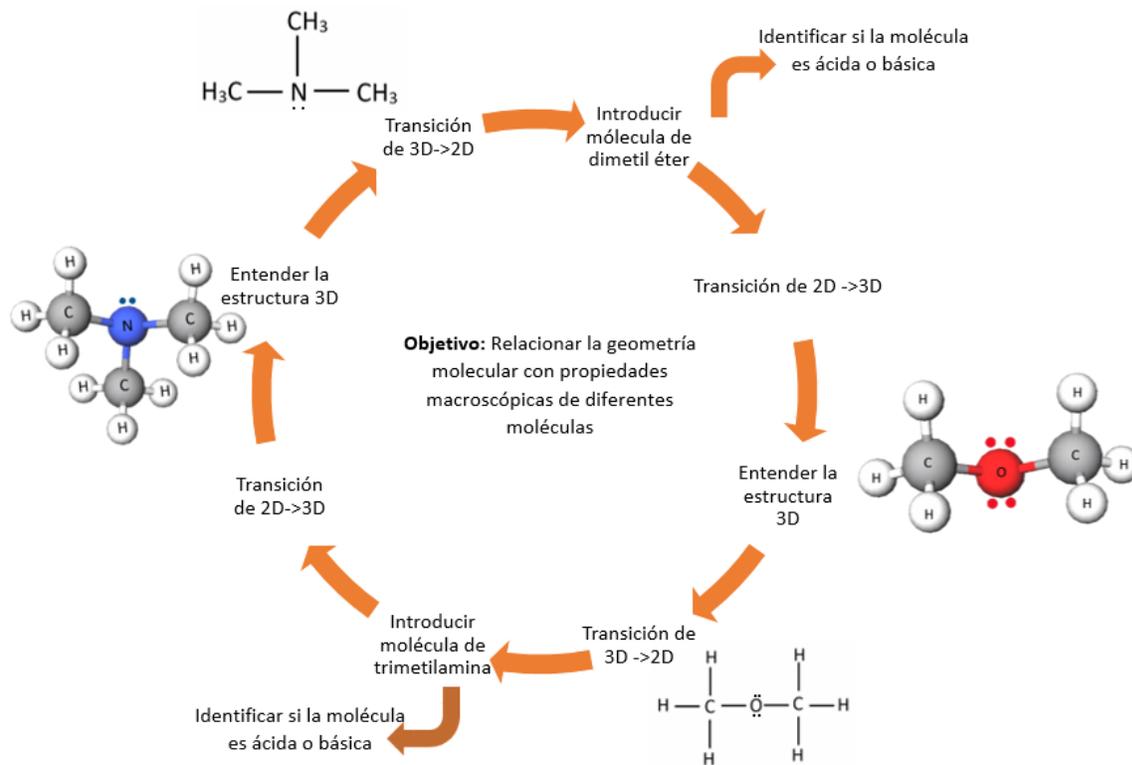


Figura 9. Ciclo de geometría molecular, adaptada por Carla Campos & Jemima Sandoval desde Cooper et al. J. Chem. Educ. 2012, 89, 1351-1357.

Una premisa central de la amplia gama de las ciencias moleculares en química tiene la idea de que la estructura molecular de una sustancia determina sus propiedades macroscópicas. Sin embargo, dada la evidencia encontrada, los estudiantes en la educación superior en química, les resulta difícil conectar aquellas propiedades visibles y medibles en compuestos moleculares simples y aún más en los complejos. Cooper, *et al.* (2012) señalan “*que los estudiantes a menudo confían en heurísticas o señales de nivel superficial para dar respuesta a preguntas*” en lugar de basar su respuesta en una comprensión clara de cómo se utilizan las características a nivel molecular para dar predicciones de propiedades macroscópicas de las moléculas.

Un experto en química puede observar fórmulas moleculares y dar una gran cantidad de propiedades, sin embargo, para un estudiante que acaba de cursar química general y se enfrenta a química orgánica, debe conectar explícitamente una larga secuencia de inferencias para producir predicciones macroscópicas, este proceso resulta difícil para ellos, ya que, han llegado a creer que entender y comprender la química significa memorizar y reconocer patrones. Es por ello, que en la propuesta de aprendizaje de geometría molecular que tiene por objetivo central: relacionar la geometría molecular con propiedades macroscópicas de diferentes moléculas, (Fig.7) los estudiantes, guiados por el docente, deben seguir una serie de al menos ocho pasos que están orientados a comprender las estructuras moleculares tridimensionales de dos moléculas, de esa forma, los estudiantes desarrollan conocimientos para vincular las propiedades que correspondan (Cooper *et al.*, 2012).

En relación con la introducción de moléculas en 3D al interior del ciclo, según científicos e ingenieros en ejercicio, la utilidad de observar estas representaciones es que los estudiantes al momento de aplicarlas tienen un mayor razonamiento sobre los fenómenos que involucran a la molécula. Por lo que sugieren, que las dimensiones deben integrarse a lo largo de la instrucción de los contenidos y la evaluación para ayudar a que los estudiantes puedan tener una participación en la ciencia (Bain, *et al.*, 2020). En la Figura 7 en el punto del ciclo “Transición de 2D a 3D” se pueden utilizar modelos moleculares ya sean físicos o aquellos que se manejan en programas, para introducir a las estructuras tridimensionales. De acuerdo con Cooper, *et al.* (2010) creemos que es

importante que el estudiantado desarrolle una comprensión temprana de la estructura tridimensional de las moléculas, comenzando con estructuras simples como se puede apreciar en la Fig. 8 que se utilizaron las moléculas de amoníaco y metano. Una vez que ellos comprendan a visualizar y entender estructuras tridimensionales más simples, al repetir la progresión de aprendizaje se le introducen moléculas más complejas Fig. 9.

En el proceso de entender la estructura 3D, se les pueden proporcionar ciertas propiedades de la molécula para que puedan conectar la relación existente entre estructura y propiedad, que es el objetivo principal del ciclo. Por ejemplo, los y las estudiantes, podrían comparar las diferencias entre los puntos de fusión y ebullición entre las dos moléculas que se integran a lo largo del ciclo.

Es relevante que los estudiantes utilicen las estructuras 2D para visualizar estructuras 3D, de esta forma, podrán aprender simultáneamente sobre sus propiedades. Sabemos que este proceso a nivel cognitivo es muy exigente. Conforme con Cooper *et al.*, (2012) los expertos en química transitan por esta secuencia de acciones e inferencias con facilidad, pero a los estudiantes no les resulta fácil, ya que, la memoria de trabajo de muchos estudiantes se sobrecarga cuando tienen que enlazar y relacionar tantas acciones, donde la mayoría requiere de una aplicación de reglas que deben recordarse. Estudios hechos por Cooper *et al.*, (2010) demuestran que para muchos estudiantes los vínculos entre estructura y propiedad nunca se establecen y, por lo tanto, deben, por necesidad recurrir a la memorización de fragmentos desconectados. Según Maeyer y Talanquer, (2010), utilizan heurísticas de nivel superficial para organizar sus ideas.

Por lo tanto, el propósito de que la propuesta de aprendizaje que relaciona la estructura con las propiedades macroscópicas de las moléculas se repita más de una vez, es que los estudiantes puedan tener el ejercicio de comparar entre más de una molécula los fenómenos macroscópicos que van ocurriendo y cómo estos van cambiando de acuerdo a las diferentes estructuras de las moléculas.

8.3 Resultados de ciclo de polaridad

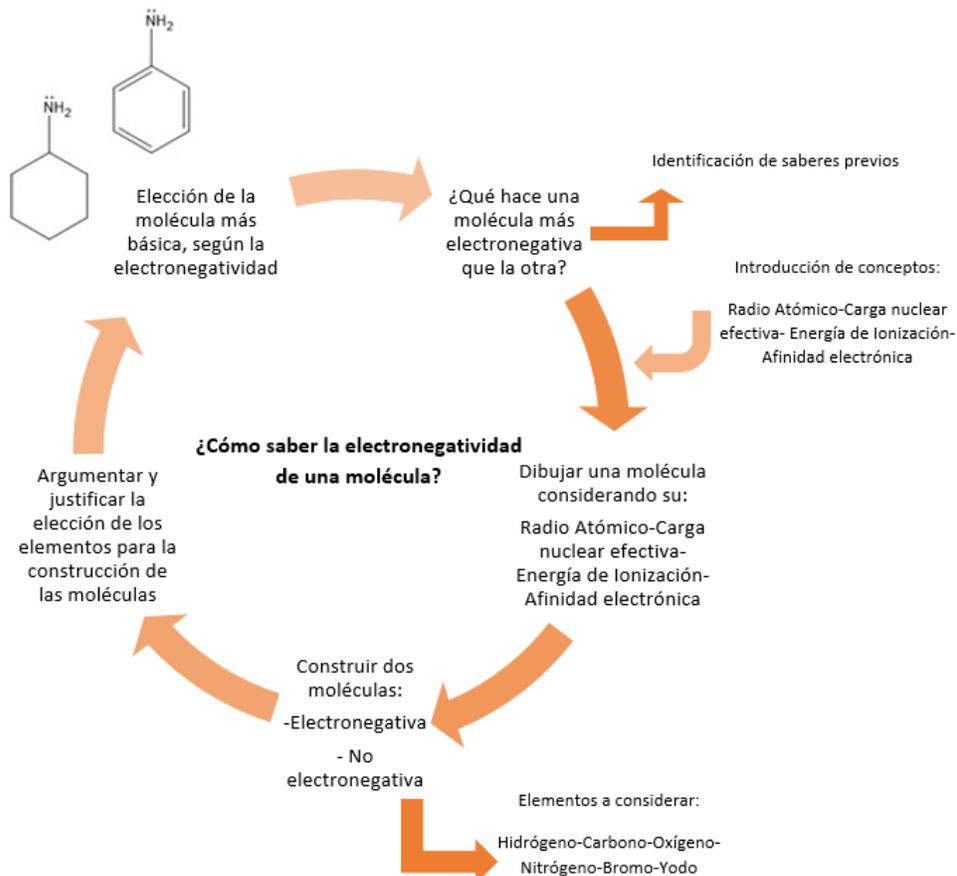


Figura 10. Propuesta de aprendizaje del concepto de electronegatividad

- El ciclo inicia con la siguiente pregunta ¿Qué hace una molécula más electronegativa que otra? Con el objetivo de identificar los saberes previos que los estudiantes tienen respecto al concepto.
 - ❖ Dada la revisión, se identificó un error conceptual, ya que no existen moléculas más electronegativas que otras, más bien existen moléculas polares y apolares producto de la electronegatividad de los enlaces
 - ❖ La pregunta debe reformularse a ¿Qué hace una molécula más polar que otra? Y esta debe ir al centro del ciclo.
 - ❖ Se sugiere que el ciclo siempre inicie con una molécula (polar o apolar) con el fin de discutir cuáles son los sitios más positivos y negativos dentro de la molécula, detallando las partes ricas y pobres de electrones, lo que da paso

a reconocer los sitios ácidos y básicos en la molécula, identificando electrófilos y nucleófilos.

