



UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO

FACULTAD DE EDUCACIÓN Y HUMANIDADES

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

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

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

**LA ARGUMENTACIÓN UTILIZADA POR PROFESORES EXPERTOS PARA
DETERMINAR Y JUSTIFICAR LA FUERZA DE UNA BASE**

AUTORAS: FRANCO ROMERO, JAVIERA IGNACIA

MELO ESPINOZA, PAULA CATALINA

Profesores guías: Ahumada Gutiérrez, Hernán Raúl

Moreno Osorio, Luis Eduardo.

CHILLÁN 2020

Resumen

Existe un vacío de conocimiento sobre cómo los profesores expertos enseñan el tópico ácido-base en química. Esta brecha investigativa se acentúa aún más cuando se trata únicamente de las bases y de las concepciones alternativas que hay entorno a ellas. Se realizó un estudio cualitativo de tipo exploratorio y su principal objetivo es describir los argumentos que utilizan los académicos para determinar y justificar la fuerza de una base al momento de ordenar un set de moléculas de las más básica a la menos básica. Para lo anterior se entrevistaron mediante videollamada a 4 profesores expertos de distintas universidades chilenas que poseen grado académico de Doctor en Ciencias con mención en Química o en Productos Naturales y se les aplicó un test que incluye seis preguntas donde en las primeras cinco se debe ordenar un set de dos o tres moléculas de mayor a menor comportamiento básico, y en la pregunta seis se debe determinar el átomo más básico de la molécula de Atenolol. Los resultados muestran una subordinación de la basicidad a la acidez, lo que se puede observar cuando los profesores hacen uso de la célebre oración “*Mientras más ácido, menos básico*”, o viceversa. Por otra parte, el concepto más utilizado al momento de determinar y justificar la molécula más básica es “Resonancia”. Nuestros resultados sugieren la necesidad inminente de generar estudios en torno al conocimiento del contenido pedagógico de los docentes universitarios y nace también el menester de incorporar en las explicaciones de los académicos el uso de justificaciones correctamente elaboradas, es decir, secuenciadas y fundamentadas coherentemente.

Palabras clave: profesores expertos, basicidad, acidez, argumentación, fuerza acida, fuerza básica.

Índice General

Introducción	7
Marco teórico	10
2.1. Investigación Cualitativa	10
2.2. Investigación en Educación basada en la Disciplina (DBER) sobre ciencia, tecnología, ingeniería y matemática (STEM)	11
2.3 Marcos Analíticos sobre la Argumentación empleados por Investigadores en Educación de las Ciencias	12
2.3.1. Estructura a través de los marcos analíticos	15
2.3.2. Contenido a través de los marcos analíticos	16
2.3.3. Justificación a través de los marcos analíticos	17
2.4. Conceptos sobre Teoría Química	20
2.5. Teorías Ácido-Base	23
2.5.1. Ácidos y Bases: la perspectiva de Arrhenius	23
2.5.2. Ácidos y Bases: la perspectiva de Bronsted-Lowry	24
2.5.3. Ácidos y Bases de Lewis	27
2.6. ¿Por qué usamos distintos modelos ácido-base?	27
3. Objetivos y Pregunta de Investigación	31
4. Metodología	32
4.1. Participantes	32
4.2. Instrumentos de Investigación	32
4.3. Recolección de Información	33
4.4. Análisis de Información	33
5. Resultados	39
5.1. Pregunta de Exploración	39
5.1.1. Categoría 1 : Conceptos sobre Teoría Química	39
5.1.2 Categoría 3: Recursos Adicionales complementarios a la justificación	43
5.2. Pregunta 2 de Entrevista	44
5.2.1. Categoría 1: Conceptos sobre Teorías Químicas	44
5.2.2. Categoría 2 : “Secuenciación de los Conceptos sobre Teoría Química”	46
5.2.3. Categoría 3: Recursos Adicionales complementarios a la justificación	47
5.3. Pregunta 3 entrevista	49

5.3.1. Categoría 1: Conceptos sobre Teorías Químicas	49
5.3.2. Categoría 2: “Secuenciación de los Conceptos sobre Teorías Químicas ” (Figura)	52
5.3.3. Categoría 3: Recursos Adicionales complementarios a la justificación	52
5.4. Pregunta 4 entrevista	53
5.4.1. Categoría 1: Conceptos sobre Teorías Químicas	53
5.4.2. Categoría 2: “Secuenciación de los Conceptos sobre Teorías Químicas” (Figura)	56
5.4.3. Categoría 3: Recursos Adicionales	57
5.5. Pregunta 5 entrevista	58
5.5.1. Categoría 1: Conceptos sobre Teoría Química	59
5.5.2. Categoría 2: “Secuenciación de los Conceptos sobre Teoría Química” (Figura)	61
5.5.3. Categoría 3: Recursos Adicionales	63
5.6. Pregunta 6 de Integración	65
5.6.1. Categoría 1: Conceptos sobre Teorías Químicas	65
5.6.2. Categoría 3: Recursos Adicionales complementarios a la justificación	70
6. Discusión	73
6.1. Análisis comparativo y descriptivo de la Categoría 1 y 2 sobre conceptos de teorías químicas y su secuenciación.	73
6.2. Análisis comparativo y descriptivo de la Categoría 3 sobre recursos adicionales.	83
6.3. Análisis comparativo y descriptivo de la Pregunta de Integración	89
7. Conclusión	98
8. Referencias	101
9. Anexos	108
Anexo 1 “Test de moléculas básicas en Química”	108
Anexo 2 “Transcripciones Entrevistas”	109
Pregunta 1	143
Pregunta 2	121
Pregunta 3	125
Pregunta 4	129
Pregunta 5	134
Pregunta 6	143
Anexo 3 “Ejemplo de Elaboración Representación Visual”	154
Anexo 4 “¿Cómo leer las representaciones visuales?”	156