- Luego se pide a los estudiantes que dibujen una molécula considerando los siguientes conceptos: Radio Atómico-Carga nuclear efectiva- Energía de ionización- Afinidad electrónica
 - ❖ El concepto de energía de ionización no tiene conexión directa con el tema principal de la investigación (basicidad), por ende, se sugiere no abordarlo en el ciclo.
 - ❖ Si se reemplaza la pregunta inicial del ciclo, el concepto principal a tratar sería la polaridad, de esta manera se puede abordar la electronegatividad como tema tangencial, ya que, este término integra conceptos más complejos.
- Siguiendo con: Construir dos moléculas: Una electronegativa y otra no electronegativa
 - ❖ Dado que no existen moléculas electronegativas y no electronegativas, lo más adecuado es reformular la idea a: Construir dos moléculas una polar y otra apolar.
- Posteriormente se pide a los estudiantes: argumentar y justificar la elección de los elementos para la construcción de las moléculas
- Finalmente se pide a los estudiantes que puedan elegir la molécula más básica entre ciclohexilamina y anilina según la electronegatividad
 - ❖ Como se trató en puntos anteriores, la electronegatividad aborda muchos términos intermedios que no se relacionan directamente con los conceptos de ácidos y bases, por lo tanto, se sugiere una vez más que se cambie el tema central a polaridad.

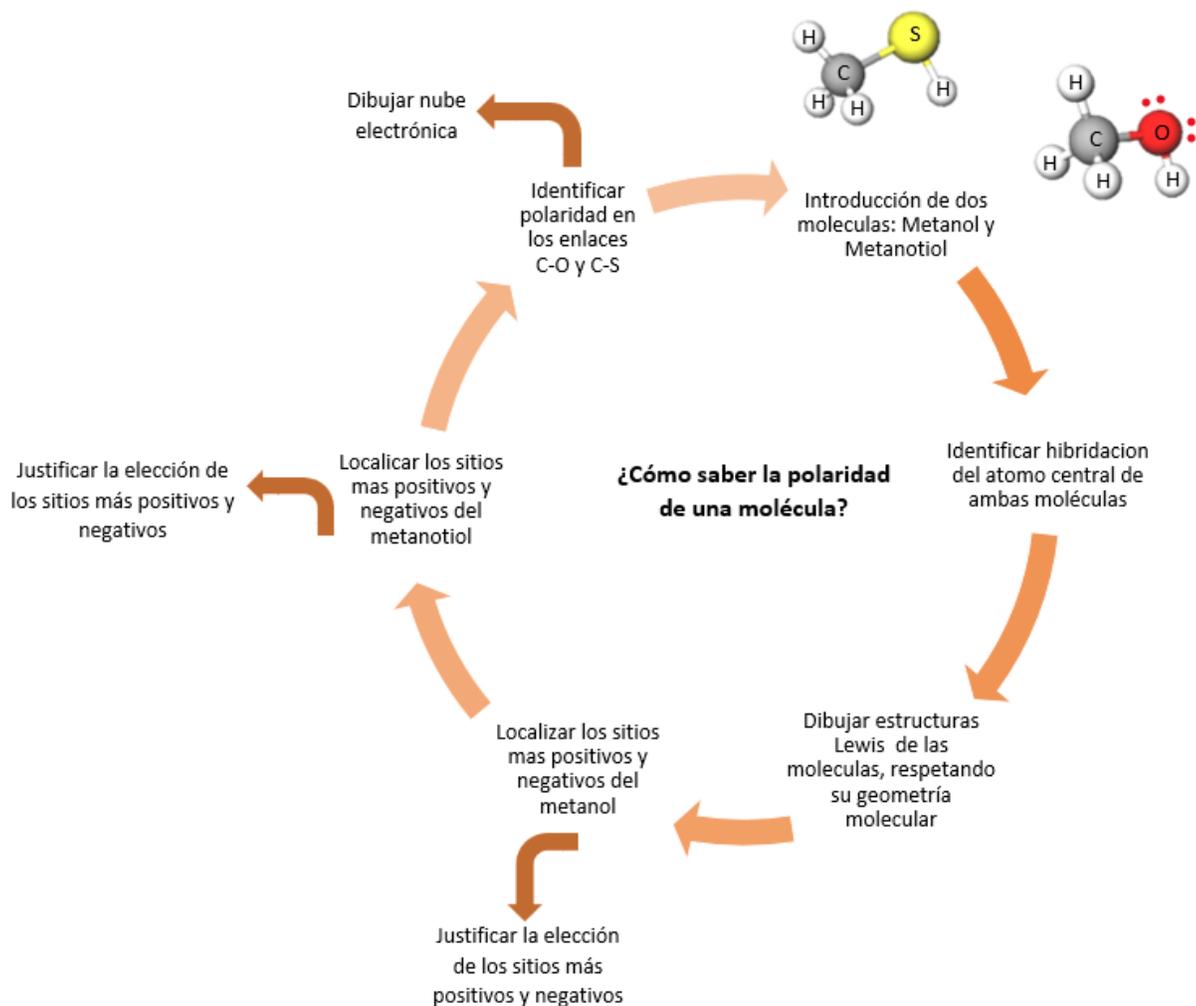


Figura 11. Propuesta de aprendizaje para el concepto de polaridad

Para esta propuesta de aprendizaje se seleccionaron seis moléculas, que se distribuyen dos por cada ciclo, que fueron extraídas del libro de texto de Química orgánica de Carey & Giuliano (2014).

- Primero ciclo: metanol y metanotiol (Fig.11)
- Segundo ciclo: butanol y yoduro de terc butilo (Fig.12)
- Tercer ciclo: metil terc butil eter y cloruro de terc butilo (Fig.13)

La Figura 11 tiene por pregunta central ¿Cómo saber la polaridad de una molécula? que es producto de las correcciones del ciclo de electronegatividad (Fig.10).

- El ciclo inicia con la introducción de dos moléculas: metanol y metanotiol

- ❖ A diferencia del ciclo de electronegatividad (Fig.10), este comienza con dos moléculas tridimensionales (metanol y metanotiol) con el propósito de que haya una comparación en los diferentes puntos del ciclo.
- A continuación, se pide a los estudiantes que identifiquen la hibridación del átomo central de ambas moléculas.
 - ❖ En este punto del ciclo se incluye el concepto de hibridación con el fin de conocer la geometría molecular de ambas moléculas.
- Luego, los estudiantes deben dibujar estructuras de Lewis de ambas moléculas, respetando su geometría molecular
 - ❖ El objetivo principal de este punto en el ciclo es que los estudiantes puedan dibujar las estructuras de Lewis respetando el lugar que ocupan en el espacio estas moléculas, considerando los conceptos trabajados en el punto anterior del ciclo.
- Seguidamente, los estudiantes tendrán que localizar los sitios más positivos y negativos del metanol y metanotiol, para luego justificar la elección de estos sitios.
 - ❖ Este punto del ciclo está pensado para que los y las estudiantes en ciclos próximos reconozcan los sitios más ácidos y básicos de las moléculas que se integren.
- Finalmente, los estudiantes deberán identificar la polaridad de los enlaces C-O en la molécula de metanol y C-S en la molécula de metanotiol para luego dibujar la nube electrónica correspondiente en cada caso.
 - ❖ El propósito de identificar la polaridad de los enlaces seleccionados es para trabajar de manera implícita el concepto de electronegatividad, lo cual permitirá una mejor comprensión para realizar el dibujo de la nube electrónica respectivamente.

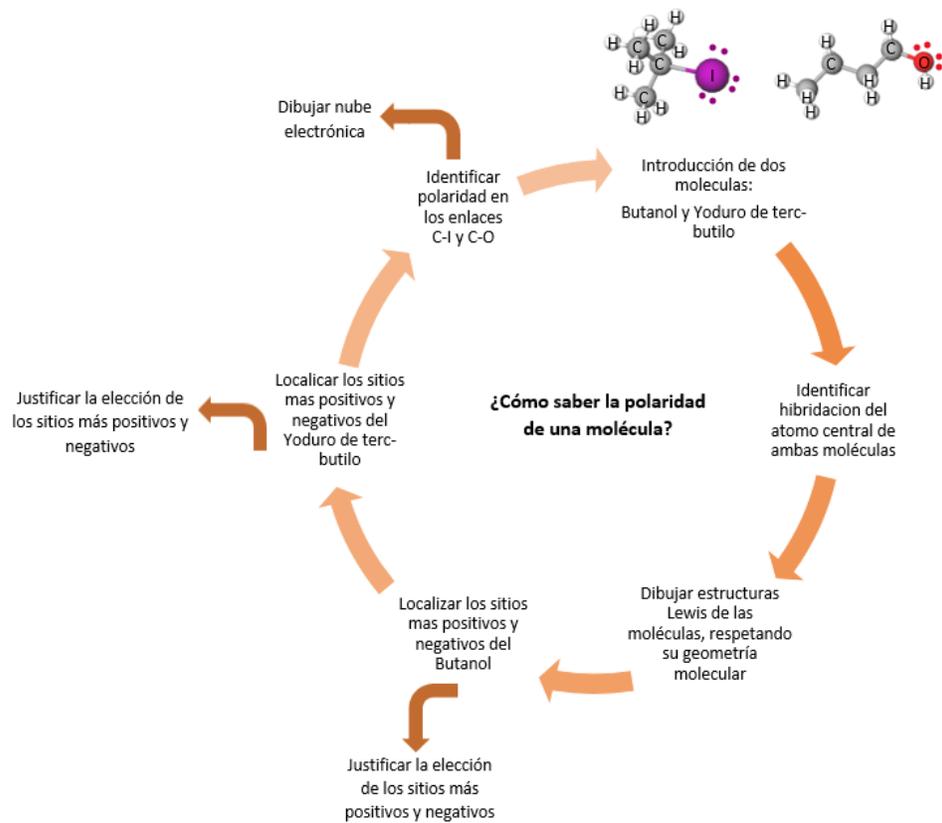


Figura 12. Propuesta de aprendizaje para el concepto de polaridad

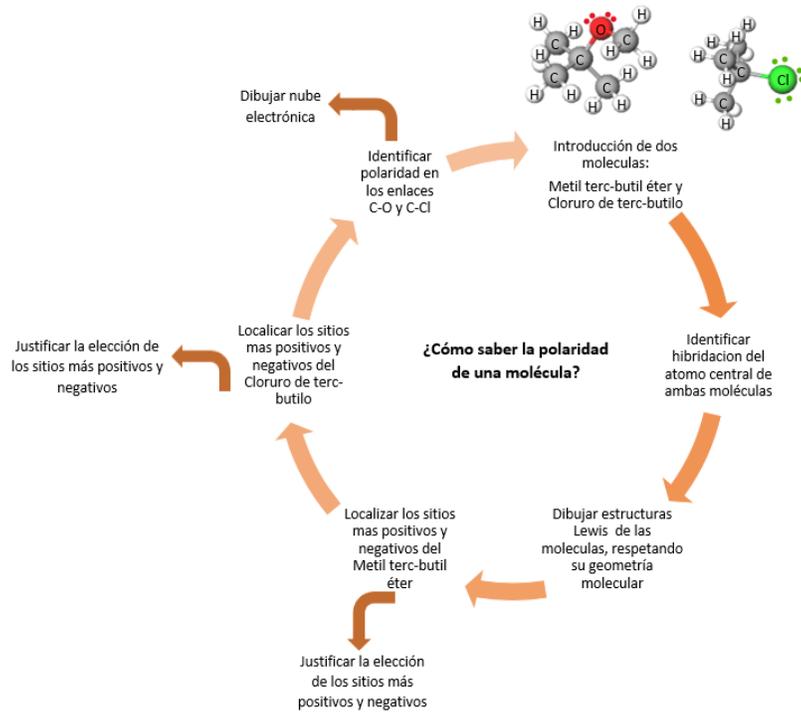


Figura 13. Propuesta de aprendizaje para el concepto de polaridad

Según Cooper, *et al* (2010) el primer paso para comprender las relaciones existentes entre estructura-propiedad, es la facultad de dibujar y manipular las estructuras de Lewis, ya que, de estas representaciones se puede extraer una gran cantidad de información con respecto a lo estructural y la vez, los estudiantes pueden predecir y dar una explicación a propiedades macroscópicas de las moléculas. La creación de estructuras de Lewis es un componente clave para comprender una amplia gama de observaciones químicas, no obstante, para los estudiantes el proceso de crear estructuras correctas es lo que más lleva a la dificultad y ambigüedad cuando se les pide que interpreten las representaciones estructurales.

De acuerdo con Wilensky (2003) el alumnado en un aula común de química, a menudo tienen la tarea de memorizar los procedimientos básicos para dibujar representaciones químicas, sin embargo, no comprenden el modelo explicativo que está asociado. Esta forma de dibujar no se limita solo a estudiantes de enseñanza media, sino que, persiste en la educación superior. Por ejemplo, Stieff (2011) demostró que los estudiantes de química exitosos aprenden rápidamente a dibujar estructuras, pero no conectan sus representaciones con una explicación coherente. Por lo tanto, dibujar se convierte en un ejercicio de manipulación de símbolos y/o formulas, que permiten a los estudiantes dar explicaciones superficiales o resolver problemas asociados a sus dibujos con poca comprensión (Cooper *et al.*, 2017).

De acuerdo con la propuesta de aprendizaje de la Figura 11 en el punto donde se les pide “Dibujar estructuras de Lewis de ambas moléculas, respetando su geometría molecular” creemos que el dibujar estructuras de Lewis es un proceso más simple en comparación a todo el conocimiento y habilidades que los estudiantes deben utilizar para extraer la información implícita y significativa de aquellas estructuras. Conforme a una investigación realizada por Cooper *et al*, 2010, *“Si bien los estudiantes pueden articular información explícita que muestran las estructuras de Lewis, son significativamente menos capaces de reconocer la información implícita que se puede determinar”*. Consideramos que esta dificultad se presenta porque se requiere de la aplicación de otros conocimientos para reconocer la información implícita de las estructuras, tales como; polaridad, acidez, basicidad, enlaces. Al inicio del ciclo (Fig 11) se introducen dos

moléculas tridimensionales, ambas tienen un átomo electronegativo, el objetivo de que se integren juntas a la propuesta de aprendizaje es que se irán comparando a medida que se avanza en el ciclo, en el enunciado: Localizar los sitios más positivos y negativos de ambas moléculas y posteriormente: identificar polaridad de enlace, los estudiantes deben usar su conocimiento de electronegatividad para escoger y asignar la polaridad de los enlaces solicitados. Es en esta etapa donde ellos deben utilizar la combinación de estructuras 3D que se presentan al inicio del ciclo, para determinar cómo se distribuye la densidad de electrones en la molécula para determinar los tipos de fuerzas intermoleculares presentes. De esta manera, los estudiantes podrán responder a la pregunta central del ciclo ¿Cómo saber la polaridad de una molécula?

8.4 Resultados de ciclo de movimiento de electrones y resonancia

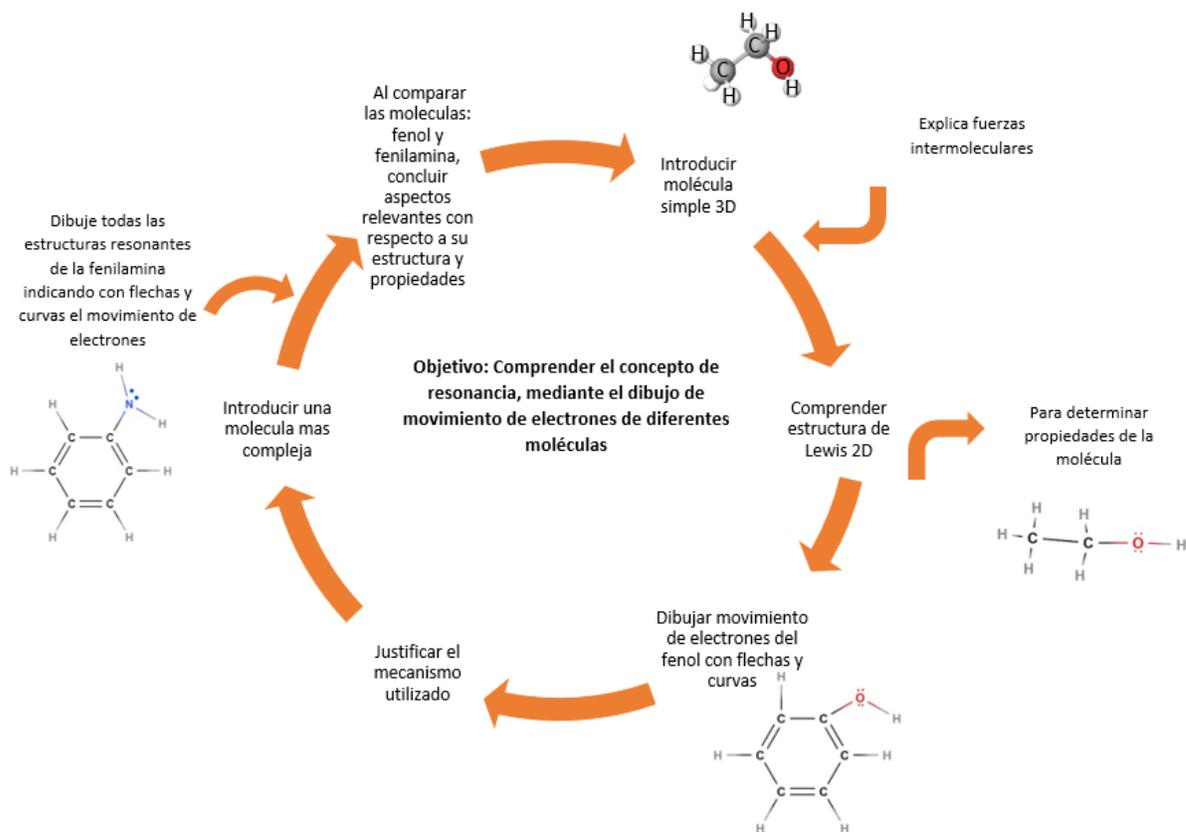


Figura 14. Propuesta de aprendizaje para el concepto de resonancia

- El ciclo inicia ingresando una molécula simple de 3D, donde se estima la estructura geométrica de la molécula implícitamente, la cual debe considerar la hibridación. Esta primera etapa serviría como introducción para explicar y/o introducir fuerzas intermoleculares.
 - ❖ Se sugiere que la molécula que inicia el ciclo tenga pares de electrones y carbonos con hibridación sp^2 , para introducir a las fuerzas intermoleculares de la molécula
- Continuamente, se les pide a los estudiantes que comprendan la estructura de Lewis en moléculas 2D, donde pueden determinar las propiedades físicas y químicas de la molécula.
 - ❖ De acuerdo con la revisión del ciclo, se propone que lo más adecuado es que se determinen solo las propiedades físicas, ya que, las propiedades químicas

- podrían ser siempre y cuando se utilicen moléculas con ácidos carboxílicos, ya que a través de ello se puede conocer el protón lábil de la molécula.
- Seguido, se les pide que dibujen el movimiento de electrones de la molécula de fenol, cabe mencionar que este movimiento de electrones debe tener presente flechas y curvas
 - ❖ Anteriormente se sugirió que durante el ciclo solo se determinarían las propiedades físicas de las moléculas. No obstante, esta sugerencia cambia drásticamente cuando hay que dibujar el movimiento de electrones de la molécula del fenol, ya que este se relaciona estrictamente con propiedades químicas de la molécula.
 - Posteriormente, se les pide a los estudiantes que justifiquen (con palabras) el mecanismo que utilizaron para realizar el movimiento de electrones de la molécula
 - Como penúltimo paso del ciclo, se ingresa una molécula más compleja que corresponde a la fenilamina donde deben indicar todas las estructuras resonantes de la molécula, mediante flechas y curvas.
 - ❖ En este paso se sugiere que se trabaje con dos moléculas para explicar el movimiento de electrones, dado que los y las estudiantes tienden a pensar que las moléculas están solas en el espacio. Además, se propone que la molécula más compleja, debería estar al inicio del ciclo.