Índice de Figuras

Figura 1. Modelo de niveles epistémicos para el análisis de los argumentos científicos de estudiantes.	19
Figura 2. Red semántica de un estudiante basado en el modelo de niveles epistémicos.	20
Figura 3. Constante de disociación y pKa de un ácido.	23
Figura 4. Ácido y base de Bronsted-Lowry.	24
Figura 5. Constante de disociación de un ácido.	24
Figura 6. Constante de disociación básica.	26
Figura 7. Ácido y Base de Lewis.	27
Figura 8. Set de moléculas pregunta 1 inicial.	39
Figura 9. Equilibrio de disociación del set de moléculas.	43
Figura 10. Ecuación de disociación de un ácido.	43
Figura 11. Set de moléculas pregunta 2.	44
Figura 12. Representación Visual pregunta 1.	46
Figura 13. Movimiento de los electrones del Nitrógeno.	47
Figura 14. Movimiento de los electrones del Nitrógeno.	47
Figura 15. Reacción de protonación de las aminas.	48
Figura 16. Movimiento de los electrones del Nitrógeno.	48
Figura 17. Set de moléculas pregunta 3.	49
Figura 18. Representación Visual pregunta 3.	51
Figura 19. Set de moléculas pregunta 4.	53
Figura 20. Representación Visual pregunta 4.	56
Figura 21. Dibujo de fechas y deltas de la molécula A.	57
Figura 22. Dibujo de flechas y deltas de la molécula B.	57
Figura 23. Dibujo de flecha de la molécula B.	57
Figura 24. Set de moléculas pregunta 5.	58
Figura 25 a. Representación visual Profesor experto F pregunta 5.	61
Figura 25 b. Representación visual Profesor experto G pregunta 5.	62
Figura 25 c. Representación visual Profesor experto H pregunta 5.	62
Figura 25 d. Representación visual Profesor experto I pregunta 5.	63
Figura 26. Orbitales de la molécula C.	63
Figura 27. Orbital del par de electrones del Nitrógeno.	64

Figura 28. Efecto inductivo de las aminas.	64
Figura 29. Molécula pregunta 6.	65
Figura 30. Movimiento del par de electrones del nitrógeno.	70
Figura 31. Deslocalización del par de electrones del nitrógeno.	70
Figura 32. Híbrido de resonancia.	70
Figura 33. Movimiento de electrones.	71

Índice de Tablas

Tabla 1. Categorías de análisis.	33
Tabla 2. Ejemplo de transcripción y resumen descriptivo del discurso del profesor experto F pregunta 2.	35

1. Introducción

Para el aprendizaje de la química se requiere desarrollar la habilidad de construir inferencias acerca del valor relativo de las propiedades químicas o físicas de una sustancia química. Hacerlo de forma correcta implica conjugar las características composicionales y estructurales de la sustancia junto con los modelos y principios de la química (McClary L. & Talanquer V., 2011).

Según Shah & Oppenheimer (2008), esta habilidad es de alta demanda cognitiva y consta de los siguientes pasos:

- Identificar señales relevantes.
- Recordar y almacenar los valores apropiados de cada señal
- Evaluar el peso de cada señal.
- Integrar información de todas las posibles alternativas.
- Comparar estas alternativas para hacer un juicio final.

Por lo anterior, las estrategias de razonamiento de los estudiantes han sido tema central para los investigadores en educación con el propósito de construir metodologías que permitan el aprendizaje significativo y desarrollar la habilidad de elaborar inferencias científicamente correctas (McClary L. & Talanquer V., 2011).

El tópico ácido-base posee un rol central en el currículo de la química donde la toma de decisiones en cuanto a reactividad y mecanismos de reacción requieren de un razonamiento complejo (Bhattacharyya, 2006). En este sentido, McClary y Talanquer (2011) sugieren que para que los estudiantes desarrollen este tipo de razonamiento se deben invertir mayores esfuerzos en el nivel universitario, un primer paso sería eliminando los enfoques tradicionales sobre la enseñanza del tópico ácido-base debido a su ineffectividad.

Existen bastantes estudios en torno a las concepciones sobre acidez, fuerza ácida y factores que afectan la fuerza de un ácido (Bhattacharyya G., 2006; Tumay H., 2016; McClary L. & Bretz S. 2012, 2015; McClary L. & Talanquer V., 2010,2011,2014), en los cuales se demuestra que los estudiantes no alcanzan el nivel de integración conceptual necesario para hacer inferencias correctamente. Por otro lado, luego de una extensa revisión literaria no se hallaron estudios específicos en torno a las concepciones sobre basicidad, fuerza básica o factores que afectan la fuerza de una base. Sin embargo, Drechsler y Van Driel (2008), estudiaron el *Conocimiento del Contenido Pedagógico (PCK)* en 9 profesores expertos en la enseñanza del tópico ácido- base, y dos de ellos indicaron que las bases eran más difíciles de entender que los ácidos y que solo las sustancias que contenían un ion hidróxido eran consideradas como bases por sus estudiantes.

Banerjee (1991) encontró que las concepciones erradas eran similares entre profesores y estudiantes en relación a la predicción de las condiciones de equilibrio, aplicando los principios de equilibrio a la vida cotidiana, al tópico ácido-base y a las soluciones iónicas en agua. Bajo esta perspectiva, tampoco existe suficiente conocimiento sobre cómo los profesores expertos enseñan ácido- base (Drechsler M. & Van Driel J., 2008). Por lo mismo, Carr (1984) advierte que la raíz de las dificultades de los estudiantes, sobre el tópico ácido-base, podría estar relacionado a los modelos utilizados por el profesor y en los libros de química que presentan el modelo ácido-base de Arrhenius y el de Brønsted sin una mayor discusión sobre sus diferencias. Todo lo anterior resulta en el uso, por parte de profesores y estudiantes, de modelos incoherentes sobre ácido-base los cuales son difíciles de enseñar y aprender (Drechsler M. & Van Driel J. , 2008).

Baron (1994) señala que la forma de razonar de un experto, difiere cualitativamente del razonamiento del estudiante hasta el punto de que el experto no percibe el grado de dificultad que significa desarrollar la tarea para el estudiante. El autor menciona que una característica de los expertos es poseer un dominio sobre el conocimiento coherente y bien organizado; también los expertos se percatan de componentes y patrones importantes de información que no son advertidos por los estudiantes,

además que cuentan con un amplio conocimiento del contenido que refleja un entendimiento profundo de su disciplina y no pueden reducir su conocimiento en fragmentos separados, pero si lo pueden condicionar según las circunstancias; y finalmente, los expertos pueden evocar parte de su conocimiento sin un esfuerzo mayor, rescatando señales importantes de la tarea a desarrollar, mientras que los estudiantes se atascan en niveles superficiales de la tarea acudiendo a la memoria de corto plazo. Las diferencias se acentúan aún más cuando se debe tomar una decisión sopesando la información de múltiples fuentes (Donovan, et al., 2000).

Debido a que no existen estudios específicos sobre el razonamiento utilizado para predecir el comportamiento de una base en los estudiantes y la evidencia que existe sobre cómo el conocimiento de los estudiantes se ve afectado por las prácticas tradicionales en la enseñanza de la química (Carr, 1984; Drechsler & Van Driel , 2008); la presente investigación analiza las justificaciones que utilizan los profesores expertos de química orgánica en niveles universitarios, específicamente doctores en el área, para determinar y justificar la fuerza relativa de una base. El objetivo principal es describir las justificaciones que utilizan los participantes de este estudio, identificando los conceptos sobre teoría química contenidos en las justificaciones, además de cómo estos son secuenciados y complementados con recursos adicionales.

2. Marco teórico

2.1. Investigación Cualitativa

A lo largo de la Historia de la Ciencia se han desarrollado varios tipos de investigaciones, las cuales tienen como objetivo la generación de conocimiento, a través de la producción de nuevas ideas; y la solución de problemas prácticos (Manterola C. & Otzen T., 2013). Dentro de estas investigaciones podemos encontrar diferentes tipos de paradigmas, como la investigación cuantitativa, la cual se basa en la recolección de datos para probar una hipótesis, a partir de la medición numérica y el análisis estadístico (Hernández R., Fernández C. & Baptista M., 2010). Otro tipo de paradigma es la investigación cualitativa que según Cataño & Quecedo (2003) es un proceso inductivo y empírico, que sirve para explorar y describir datos, los cuales se ordenan y clasifican, generando constructos y categorías específicas que surgen de la conceptualización de las experiencias y concepciones de los participantes del estudio. Y por último podemos encontrar la investigación mixta, la que mezcla o combina métodos, enfoques y conceptos del paradigma cuantitativo y cualitativo (Hernández R., Fernández C. & Baptista M., 2010).

El presente estudio adopta un enfoque cualitativo debido a los objetivos que posee, además de estar planteado dentro del área de educación; como señala Cerrón (2019):

“La investigación cualitativa se configura de manera pertinente para la Educación. Permite aplicar y proponer mejoras continuas a la estructura de la realidad social emergente de la formación de estudiantes, docentes y comunidad educativa. Se soporta en la transferencia, producción concreta de conocimientos, ideas, acciones, materiales, las que necesariamente a partir de la revitalización se corrigen, rectifican, modifican, superan y renuevan.”

A todo lo anterior se suma el carácter exploratorio de la presente investigación, puesto que aborda campos poco conocidos, y el problema, que apenas se distingue,

debe ser dilucidado y delimitado (Jiménez R. 1998). También es un estudio descriptivo, porque se busca especificar las propiedades y características de la muestra en análisis (Hernández R., Fernández C. & Baptista M., 2010).

2.2. Investigación en Educación basada en la Disciplina (DBER) sobre ciencia, tecnología, ingeniería y matemática (STEM)

A continuación, se sintetiza el análisis llevado a cabo por Vicente Talanquer (2014) en cuanto a las futuras direcciones de las DBER junto con la necesidad de ampliar y entregarle mayor relevancia a este tipo de estudio en las áreas STEM.

Vicente Talanquer (2014) señala que las investigaciones sobre enseñanza y aprendizaje en el área de educación de la ciencia, tecnología, ingeniería y matemática (STEM) han ido en aumento, al igual que su calidad y visibilidad. Los estudios no tan solo han involucrado a los estudiantes y sus profesores, sino que se han diversificado en varias direcciones.

El entendimiento de conceptos transversales como *energía, equilibrio y variabilidad*; junto con la aplicación de prácticas científicas, como el modelamiento y la argumentación, permiten la comprensión de varias ideas centrales en ciencia (NRC, 2012). Dichos conceptos y prácticas son intencionados de distintas maneras en las áreas STEM, obligando a los estudiantes a conciliar las distintas conceptualizaciones por su cuenta. Debido a lo anterior, el autor destaca que es importante la integración conceptual a través de las distintas áreas de la ciencia, por lo que surge la necesidad de una permanente y continua colaboración entre especialistas mediante las Investigaciones en Educación basadas en la Disciplina (DBER), cuyos resultados son útiles para reformas curriculares y de evaluación en el nivel universitario que den un paso más allá en los vínculos interdisciplinarios tradicionales. Coppola y Krajcik (2013) señalan que los resultados de investigaciones y colaboraciones como las anteriormente mencionadas, podrían entregar directrices importantes sobre cómo se indaga y se construye argumentos y explicaciones a través de las distintas disciplinas.

Comprender cómo los conceptos y las habilidades son interpretadas en las distintas disciplinas STEM, podría ser el inicio para lograr una mejor integración conceptual y de prácticas científicas transversales a las distintas áreas. Lo anterior requiere una profunda reflexión de cómo los conceptos y prácticas son utilizadas en cada disciplina para elaborar explicaciones y hacer predicciones.

En el estudio de Bhattacharyya and Bodner (2014) se identificó y caracterizó los tipos de actividades que aportan al desarrollo epistémico en distintos niveles de un curso de química orgánica. Se halló que los estudiantes estaban fuertemente influenciados por la retroalimentación llevada a cabo por los más conocedores en el área. Los resultados de este estudio sólo refuerzan la necesidad de crear ambientes de aprendizajes en el cual los estudiantes se vean envueltos en actividades guiadas científicamente auténticas. El problema es cómo crear ese ambiente en cursos universitarios de gran cantidad de estudiantes.