Durante el desarrollo del ciclo no había un hilo conductor entre las etapas y el concepto que se quería abordar (resonancia), como se observa en la Figura 14 el ciclo inicia con una molécula simple 3D, introduciendo las fuerzas intermoleculares y estructura de Lewis, pero en la penúltima etapa se daba paso de inmediato a dibujar estructuras resonantes de una molécula (fenilamina), debido a esto, se propone que se integren etapas intermedias pensando en el movimiento de electrones y cargas formales con el objetivo de conectar ambas etapas.

Para que el ciclo sea más lógico con el concepto y las etapas que se abordan, lo más adecuado es utilizar moléculas con ácido carboxílicos o moléculas que posean pares de electrones libres e hibridación sp^2 , haciendo énfasis a las fuerzas intermoleculares que

presentan. De este modo para reforzar el concepto de resonancia, el ciclo se debe replicar de tres a cinco veces, priorizando la basicidad de las moléculas.

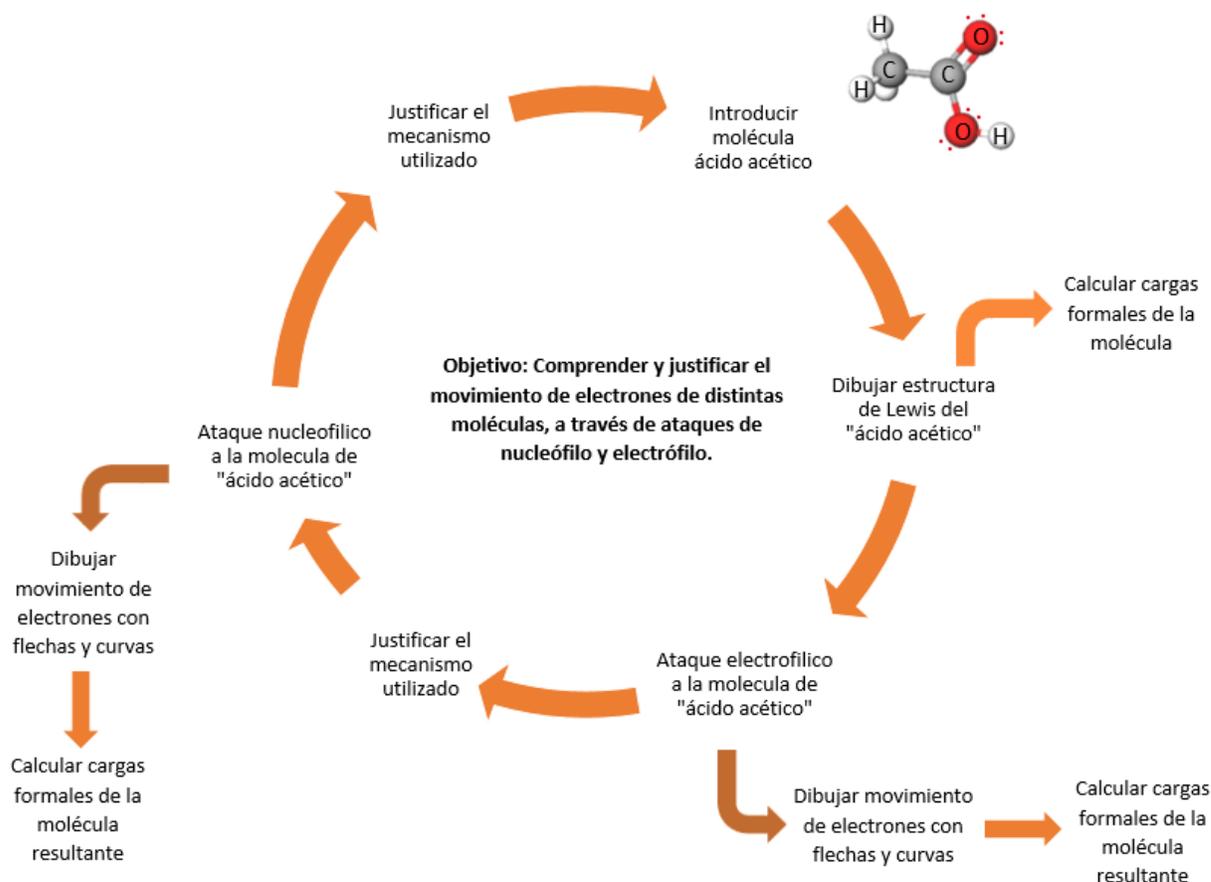


Figura 15. Propuesta de aprendizaje para el concepto de movimiento de electrones

La Figura 15 representa el ciclo de movimiento de electrones, a través de ataques de nucleófilo y electrófilo que es producto de las correcciones del ciclo de resonancia (Fig 14).

Este ciclo tiene por objetivo principal: Comprender y justificar el movimiento de electrones de distintas moléculas, a través de ataques de nucleófilo y electrófilo.

- ❖ A diferencia del ciclo de resonancia, que estaba basado en un concepto, este ciclo girará en torno a un objetivo principal para que este sea más fluido y haya coherencia entre los conceptos tratados.

- El ciclo inicia con la introducción de una molécula tridimensional de ácido acético
- A continuación, se pide a los estudiantes que dibujen la estructura de Lewis de la molécula, considerando el cálculo de las cargas formales en el ácido acético.
 - ❖ En este ciclo se incluye el concepto de cargas formales, ya que está estrictamente relacionado con la estructura de Lewis.
- Seguidamente, se les pide a los estudiantes que realicen el ataque electrofílico con ion hidronio (H_3O^+) a la molécula de ácido acético, donde deben dibujar el movimiento de electrones con flechas y curvas, considerando la carga formal de la molécula resultante, además deben justificar con sus palabras el mecanismo utilizado.
 - ❖ En este punto del ciclo se incorpora el dibujo de movimiento de electrones, ya que, es un término que debe ser dominado por los estudiantes para que posteriormente puedan entender el concepto de resonancia. También se incluye el cálculo de la carga formal de la molécula resultante para reforzar el manejo de este concepto.
- Por último, se les pide a los estudiantes que realicen el ataque nucleofílico con una molécula de agua (H_2O) a la molécula de ácido acético, donde deben dibujar el movimiento de electrones con flechas y curvas, considerando la carga formal de la molécula resultante, además deben justificar con sus palabras el mecanismo utilizado.
 - ❖ En este punto del ciclo se incorpora el dibujo de movimiento de electrones, ya que, es un término que debe ser dominado por los estudiantes para que posteriormente puedan entender el concepto de resonancia. También se incluye el cálculo de la carga formal de la molécula resultante para reforzar el manejo de este concepto.

La Figura 15 representa el ciclo de movimiento de electrones, a través de ataques de nucleófilo y electrófilo que es producto de las correcciones del ciclo de resonancia (Fig 14). Este ciclo tiene por objetivo principal: Comprender y justificar el movimiento de electrones de distintas moléculas, a través de ataques de nucleófilo y electrófilo.

- ❖ A diferencia del ciclo de resonancia, que estaba basado en un concepto, este ciclo girará en torno a un objetivo principal para que este sea más fluido y haya coherencia entre los conceptos tratados.
- El ciclo inicia con la introducción de una molécula tridimensional de ácido acético
- A continuación, se pide a los estudiantes que dibujen la estructura de Lewis de la molécula, considerando el cálculo de las cargas formales en el ácido acético.
 - ❖ En este ciclo se incluye el concepto de cargas formales, ya que está estrictamente relacionado con la estructura de Lewis.
- Seguidamente, se les pide a los estudiantes que realicen el ataque electrofílico con ion hidronio (H_3O^+) a la molécula de ácido acético, donde deben dibujar el movimiento de electrones con flechas y curvas, considerando la carga formal de la molécula resultante, además deben justificar con sus palabras el mecanismo utilizado.
 - ❖ En este punto del ciclo se incorpora el dibujo de movimiento de electrones, ya que, es un término que debe ser dominado por los estudiantes para que posteriormente puedan entender el concepto de resonancia. También se incluye el cálculo de la carga formal de la molécula resultante para reforzar el manejo de este concepto.
- Por último, se les pide a los estudiantes que realicen el ataque nucleofílico con una molécula de agua (H_2O) a la molécula de ácido acético, donde deben dibujar el movimiento de electrones con flechas y curvas, considerando la carga formal de la molécula resultante, además deben justificar con sus palabras el mecanismo utilizado.
 - ❖ En este punto del ciclo se incorpora el dibujo de movimiento de electrones, ya que, es un término que debe ser dominado por los estudiantes para que posteriormente puedan entender el concepto de resonancia. También se incluye el cálculo de la carga formal de la molécula resultante para reforzar el manejo de este concepto