Henderson y Dancy (2007) señalan que pocas investigaciones se han enfocado en analizar el conocimiento, pensamiento y aprendizaje del instructor. Talanquer señala que las causas de esto son múltiples. Los instructores de universidad en áreas STEM son expertos y su conocimiento acerca del contenido es poco cuestionado y explorado; muchos de ellos no son pedagogos y sus creencias sobre cómo enseñar se basan en experiencias personales y expectativas profesionales de su campo. Muchos instructores en el nivel universitario poseen como principal estrategia de enseñanza la lectura, y su conocimiento y creencias sobre enseñar son percibidas como *estrechas, monolíticas, altamente predecibles y resistentes al cambio*. De esta forma nace la necesidad de entender la naturaleza del conocimiento del contenido pedagógico de los instructores universitarios.

2.3 Marcos Analíticos sobre la Argumentación empleados por Investigadores en Educación de las Ciencias

Los profesores del área científica se enfrentan frecuentemente a las dificultades que posee la generalidad del alumnado al momento de expresar y organizar varias ideas

para justificar una afirmación; y que a su vez, dicha justificación se caracterice por su precisión, estructuración y coherencia científica. La investigación empírica y teórica en educación científica ha demostrado el rol fundamental que cumple la elaboración y evaluación de argumentos en la ciencia y en la educación científica (Lemke J., 1990; Osborne J., 2002). Sardá y Sanmartí (2000) señalan las dificultades de los estudiantes al momento de diferenciar términos de uso científico y de uso cotidiano; además de que su discurso o escritura suele ser largo y redundante o corto pero carente de justificaciones.

Es complejo conocer la causa de las dificultades de los estudiantes al momento de argumentar, pueden deberse a una mala comprensión de los conceptos necesarios para responder a la demanda o a un bajo dominio del género lingüístico correspondiente a esta. Para construir un argumento científico es necesario reconocer las variadas maneras de expresar un mismo significado, diferenciar entre el lenguaje cotidiano y el científico, y las principales características de cada tipo de discurso (Sardá, A. y Sanmartí, N., 2000).

Lemke (1997) identifica dos patrones dentro del discurso científico, primero el *patrón temático*, referido al contenido científico, el cual evoluciona desde las interpretaciones hasta conceptos y modelos teóricos, pasando desde un lenguaje coloquial a un lenguaje científico, y el *patrón estructural* referido al tipo de discurso, en términos de estructura (analogías, metáforas, silogismos, etc.) y de género (descripción, justificación, argumentación, etc.). De acuerdo a lo que Lemke señala, el patrón estructural varía según el contexto, debido a que primero se debe convencer a la comunidad científica para luego comunicar a la sociedad en general.

El lenguaje empleado inicialmente en la argumentación es personal, es decir, se hace bastante uso de analogías y metáforas, además de que el propósito del razonamiento utilizado es especulativo y persuasivo. Mientras que cuando las ideas están fundamentadas, el lenguaje cambia, se hace más formal, impersonal, preciso y riguroso (Sutton C., 1997). De acuerdo con Driver y Newton (1997), aprender a elaborar afirmaciones y argumentos, estableciendo relaciones coherentes al momento de interpretar un fenómeno, es una forma de acercarse a la epistemología

de la ciencia, es decir, reconocer la ciencia como un proceso y no como un producto final.

Sardá y Sanmartí (2000) señalan que se han elaborado distintos modelos sobre qué elementos deben constituir una argumentación y cómo estos deben ser secuenciados. Los autores estudian la *secuencia textual*, identificando los conectores explícitos e implícitos, presentes en el texto, utilizados para relacionar los componentes de un argumento. Además, señalan que si el texto carece de ellos se dificulta la lectura y el reconocimiento de una estructura lógica.

Sampson y Clark (2008) elaboraron una revisión que aporta una descripción general en torno a los marcos analíticos empleados por los investigadores en educación de las ciencias para evaluar y caracterizar la calidad y naturaleza de los argumentos científicos construidos por estudiantes. Los siguientes párrafos sintetizan la revisión literaria llevada a cabo por Sampson y Clark.

Los autores definen el concepto “argumento” como los mecanismos creados por un estudiante cuando se les pide articular y justificar ideas, y se refiere al término “argumentación” como el proceso de construcción de estos mecanismos. En la revisión se destacan las limitaciones y posibilidades de cada uno de los marcos analíticos, comparándolos unos con otros, y se somete un argumento de muestra a cada enfoque. Sampson y Clark estructuran la revisión basándose en tres aristas que son comunes en los marcos teóricos y relevantes para los investigadores:

1. Estructura o complejidad del argumento: componentes de un argumento.
2. Contenido del argumento: precisión y adecuación desde una perspectiva científica.
3. Naturaleza de la justificación: como las ideas o afirmaciones son apoyadas o validadas en un argumento.

Sampson y Clark menciona seis marcos analíticos que categoriza en los de Dominio General, donde se encuentra el de Toulmin (1958) y el de Schwarz y colegas (2003), y en los de Dominio específico, donde hallamos el de Zohar y Nemet (2002), el de

Kelly y Takao (2002, 2003), el de Lawson (2003), finalmente el de Sandoval junto a Millwood (2003, 2005).

El análisis de los marcos analíticos nombrados en el párrafo anterior es elaborado en torno a la taxonomía básica de estructura, contenido y justificación abordando las posibilidades y limitaciones de cada uno de ellos.

2.3.1. Estructura a través de los marcos analíticos

La gran mayoría de los marcos revisados describen la estructura de un argumento en términos de reclamaciones y justificaciones. Los componentes de las “reclamaciones” son simples y parecidos en casi todos los enfoques. Algunos hablan específicamente de reclamaciones (e.g., Toulmin), mientras otros hablan de afirmaciones (e.g., Schwarz et al.) o explicaciones (e.g., Lawson & Sandoval), pero la mayoría convergen en que dichas “Afirmaciones” requieren de justificaciones o fundamentación. En muchos de estos marcos (e.g., Toulmin, Zohar & Nemet, Lawson), la “Afirmación” es una proposición individual; sin embargo, en algunos marcos (e.g., Sandoval) es más compleja e incluye otros componentes que tienen que estar presentes para ser considerada suficiente.

Los marcos analíticos se diferencian en cuanto al número y tipo de componentes estructurales envueltos en la justificación de la “afirmación” o “explicación”. Toulmin creó cuatro componentes básicos de la justificación: datos, garantías, respaldos y calificadores. Sandoval (2003) añade componentes estructurales para la justificación en términos de datos y referencias retóricas que están unidos a algún componente de la justificación. Por otro lado, algunos enfoques simplifican las dificultades en diferenciar los datos, garantías y respaldos, incluyendo sólo un componente genérico para la justificación. Es el caso de los marcos analíticos de Zohar y Nemet (2002) más el de Schwarz et al. (2003) que poseen un componente estructural genérico para la justificación debido a que su marco analítico es desarrollado principalmente en torno a la naturaleza y calidad de la justificación más que en la presencia de componentes estructurales en ella.

El marco analítico de Kelly y Takao (2002, 2003) no hace distinciones estructurales de la dicotomía afirmación/justificación, más bien distingue en términos de abstracción epistémica de cada proposición y las conexiones entre las proposiciones individuales, es decir, las unidades estructurales de los autores son las proposiciones y sus conexiones.

Las distintas perspectivas han otorgado variadas visiones de las formas de generar argumentos de los alumnos en el ámbito de la educación científica. Por ejemplo, los marcos analíticos que investigan la estructura del argumento en torno a la afirmación y la justificación han demostrado que los estudiantes frecuentemente generan argumentos unilaterales (Sadler, 2006; Schwarz et al., 2003; Schwarz & Glassner, 2003) y que no intentan apoyar sus afirmaciones con múltiples justificaciones (Sandoval & Millwood, 2005; Zohar & Nemet, 2002) o corroborar porque su afirmación es más aceptable que la otra (Bell & Linn, 2000; Kuhn & Reiser, 2005). Por otra parte, las investigaciones que se han enfocado en los componentes de las afirmaciones indican que los estudiantes poseen problemas para generar explicaciones complejas y suficientes para el fenómeno bajo investigación (McNeill et al., 2006; Sandoval, 2003; Sandoval & Millwood, 2005). Por último, los marcos analíticos que han investigado la estructura general de un argumento señalan que los estudiantes poseen problemas con la coherencia y unión de ideas de manera significativa y correctas (Kelly & Bazerman, 2003; Kelly, Regev & Prothero, 2005; Kelly & Takao, 2002; Lawson, 2002).

2.3.2. Contenido a través de los marcos analíticos

La gran mayoría de los autores de los marcos analíticos de esta revisión están de acuerdo con que el contenido es importante, pero los marcos desarrollados por Sandoval (2002), Zohar y Nemet (2002) excepcionalmente incorporan rúbricas específicas o jerarquías para evaluar la calidad del contenido de los argumentos. Un ejemplo de lo anterior es el enfoque de Toulmin (1958) y el de Schwarz y sus colegas (2003), que consideran al contenido de un argumento únicamente para emitir juicios sobre la aceptabilidad o relevancia de las justificaciones, pero no se

evalúa la calidad conceptual de la afirmación y su justificación. Ocurre algo similar con el marco analítico de Lawson (2003), que asume que el contenido debe ser coherente, pero no proporciona una rúbrica explícita para evaluar el contenido y la relevancia conceptual. Por otra parte, Kelly y Takao (2002, 2003) a pesar de no medir directamente la calidad del contenido, ellos construyeron niveles epistemológicos específicos de su disciplina. Dichos niveles se encuentran jerarquizados, encontrando en el de más abajo las descripciones de los datos, y en el nivel epistemológico más alto teorías dentro del dominio en particular, sin embargo, no se evalúa la precisión científica de las proposiciones a través de los niveles epistemológicos.

El marco de Zohar y Nemet (2002) se centra en el contenido, investigando cuán a menudo los estudiantes incluyen ideas científicas en sus argumentos como una forma de justificar sus afirmaciones.

Finalmente, Sandoval (2003) provee el marco analítico más enfocado en la calidad del contenido del argumento, el cual debe explicar un fenómeno en particular usando una teoría específica, como la selección natural, y validando los elementos de las explicaciones usando los datos disponibles.

2.3.3. Justificación a través de los marcos analíticos

Todos los marcos revisados se centran parcialmente en la justificación, pero los criterios para evaluar su calidad son discrepantes. Algunos autores describen la justificación como elementos de información (e.g., “datos, garantías y respaldos” o “razones”), mientras otros la describen como procesos del pensamiento (e.g., “como proposiciones de varios niveles epistémicos están vinculadas” o “razonamiento hipotético-deductivo”).

Por otro lado, los marcos que detallan la justificación como un proceso del pensamiento tienden a investigar como varios elementos del argumento se combinan (e.g., “el ajuste o desajuste de la evidencia con la predicción” o “moverse desde descripciones específicas de los datos a sentencias más generalizadas”)

Los marcos analíticos centrados en la justificación han demostrado que los estudiantes poseen una predisposición a confiar su justificación en información inapropiada, insuficiente o en inferencias, experiencias personales y figuras de autoridad (Kelly & Chen, 1999; Kuhn & Reiser, 2005; Schwarz et al., 2003; Zohar & Nemet, 2002).