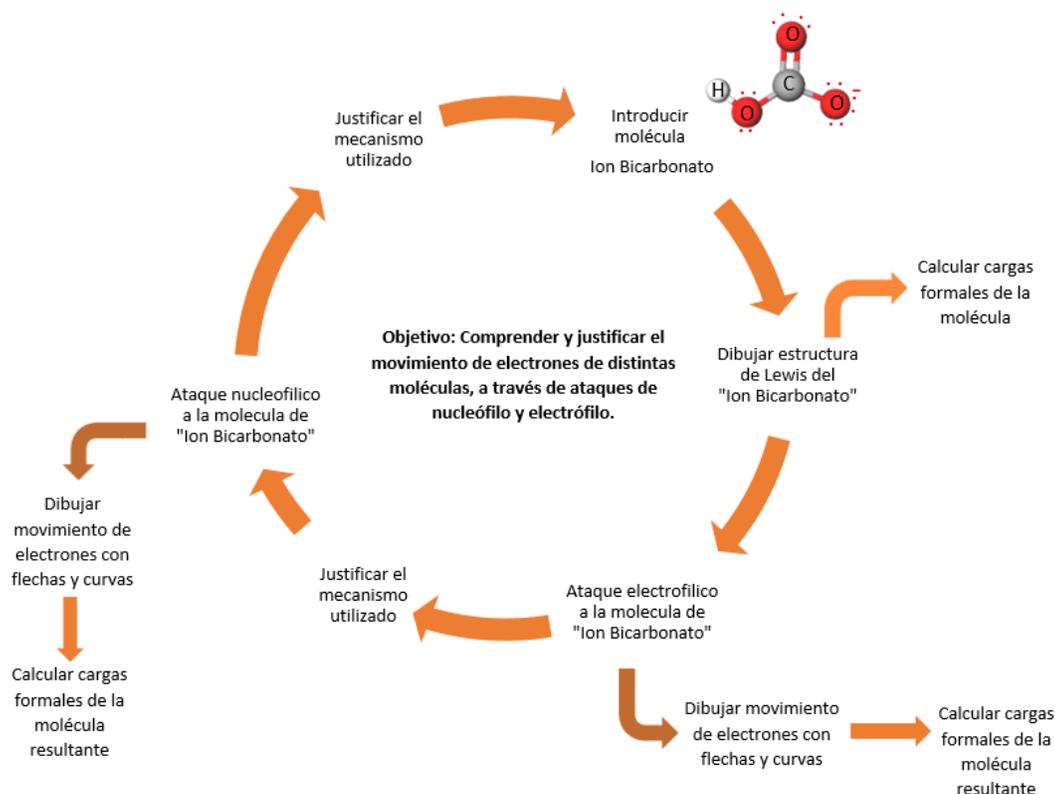


Figura 16. Propuesta de aprendizaje para el concepto de movimiento de electrones

Las figuras 15 y 16 representan una propuesta de aprendizaje de manera cíclica, que abordan el concepto de movimiento de electrones, el cual es utilizado para enseñar el tópico de ácidos y bases, y las figuras 17 y 18 representan una propuesta de aprendizaje que plantea el concepto de resonancia. Se discutirá asociando ambos tópicos; movimiento de electrones y resonancia.

Los dos ciclos que representan el movimiento de electrones (Fig. 15 y 16) inician introduciendo moléculas en 3D, las cuales fueron extraídas desde el trabajo realizado por Grove, Cooper & Rush (2012) *"Decorar con flechas: hacia el desarrollo de la competencia de representación en química orgánica"* con el propósito de que los estudiantes recauden información acerca de las propiedades macroscópicas de estas moléculas, pues en Chang y Golsby (2013) las propiedades macroscópicas funcionan como instrumentos para determinar las propiedades de las moléculas que son medidas directamente. Siguiendo el curso del ciclo, deben dibujar la estructura de Lewis de la molécula de ácido acético, como vimos en ciclos anteriores el dibujar estructura de Lewis, proporciona a los estudiantes información acerca de la relación existente entre estructura

y propiedad de la molécula, además deben realizar el cálculo de cargas formales de los átomos de la molécula.

Luego viene una serie de pasos que involucra realizar ataques nucleofílico y electrofílico a la molécula, donde deben dibujar el movimiento de electrones y justificar el mecanismo utilizado. En un estudio sobre sustituciones nucleofílicas y electrofílicas realizado por Crandell, Lockhart y Cooper (2020) demostraron que los estudiantes incluían más discusiones sobre el movimiento de electrones, después de realizar el dibujo mediante flechas curvas. Por esta razón creemos que, si se incorpora el dibujo de movimiento de electrones en la propuesta de aprendizaje, los estudiantes tendrán un pensamiento crítico al momento de justificar sus respuestas. De acuerdo con Houchlei, Bloch y Cooper (2021) *“dibujar un mecanismo permite caracterizar tanto como y por qué un sistema de reacción produce productos particulares a partir de reactivos dados”*. Al pedir a los estudiantes que justifiquen sus respuestas, deben considerar qué compuestos reaccionarían con la molécula proporcionada para hacerlo actuar como ácido o como una base (Flynn & Ogilvie, 2015).

Los alumnos con habilidades de razonamiento serán capaces de describir qué cambios están ocurriendo en una reacción, cómo ocurren estos cambios y por qué ocurren los cambios, esta capacidad implica la interpretación de representaciones simbólicas de moléculas para comprender los comportamientos implícitos, por ejemplo; qué moléculas actúan como ácidos o bases, que moléculas tendrán posibles estructuras de resonancia, cargas parciales o formales. Por lo tanto, razonar y justificar cómo y por qué interactúan las moléculas, implica considerar el movimiento de electrones, mediante flechas y curvas para la formación de nuevas estructuras (Zotos, Tyo & Shultz, 2021). De acuerdo con Grove, Cooper & Rush (2012) el empuje de flechas es una abreviatura formalizada para mostrar cómo comienzan las interacciones entre las moléculas y como cambia la densidad de electrones en el transcurso de una reacción.

La gran mayoría de los profesores de química orgánica recalca la necesidad de que los estudiantes aprendan a dibujar mecanismos para las reacciones que se están aprendiendo. Quiere decir, que puedan ser capaces de dibujar flechas desde la fuente de electrones hasta el sumidero, y que, al hacerlo también puedan predecir el resultado

de la reacción (Cooper, Kouyoumdjian & Underwood, 2016). Se espera que este mecanismo se realice mediante flechas curvas, ya que, la estructura de Lewis que aporta a un híbrido de resonancia, resulta ser más fácil de escribirlo cuando se utiliza flechas y curvas, esto es con el objetivo de prever los electrones deslocalizados en la reacción (Carey & Giuliano, 2014).

Muchas investigaciones sobre cómo los estudiantes realizan los mecanismos mediante el dibujo de movimiento de electrones han demostrado que muchos de ellos no usan las flechas curvas de forma correcta, debido a que no existe una práctica continua del dibujo durante el desarrollo del contenido (Grove, Cooper & Rush, 2012). Respondiendo a esta problemática, incluimos el dibujo de movimiento de electrones en las propuestas de aprendizaje de movimiento de electrones y resonancia (Fig. 15 y 17) para que los estudiantes puedan reforzar constantemente la práctica de dibujar flechas curvas que representan el movimiento de electrones. De esta forma creemos que podrán alcanzar mejores resultados al momento de dibujar estructuras resonantes. Se espera que una vez que los estudiantes hayan completado las etapas del ciclo de movimiento de electrones, se puedan enfrentar sin mayores problemas con las etapas que involucra el ciclo de resonancia (Fig. 17 y 18), dado que, este último solo integra como nueva etapa el dibujo de estructuras resonantes, para lo cual, los estudiantes habrán comprendido de qué forma y cómo se mueven los electrones, en la propuesta de aprendizaje de movimiento de electrones (Fig. 15 y 16). Cabe señalar que la resonancia procura corregir los defectos que puede proporcionar las fórmulas de Lewis, ya que estas señalan a los electrones como si estuvieran localizados, y es a través de este error que la resonancia distribuye a los electrones en una manera más estable (Carey & Giuliano, 2014).

En los ciclos que abordan el concepto de resonancia se trabaja con cuatro moléculas diferentes, agrupadas dos por cada ciclo y tiene por objetivo principal: comprender el concepto de resonancia, mediante el dibujo de diversas moléculas. Una molécula tridimensional inicia el ciclo, mientras que la otra molécula bidimensional se integra en etapas intermediarias del ciclo. Estas moléculas fueron seleccionadas desde la investigación realizada por Betancourt-Pérez, Olivera & Rodríguez (2010) *“Evaluación del conocimiento de los estudiantes sobre el concepto de resonancia y estructuras*

relacionadas en química orgánica”. El propósito de integrar dos moléculas en el ciclo es que los estudiantes puedan ir comparando las diferentes propiedades y estructuras de las moléculas a medida que avanzan en el ciclo, las moléculas están ordenadas de acuerdo a su complejidad, quiere decir; las moléculas del ciclo 17 son más simples que las moléculas que se presentan en el ciclo 18.

Conforme con Brandfonbrener, Watts & Shultz (2021), resonancia debe discutirse no como un concepto aparte en química orgánica, sino que, debe ser relacionado junto con otros tópicos que favorecen la comprensión de este concepto. Por ejemplo, dibujar moléculas orgánicas en 3D, contemplar sus cargas formales y geometría molecular no se contemplan como conceptos subyacentes en los libros de textos que utilizan los profesores para abordar resonancia. Creemos que estos conceptos deben enseñarse como un sistema conjugado para lograr una mejor comprensión por parte de los estudiantes.

Un estudio reciente realizado por Xue & Stains (2020) demostró que los estudiantes lograron un mayor nivel de comprensión del concepto de resonancia, si el profesor que entrega el contenido enfatiza las limitaciones de las representaciones utilizadas, pensamos que, la propuesta de aprendizaje que aborda el concepto de resonancia (Fig 17 y 18) integra algunas de las limitaciones, en cuanto a los conceptos que se deben aprender antes de entender el concepto de resonancia.