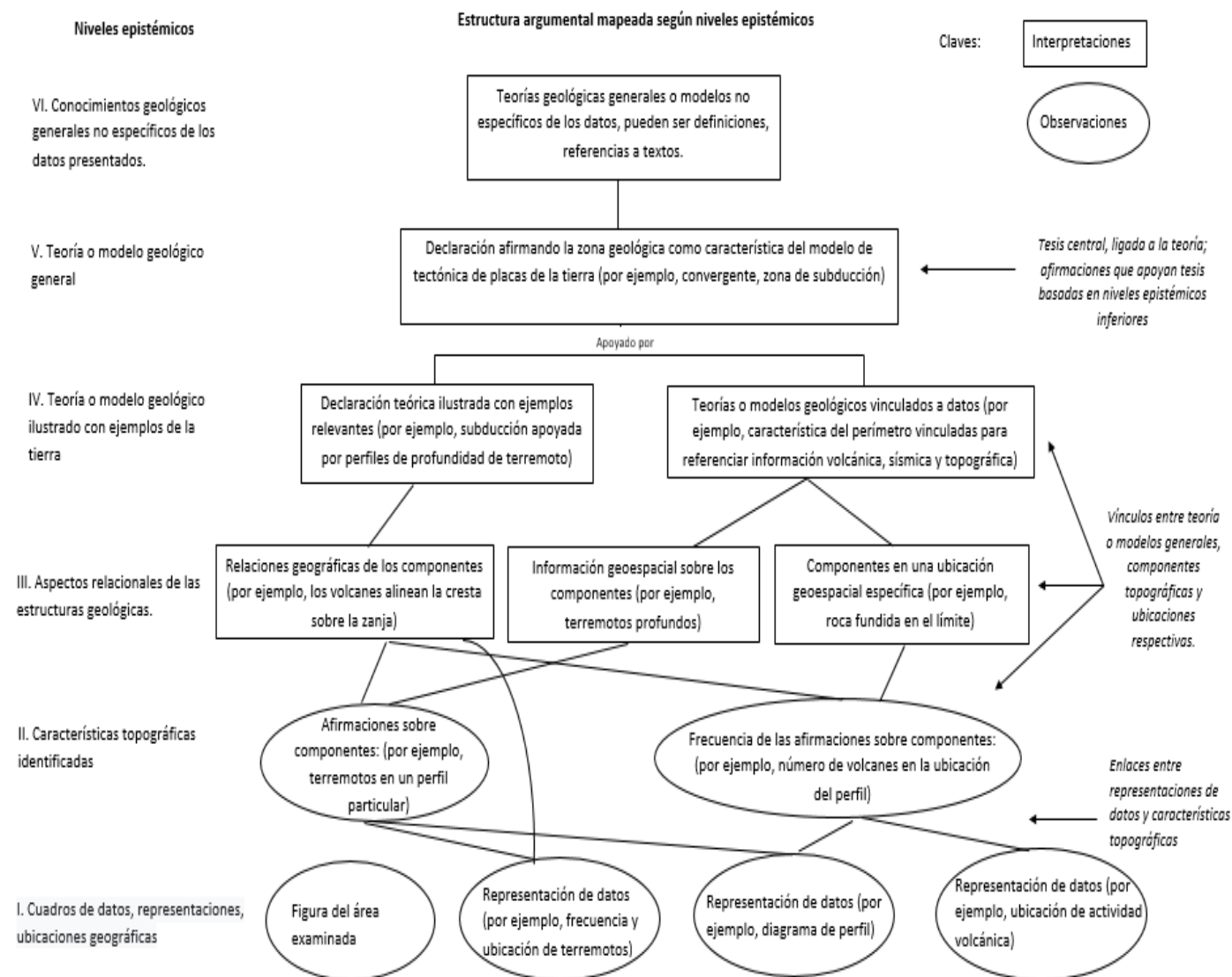
Considerando las recomendaciones de Sampson y Clark (2008) sobre analizar de manera más auténtica la justificación, en términos de procesos del pensamiento y vinculando los componentes de información relevantes, nos hemos propuesto en esta investigación analizar las justificaciones desde tres aristas principales: los conceptos sobre teoría química contenidos en ella, y como estos son secuenciados y apoyados con recursos adicionales. Es importante destacar que en el presente estudio “la justificación” es un componente estructural dentro del argumento, y la antepone “la afirmación”. Por ejemplo, en la siguiente oración “*La molécula A es la menos básica porque el oxígeno es más electronegativo que el nitrógeno*” la afirmación sería “*La molécula A es la menos básica (...)*” y la justificación lo que resta de la oración “*(...) porque el oxígeno es más electronegativo que el nitrógeno*”.

Por lo señalado anteriormente, se resume en las siguientes páginas el marco analítico creado por Kelly y Takao (2002), el cual se enfoca en identificar los vínculos explícitos entre las proposiciones de los estudiantes y analizar el nivel epistémico de cada una de ellas.

Kelly y Takao (2002) desarrollaron un marco analítico para los argumentos escritos de los estudiantes, el que se aplicó para evaluar el uso de evidencia en forma escrita. Los argumentos se analizaron mediante un proceso de clasificación de las proposiciones en niveles epistémicos, además de identificar cómo estas se vinculan en un nivel y a lo largo de todos los niveles. Dichos niveles epistémicos fueron definidos por constructos específicos de la disciplina de los estudiantes, desde descripciones de datos, identificación de componentes, aspectos relacionales de los componentes, hasta afirmaciones formuladas teóricamente (Figura 1). De esta forma, el argumento se puede abordar desde distintos niveles de generalidad, un problema que no es considerado en el modelo de Toulmin. Los autores desarrollan

los niveles epistémicos acorde al trabajo de Latour (1987), quien hace un análisis de los escritos científicos señalando que es usual que los científicos intenten desplazarse retóricamente desde circunstancias de sus actuales experimentos a declaraciones más generalizadas.

Figura 1.

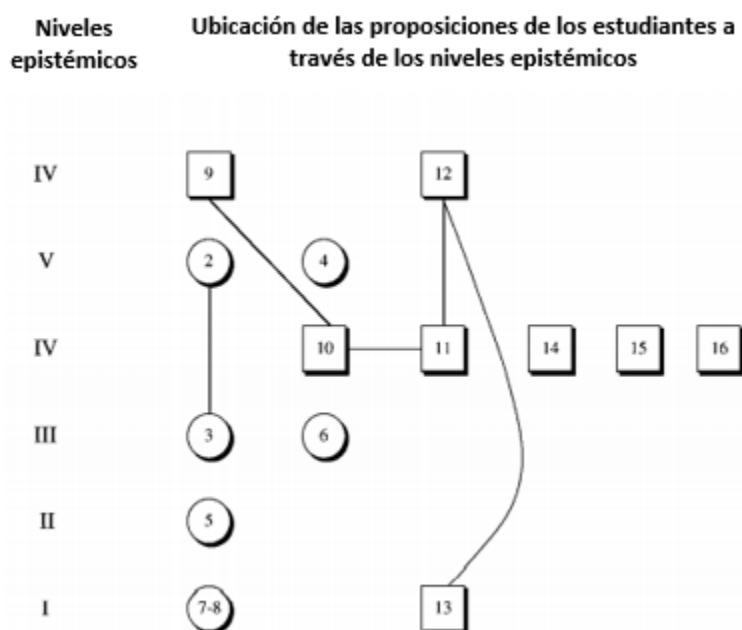


Modelo de niveles epistémicos para el análisis de los argumentos científicos de estudiantes. Modificado de Kelly & Takao (2002).

Además de los niveles epistémicos, el modelo de Kelly y Takao (2002) incluye los vínculos explícitos que hay entre las afirmaciones hechas en un argumento, lo que

permite hacer uso de múltiples aseveraciones para fundamentar un argumento más complejo. Para cada argumento se logra construir una red semántica (Figura 2) que registra los vínculos a través de los niveles epistémicos, lo que permite hacer comparaciones entre los estudiantes, además de especificar si las afirmaciones de los estudiantes son observaciones (círculos) o interpretaciones (cuadrados). En este marco analítico, todas las afirmaciones de los estudiantes se enumeraron, pero en la red no se clasificaron los comentarios introductorios y aquellos que no contribuyen al análisis del argumento.

Figura 2.



Red semántica de un estudiante basado en el modelo de niveles epistémicos. Modificado de Kelly & Takao (2002).

2.4. Conceptos sobre Teoría Química

Como señalamos anteriormente, la presente investigación analiza las justificaciones de los profesores expertos desde tres aristas principales traducidas en tres categorías (Ver Tabla 1). La primera de ellas está asociada al conocimiento del contenido, específicamente a los conceptos sobre teoría química utilizados por los

profesores expertos al momento de justificar. En virtud de lo señalado, es relevante definir de forma general los conceptos, señalados en los libros tradicionales de química general y química orgánica, expuestos como factores que afectan la acidez y/o basicidad de las moléculas orgánicas.

Según Chang (2010) la **electronegatividad** es la capacidad de un átomo para atraer hacia sí los electrones de un enlace químico. Los elementos con alta electronegatividad poseen mayor tendencia a atraer electrones que los elementos con electronegatividad baja. La electronegatividad se vincula con la afinidad electrónica y la energía de ionización. Por ejemplo, un átomo como el flúor, que posee alta electronegatividad, también posee una alta afinidad electrónica (tendencia a captar electrones fácilmente) y una alta energía de ionización (no pierde electrones con facilidad). Por otra parte, el sodio tiene baja afinidad electrónica, baja energía de ionización y baja electronegatividad. Generalmente en una tabla periódica la electronegatividad aumenta de izquierda a derecha a través de los periodos. En cada grupo, la electronegatividad disminuye al aumentar el número atómico.

El **efecto inductivo** según Negrón A. (2015) es el efecto electrónico de un sustituyente (átomo o grupo de átomos) que resulta de la electronegatividad de dicho sustituyente. Este efecto es definido también como la polarización del enlace por influencia de un átomo o grupo adyacente polar. Es importante mencionar que debido al efecto inductivo los grupos donadores de electrones contribuyen a disminuir la acidez y aumentan la basicidad; en cambio, los átomos electronegativos contribuyen a que aumente la acidez y disminuya la basicidad.

Chang (2010) señala que la **resonancia** es una “invención humana”, que fue diseñada para explicar las limitaciones de los modelos. Chang define resonancia como dos o más estructuras de Lewis para solo una molécula que no se puede representar exactamente con una sola estructura de Lewis, pero se debe recordar que ninguna de las estructuras de resonancia representa realmente a la molécula,

esta tiene su propia estructura estable. Carey (2006) define resonancia como dos o más estructuras de Lewis para una misma molécula que solo difieren en la distribución de los electrones. Señala que la resonancia intenta corregir un defecto fundamental en las fórmulas de Lewis, que es el mostrar a los electrones localizados, cuando en realidad estos están siendo compartidos por varios núcleos, es decir, deslocalizados en su arreglo más estable. Menciona que para escribir un híbrido de resonancia es útil usar flechas curvas que indican el movimiento de los pares de electrones. Además, señala que la capacidad de escribir formas de resonancia alternativas y evaluar sus contribuciones relativas puede proporcionar conocimientos sobre la estructura molecular y el comportamiento químico. Wade (2011) en su libro de química orgánica señala que dispersar la carga negativa o positiva sobre dos o más átomos hace que la molécula sea más estable que lo que sería si toda la carga estuviese localizada en un solo átomo, lo que se conoce como estabilización por resonancia.

Chang (2010) define la **hibridación** como el término que se utiliza para explicar la mezcla de los orbitales de un átomo, como los orbitales *s* y *p*, para generar un conjunto de orbitales híbridos, los cuales se obtienen cuando dos o más orbitales no equivalentes del mismo átomo se combinan para preparar la formación de un enlace covalente. Define los orbitales moleculares deslocalizados, como los del benceno, como orbitales que no están confinados entre dos átomos enlazados adyacentes, sino que están dispersos sobre tres o más átomos. Por ende, los electrones se encuentran en cualquiera de los orbitales con libertad de movimiento. Carey (2010) narra la historia de cómo Linus Pauling en 1930 sugirió que la configuración electrónica de un carbono enlazado a otros átomos no necesitaba ser igual a la de un átomo de carbono libre. Propuso que al hibridar los orbitales se obtenían cuatro orbitales nuevos, denominados orbitales híbridos *sp*³ porque provienen de un orbital *s* y tres orbitales *p*, teniendo un 25% de carácter *s* y un 75% de carácter *p*. En el caso de los orbitales híbridos *sp*² el carácter del orbital *s* es de un 33,3% y del orbital *p* un 66,6% y en los orbitales híbridos *sp* un 50% de carácter *s* y un 50% de carácter *p*.