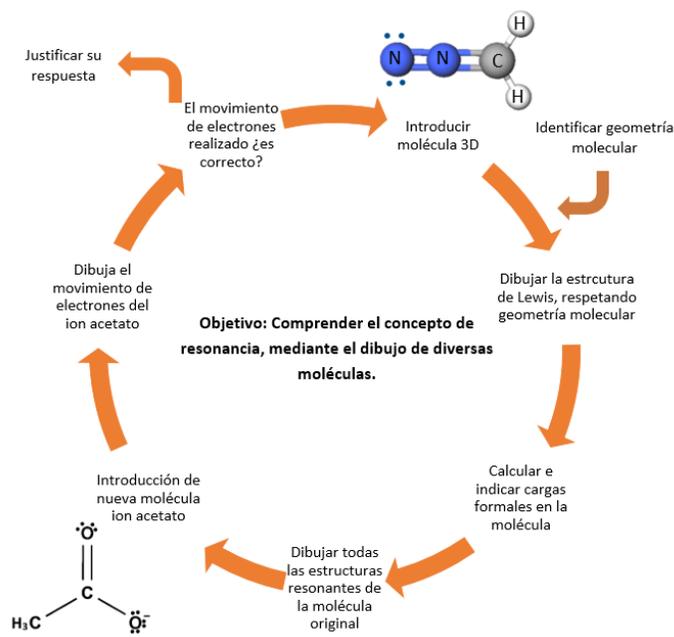


Figura 17. Propuesta de aprendizaje para el concepto de resonancia

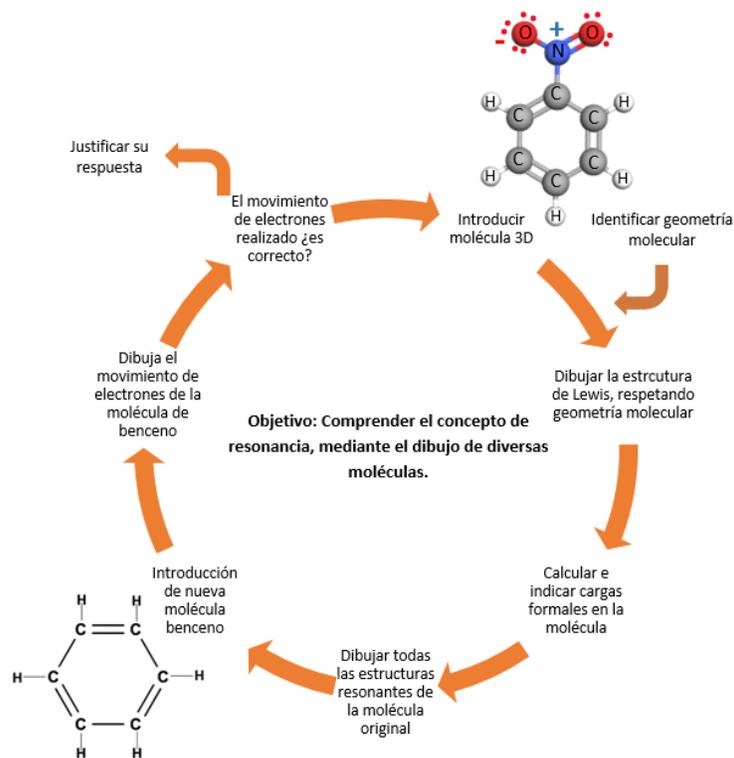


Figura 18. Propuesta de aprendizaje para el concepto de resonancia

8.5 Propuesta de aprendizaje global para la enseñanza de basicidad

La propuesta de aprendizaje de la figura 19 tiene por objetivo conjugar todos los conceptos que se trabajaron en las propuestas de aprendizajes vistas anteriormente y crear un ciclo global para favorecer el aprendizaje de la basicidad de los estudiantes que cursan química orgánica. El ciclo está guiado por una pregunta principal, ¿Cómo reconocer si una molécula es ácida o básica? la cual será respondida por los estudiantes a medida que van desarrollando las etapas del ciclo. Cabe destacar que cada uno de los pasos de esta propuesta de aprendizaje fueron extraídos de los ciclos anteriores de: modelos teóricos utilizados para la enseñanza de ácido-base, geometría molecular y su relación con propiedades macroscópicas, polaridad, movimiento de electrones y resonancia.

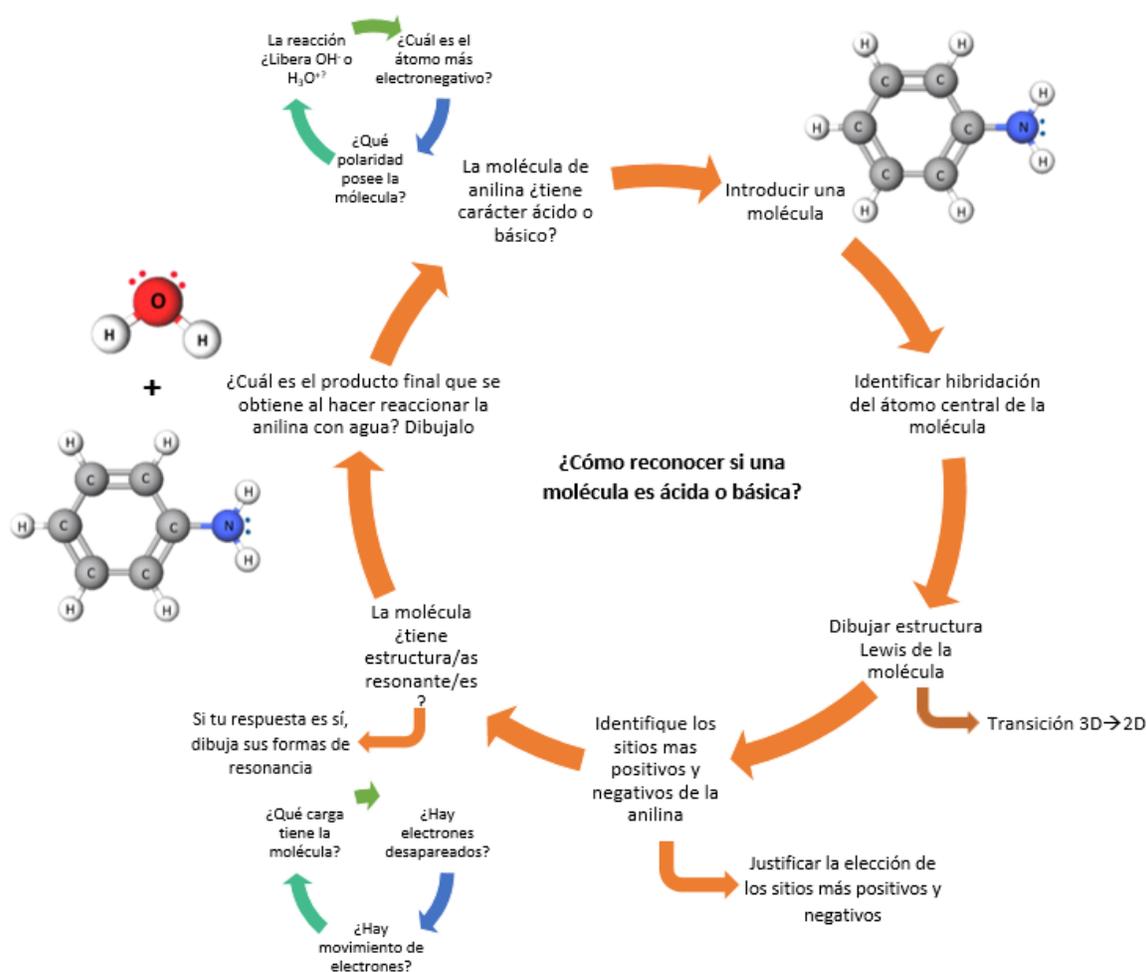


Figura 19. Propuesta de aprendizaje global para la enseñanza de basicidad

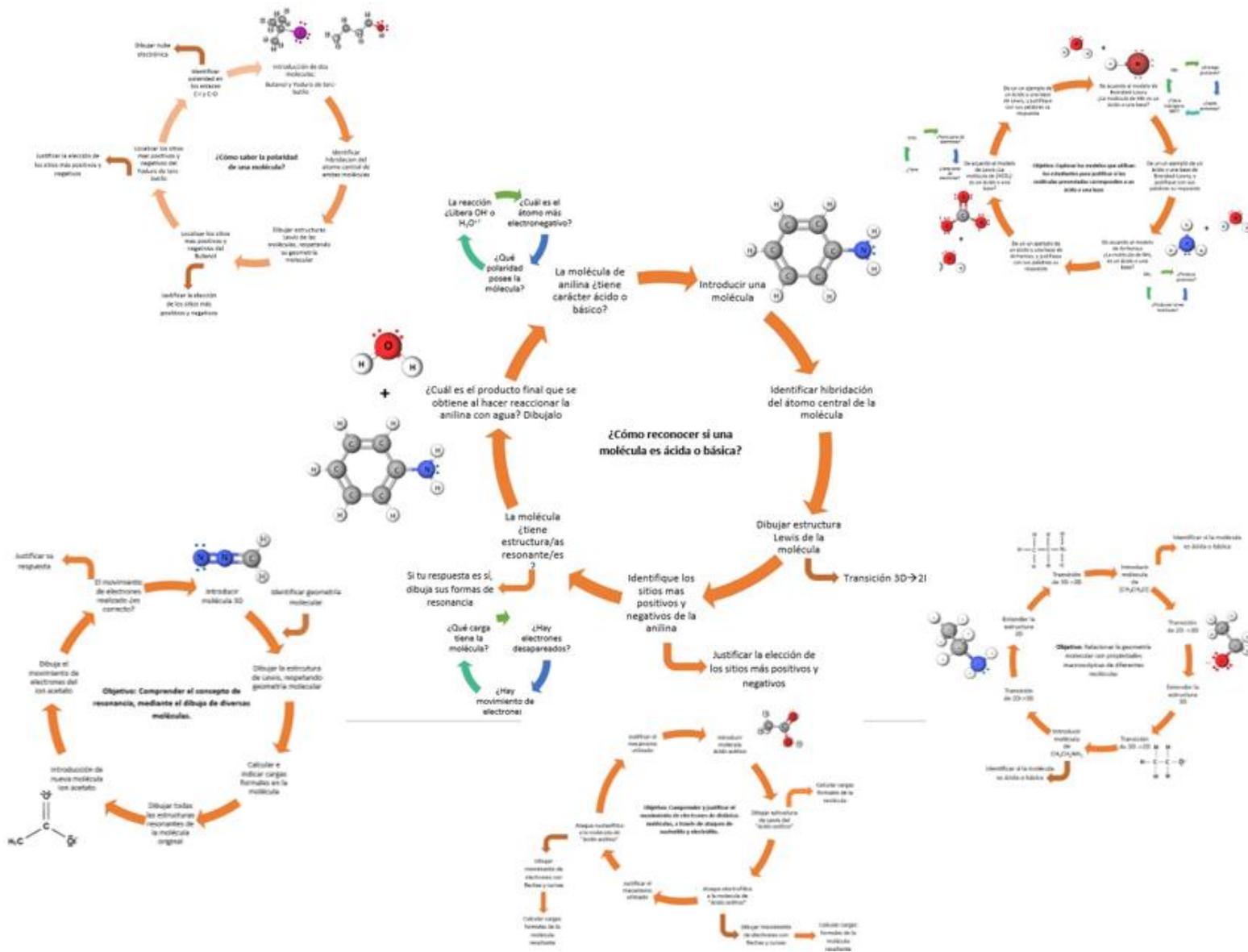


Figura 20. Vista general de las propuestas de aprendizaje

La creación de las propuestas de aprendizaje que abordan los conceptos de; modelos teóricos que se utilizan en la enseñanza del tópico de ácido-base, geometría molecular y su relación con propiedades macroscópicas, polaridad, movimiento de electrones y resonancia contribuyen a fin mayor, de proponer un ciclo global de enseñanza para que los estudiantes guiados por su profesor comprendan de mejor manera la basicidad de las moléculas en la asignatura de química orgánica.

9. Conclusión

Se ha demostrado que los modelos comúnmente utilizados en la enseñanza de ácido-base en la educación superior corresponden a: Arrhenius, Brønsted-Lowry y Lewis, y se asume que los estudiantes al finalizar un curso de química general ya conocen y comprenden estos modelos. Sin embargo, de acuerdo con la evidencia bibliográfica encontrada, se ha constatado que los alumnos con frecuencia tienen problemas para comprender la naturaleza de los modelos. Bamberger & Davis (2013) indican que, por lo general, los estudiantes tienden a entender los modelos como representaciones concretas de la realidad en lugar de herramientas para predecir y explicar. Es por ello, que creemos que para que los estudiantes posean un razonamiento basado en los modelos teóricos utilizados en la enseñanza de ácido-base, no solo deben aprender a conectar sus habilidades con el conocimiento, sino también deben ser capaces de dibujar representaciones y usarlas para predecir y justificar.

Con respecto a los modelos que favorecen la enseñanza de basicidad en estudiantes universitarios en química orgánica, el modelo de Lewis es más útil en términos de resolución de problemas para predecir los mecanismos, ya que, explica el comportamiento macroscópico de las moléculas basado en partículas subatómicas (electrones). Además, proponemos que, introducir y enfatizar el modelo de ácidos y bases de Lewis en química general resulta favorable para que los y las estudiantes posean un mejor manejo de las reacciones y conceptos, tales como; estructura de Lewis, geometría molecular, polaridad, hibridación y resonancia que se presentan en el curso de química orgánica. Este enfoque no solo ayudará al estudiantado a aprender sobre los mecanismos de reacción, sino también refuerza la idea de que el uso de un modelo teórico apropiado influye en su aprendizaje posterior.

Con respecto a la pregunta de investigación, creemos que esta propuesta de aprendizaje cíclica es favorable para el aprendizaje de basicidad en estudiantes universitarios en un contexto híbrido de educación, ya que, está basada bajo la enseñanza cíclica y una progresión de aprendizaje, que organiza los contenidos de la forma más completa posible en una asignatura. La evidencia bibliográfica de la enseñanza de la química permitió desarrollar una propuesta de aprendizaje cíclica basada en los conceptos que se utilizan

para abordar el tópico ácido-base. A través de los conceptos trabajados en cada una de las propuestas de aprendizaje desarrolladas y junto con el modelo de Lewis surge una estrategia didáctica que otorga a los estudiantes universitarios una forma articulada de aprender basicidad en química orgánica.

Bibliografía

Allinger, N. L. (1983). Química orgânica. Reverté.

Álvarez, R. M. & Yunta M. J. (2005). Química, un proyecto de la A.C.S. Reverté.

Arrhenius, S. (1903). Development of the theory of electrolytic dissociation. Nobel Lecture, December 11, Accessed on: October 18, 2007, Available at <http://www.nobel.se/chemistry/laureates/1903/arrhenius-lecture.pdf>.

Badell, T. F., Busquets, J. F., Ortega, J. L. G., Freixes, N. G., Lupianez, A. M., Díaz, M. D. P. M. & Valero, M. C. (2004). La planificación didáctica (Vol. 27). Grao.

Bain, K., Bender, L., Bergeron, P., Caballero, M. D., Carmel, J. H., Duffy, E. M., ... & Cooper, M. M. (2020). Characterizing college science instruction: The Three-Dimensional Learning Observation Protocol. *PLoS One*, 15(6), e0234640.

Betancourt-Pérez, R., Olivera, L. J., & Rodríguez, J. E. (2010). Assessment of organic chemistry students' knowledge of resonance-related structures. *Journal of chemical education*, 87(5), 547-551.

Boulter, C., & Gilbert, J. K. (2000). Challenges and opportunities of developing models in science education. In J. K. Gilbert & C. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 343–362). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.

Brandfonbrener, P. B., Watts, F. M., & Shultz, G. V. (2021). Organic Chemistry Students' Written Descriptions and Explanations of Resonance and Its Influence on Reactivity. *Journal of Chemical Education*, 98(11), 3431-3441.

Brown, T. L., LeMay Jr, H. E., Bursten, B. E., & Burdge, J. R. (2004). *Química: la ciencia central*. Pearson educación.

Brown, T. L. (2009). *Chemistry: the central science*. Pearson Education.

Carey, F. & Giuliano, R. (2014). Química Orgánica. (9ªEd.) México: McGraw-Hill.

Carr, M. (1984). Model confusion in chemistry. *Research in Science Education*, 14, 97–103.

Cartrette, D. P., & Mayo, P. M. (2011). Students' understanding of acids/bases in organic chemistry contexts. *Chemistry education research and practice*, 12(1), 29-39.

Cooper, M. M., Grove, N. P., Pargas, R., Bryfczynski, S. P., & Gatlin, T. (2009). OrganicPad: an interactive freehand drawing application for drawing Lewis structures and the development of skills in organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 10(4), 296-301.

Cooper, M. M., Grove, N., Underwood, S. M., & Klymkowsky, M. W. (2010). Lost in Lewis structures: An investigation of student difficulties in developing representational competence. *Journal of Chemical Education*, 87(8), 869-874.

Cooper, M. M., Underwood, S. M., & Hilley, C. Z. (2012). Development and validation of the implicit information from Lewis structures instrument (IILSI): do students connect structures with properties? *Chemistry Education Research and Practice*, 13(3), 195-200.

Cooper, M. M., Underwood, S. M., Hilley, C. Z., & Klymkowsky, M. W. (2012). Development and assessment of a molecular structure and properties learning progression. *Journal of Chemical Education*, 89(11), 1351-1357.

Cooper, M. M., Kouyoumdjian, H., & Underwood, S. M. (2016). Investigating students' reasoning about acid–base reactions. *Journal of Chemical Education*, 93(10), 1703-1712.

Cooper, M. M., Stieff, M., & DeSutter, D. (2017). Sketching the invisible to predict the visible: from drawing to modeling in chemistry. *Topics in cognitive science*, 9(4), 902-920.

Corcoran, T., Mosher, F.A. & Rogat, A. Learning progressions in science: An evidence based approach to reform. Consortium for Policy Research in Education Report #RR-63. Philadelphia, PA: Consortium for Policy Research in Education, 2009.

Chang, R., & Goldsby, K. A. (2013). *Chemistry*. Chemistry, 11th ed.; McGraw-Hill Education: New York, NY, USA.

Demerouti, M., Kousathana, M., & Tsaparlis, G. (2004). Acid–base equilibria, Part 1. Upper secondary students' misconceptions and difficulties. *The Chemical Educator*, 9, 122–131.

Díaz-Barriga, F. & Hernández, G. (2002). Estrategias docentes para un aprendizaje significativo, una interpretación constructivista. Segunda edición. México, DF: McGraw-Hill.

Díaz-Barriga, Á. (2013). Guía para la elaboración de una secuencia didáctica. *UNAM, México, consultada el, 10(04)*, 1-15.

Domínguez Reboiras, M. Á. (2006). Química. La ciencia básica: la ciencia básica. Editorial Paraninfo.

Drechsler M. and Schmidt H. J., (2005), Textbooks' and teachers' understanding of acid-base models use in chemistry teaching, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 6, 19-35.

Drechsler, M., & Schmidt, H.-J. (2005b). Upper secondary school students' understanding of models used in chemistry to define acids and bases. *Science Education International*, 16, 39–54.

Drechsler, M., & Van Driel, J. (2008). Experienced teachers' pedagogical content knowledge of teaching acid–base chemistry. *Research in science education*, 38(5), 611-631.

Duschl, R., Schweingruber, H., & Shouse, A. (Eds.). (2007). Taking science to school: Learning and teaching science in grades k-8. Washington, DC: National Academy Press.

Furio-Mas C, Calatayud M. L., Guisasola J. and Furio-Gomez C., (2005), How are the concepts and theories of acid-base reactions presented? Chemistry in textbooks and as presented by teachers, *Int. J. Sci. Educ.*, 27, 1337-1358.

Furió Más, C. J., & Furió, C. (2018). Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos. *Educación química*, 11(3), 300-308.

Flynn, A. B., & Ogilvie, W. W. (2015). Mechanisms before reactions: A mechanistic approach to the organic chemistry curriculum based on patterns of electron flow. *Journal of Chemical Education*, 92(5), 803-810.

Franco-Mariscal, A. J. (2020). Enseñar química: de las sustancias a la reacción química [Reseña]. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 4(1), 89-90.

Franco, J. y Melo, P. (2020). La argumentación utilizada por profesores expertos para determinar y justificar la fuerza la de una base.

Gericke N. and Drechsler M., (2006), *Are biology and chemistry models used from a 'nature of science' perspective? An analysis of Swedish textbooks*, Paper presented at the 12th IOSTE symposium, proceedings, July 2006, Penang, Malaysia, pp. 353-358.

Gispert, J. C. (2019). Estructura atómica y enlace químico. *Reverté*.

Guaman, R. Villareal, A. Cedeño, E. (2020). *La Educación Híbrida como alternativa frente al Covid -19 en el Ecuador. Revista de Investigación Científica TSE´DE*, 3(1), 134-147.

Gutiérrez, M. R., Meza, P. G., & Triana, Z. V. (2014). Una propuesta para la enseñanza de los conceptos ácido-base, a partir de un enfoque didáctico: Aprendizaje por investigación. *PPDQ Boletín*, (52).

Grove, N. P., Cooper, M. M., & Rush, K. M. (2012). Decorating with arrows: Toward the development of representational competence in organic chemistry. *Journal of Chemical Education*, 89(7), 844-849.

Hawkes, S. J. (1992). Arrhenius confuses students. *Journal of Chemical Education*, 69(7), 542.

Hernández, R. (2021). Educación híbrida: Reinención de nuestra praxis educativa en momentos de crisis. *Boletín Opiniones Iberoamericanas en Educación de la Universidad Miguel de Cervantes*, (17), 7-8. <https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:6760913419492212736/>

Houchlei, S. K., Bloch, R. R., & Cooper, M. M. (2021). Mechanisms, Models, and Explanations: Analyzing the Mechanistic Paths Students Take to Reach a Product for Familiar and Unfamiliar Organic Reactions. *Journal of Chemical Education*, 98(9), 2751-2764.

Jiménez-Tenorio, N. y Oliva, J.M^a. (2016). Aproximación al estudio de las estrategias didácticas en ciencias experimentales en formación inicial del profesorado de Educación Secundaria: descripción de una experiencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13 (1), 121-13

Johnstone, A. H. (2007). Science education: We know the answers, let's look at the problems. Proceedings of the 5th Greek Conference "Science education and new technologies in education", Vol. 1, pp. 1–11.

Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24, 369–387.

Lacreu, A. (2012). Química 1. Fundamentos. Ediciones Colihue SRL.

Lafuente, S. V. L., Azcárate, M. I. B., & Benito, B. A. (1997). Introducción a la química orgánica (Vol. 6). Publicacions de la Universitat Jaume I.

Logan, T. S. (1949). The presentation of acids and bases in textbooks. *Journal of Chemical Education*, 26(3), 149.

López, C. R. (1981). *Criterios para una evaluación formativa: Objetivos. Contenido. Profesor. Aprendizaje. Recursos* (Vol. 56). Narcea Ediciones.

Maeyer J. y Talanquer V. (2010), El papel de la heurística intuitiva en el pensamiento de los estudiantes: Clasificación de sustancias químicas, *Sci. Educ.*, 94, 963–984.

McClary L. & Talanquer V. (2011). Heuristic reasoning in chemistry: Making decisions about acid strength. *International Journal of Science Education*, 33(10), 1433-1454.

Marín, 1984; Sáenz, 1997; Schmeck, R. (1988). Learning strategies and learning styles. New York: Plenum Press. Truffello, I. y Pérez, F. (1998). Adaptation en Chile del “inventory of learning processes de Schmeck”. *Boletín de Investigación*. 15(1), 109-120.

Martínez Gómez, W. L. Un modelo para la enseñanza de ácidos y bases en grado décimo basado en la metodología de learning company. *Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales*.

Mercier, V. B., Scholten, U., Baltensperger, R., Gremaud, L., & Dabros, M. (2021). Distance Teaching in Chemistry: Opportunities and Limitations. *CHIMIA International Journal for Chemistry*, 75(1-2), 58-63.

Nakhleh, M. B. (1994). Students models of matter in the context of acid–base chemistry. *Journal of Chemical Education*, 71, 495–499.

Oversby, J. (2000). Models in explanations of chemistry: The case of acidity. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 227–251). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.

Paik, S. H., Kang, N. H., & Sin, E. J. (2014, December). Korea secondary preservice teachers' understanding of learning difficulties in acid and base models: reflections through nature of science lessons. In *IHPST Asian Regional Conference, Taipei, Taiwan, Dec* (pp. 4-6).

Paik, S. H. (2015). Understanding the relationship among Arrhenius, Brønsted–Lowry, and Lewis theories. *Journal of chemical education*, 92(9), 1484-1489.

Pulukuri, S., Torres, D., & Abrams, B. (2021). OrgoPrep: A Remote Peer-Led Summer Program Preparing Students for Organic Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 98(10), 3073-3083.

Pulgar, J. A., & Sánchez, I. R. (2014). Impacto de un programa de renovación metodológica en las estrategias cognitivas y el rendimiento académico en cursos de física universitaria. *Formación universitaria*, 7(5), 3-14.

Phillips, D. (1995). The good, the bad, and the ugly: The many faces of constructivism. *Educational Researcher*, 24(7), 5– 12.

Prince Torres, Ángel Carmelo. (2021). Aulas híbridas: Escenarios para transformación educativa dentro de la nueva normalidad. *Podium*, (39), 103-120. Epub 28 de junio de 2021. <https://doi.org/10.31095/podium.2021.39.7>

Rayner-Canham, G. (1994). Concepts of acids and bases. *Journal of College Science Teaching*, 23, 246–247.

Rosas, M., & Jiménez, P. (2009). Efectividad de las estrategias de enseñanza de la comprensión de textos escritos: Un estudio de caso. *Revista signos*, 42(71), 409-427.

Ross, B. & Munby, H. (1991). Concept mapping and misconceptions – A study of high-school-students understanding of acids and bases. *International Journal of Science Education*, 13, 11–23.

Sánchez, I.R. (2001). Validación de una metodología basada en actividades de aprendizaje con técnicas creativas para estudiantes universitarios. *Journal of Science Education*, 2(2), 86-90.

Sánchez, I.R; Moreira, M.A. y Caballero M.C. (2009). Implementación de una propuesta de aprendizaje significativo de la cinemática a través de la resolución de problemas. *Ingeniare. Rev. chil. ing.* [online]. 17(1). 27-41.

Sánchez I.R. (2012). Evaluación de una Renovación Metodológica para un Aprendizaje Significativo de la Física. *Revista Formación Universitaria*, 5(5), 51-65

Santana, M. D. (2004). Química Para El Acceso a Ciclos Formativos de Grado Superior. MAD-Eduforma.

Schmidt, H.-J., & Volke, D. (2003). Shift of meaning and students' alternative concepts. *International Journal of Science Education*, 25, 1409–1424.

Shaffer A. A., (2006), Let us give Lewis acid-base theory the priority it deserves, *J. Chem. Educ.*, **83**, 1746-1749.

Stevens SY, Delgado C. y Krajcik JS, (2010), Desarrollando una progresión hipotética de aprendizaje multidimensional para la naturaleza de la materia, *J. Res. Sci. Enseñe.*, 47, 687–715.

Stieff, M. (2011). ¿Cuándo es una molécula tridimensional? Un papel específico de la tarea para el razonamiento imaginativo en química avanzada. *Educación científica*, 95 (2), 310 - 336.

Stowe, R. L., Herrington, D. G., McKay, R. L., & Cooper, M. M. (2019). The Impact of Core-Idea Centered Instruction on High School Students' Understanding of Structure–Property Relationships. *Journal of Chemical Education*, 96(7), 1327-1340.

Sykes, P. (1985). Mecanismos de reacción en química orgánica. *Reverté*.

Talanquer, V. (2010). Construyendo puentes conceptuales entre las varias escalas y dimensiones de los modelos químicos. *Educación química*, 11-18.

Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: the many faces of the chemistry “triplet”. *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195.

Talanquer, Vicente. (2013). Progresiones de aprendizaje: promesa y potencial. *Educación química*, 24(4), 362-364. Recuperado en 07 de diciembre de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2013000400001&lng=es&tlng=es.

Tobón, S. T., Prieto, J. H. P., & Fraile, J. A. G. (2010). Secuencias didácticas: aprendizaje y evaluación de competencias (Vol. 1, p. 216). México: *Pearson educación*.

Villalobos, E. M. (2003). Educación y estilos de enseñanza (Vol. 4). Publicaciones Cruz O., SA.

Wang, C. Y., & Barrow, L. H. (2013). Exploring conceptual frameworks of models of atomic structures and periodic variations, chemical bonding, and molecular shape and polarity: a comparison of undergraduate general chemistry students with high and low

levels of content knowledge. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(1), 130-146.

Weininger, S. J., & Stermitz, F. R. (1988). *Química orgánica*. Reverté

Wilensky, U. (2003). Química conectada: incorporación de simulaciones interactivas en el aula de química. *Revista de Educación y Tecnología Ciencias*, 12 (3), 285 - 302.

Wilson J. M., (1998), Differences in knowledge networks about acids and bases of year 12, undergraduate, and postgraduate chemistry students, *Res. Sci. Educ.*, 28, 429-446.

Xue, D., & Stains, M. (2020). Exploring students' understanding of resonance and its relationship to instruction. *Journal of Chemical Education*, 97(4), 894-902.

Yik, B. J., Dood, A. J., de Arellano, D. C. R., Fields, K. B., & Raker, J. R. (2021). Development of a machine learning-based tool to evaluate correct Lewis acid–base model use in written responses to open-ended formative assessment items. *Chemistry Education Research and Practice*, 22(4), 866-885.