Negrón A. (2015) en el capítulo “Principios de la reactividad química en moléculas orgánicas” del libro “Lecturas de apoyo para comprender mejor la química”, define **efecto estérico** como las interacciones espaciales que se producen entre los átomos y/o grupos, es decir, el efecto de aglomeración de los átomos en una molécula. El efecto estérico del sustituyente está relacionado con el impedimento estérico que se ejerce sobre algún tipo de fenómeno en estudio.

2.5. Teorías Ácido-Base

2.5.1. Ácidos y Bases: la perspectiva de Arrhenius

Svante Arrhenius en 1903 define a un ácido como una sustancia que se ioniza y cede protones cuando se disuelve en agua y una base como una sustancia que se ioniza y cede iones hidróxido. Los ácidos difieren en el grado de ionización al igual que las bases. Los que se ionizan por completo se denominan ácidos fuertes o bases fuertes; los que no se ionizan por completo se llaman ácidos débiles o bases débiles. La fuerza de un ácido débil se mide mediante su constante de disociación ácida (Figura 3), la cual es la constante de equilibrio K_a para su ionización en agua. Una forma conveniente de expresar la fuerza de un ácido es por su pK_a (Figura 3).

Figura 3.

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} \quad pK_a = -\log_{10}K_a$$

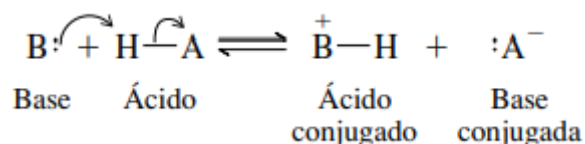
Constante de disociación y pK_a de un ácido. Imagen extraída del libro Química orgánica de Carey (2010).

La ventaja de pK_a sobre el K_a es que evita los exponenciales. Carey (2010) indica que la mayoría de los químicos orgánicos y bioquímicos usan pK_a .

2.5.2. Ácidos y Bases: la perspectiva de Bronsted-Lowry

Johannes Bronsted y Thomas M. Lowry en 1923 propusieron de manera independiente una teoría más general de ácidos y bases; definiendo un ácido como un donador de protones y una base como un aceptor de protones. Entre una base y un ácido ocurre una transferencia de protones, donde la base se convierte en su ácido conjugado y el ácido en su base conjugada (Figura 4). Cuanto más fuerte es el ácido, más débil es la base conjugada. Cuanto más fuerte es la base, más débil es su ácido.

Figura 4.



Ácido y base de Bronsted-Lowry. Imagen extraída del libro Química orgánica de Carey (2010).

En esta perspectiva el ácido no se disocia en el agua como en la perspectiva de Arrhenius, sino que transfiere un protón al agua, por lo tanto, el agua actúa como base.

La constante de disociación ácida (Figura 5) difiere del enfoque de Arrhenius en cómo se expresa la concentración de [H⁺] que pasa a ser [H₃O⁺].

Figura 5.

$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

Constante de disociación de un ácido. Imagen extraída del libro Química orgánica de Carey (2010)

Carey (2010) posee un apartado del capítulo llamado ¿Qué le sucedió al pK_b? donde explica que el enfoque de Bronsted-Lowry implica relaciones conjugadas

entre ácidos y bases lo que hace innecesario una constante de basicidad K_b separada. Señala que la práctica usual es indicar sólo K_a o pK_a y que la asignación de basicidad relativa sólo requiere recordar que cuanto más débil es el ácido, más fuerte es la base conjugada. Bajo esta línea solo se explica en el apartado siguiente cómo afecta la estructura molecular a la fuerza de los ácidos, introduciendo algunas generalidades que permiten relacionar ambas variables. Señala que son tres las formas principales de como se ve afectada la acidez a través de la estructura:

1. La fuerza del enlace del átomo que pierde el protón: en general la fuerza del enlace disminuye conforme descende en la tabla periódica, es decir, a medida que se vuelve más largo, también se vuelve más débil, así que romperlo es más fácil desde una perspectiva energética y la fuerza del ácido aumenta.
2. La electronegatividad del átomo que pierde el protón: si la electronegatividad del átomo que está enlazado al protón es alta, la polarización es más pronunciada y se pierde el protón con mayor facilidad. Visto desde otra forma, los átomos electronegativos, como el flúor, atraen los electrones hacia sí mismos, aumentando el carácter positivo del protón y su acidez. Estos efectos estructurales que se transmiten por medio de los enlaces se denominan efectos inductivos, donde un sustituyente induce una polarización en los enlaces entre él y algún sitio remoto en la molécula.
3. Deslocalización electrónica en la base conjugada: en cualquier reacción de transferencia de protón puede ocurrir la estabilización de la base conjugada por deslocalización electrónica, lo cual puede representarse a través de las estructuras resonantes. Lo anterior aumenta la constante de equilibrio para la formación de la base conjugada, aumentando el carácter ácido del protón.

Por otro lado, Wade (2011) en su libro posee un apartado sobre las fuerzas de las bases donde explica que la fuerza de un ácido se relaciona inversamente con la fuerza de su base conjugada, es decir, para que un ácido sea fuerte, su base conjugada debe ser estable en su forma aniónica, o sino el ácido no perdería

fácilmente su protón. Por ende, la base conjugada de un ácido fuerte debe ser una base débil y si el ácido es débil su base conjugada es fuerte. La fuerza de una base se mide a través de la constante de equilibrio de la reacción de hidrólisis, K_b , llamada constante de disociación básica (Figura 6).

Figura 6.

$$K_b = \frac{[HA][^-OH]}{[A^-]} \quad pK_b = -\log_{10} K_b$$

Constante de disociación básica. Imagen extraída del libro Química orgánica de Wade (2011).

El libro de química orgánica de Wade (2011), al igual que el libro de Carey (2010), posee una sección sobre efectos de la estructura en la acidez donde menciona que la estabilidad de la base conjugada da una buena idea de la acidez. Señala que los aniones más estables tienden a ser bases más débiles y sus ácidos conjugados tienden a ser ácidos más fuertes. Son tres los factores que afectan la estabilidad de las bases conjugadas:

1. **Electronegatividad:** un elemento electronegativo tolera una carga negativa con mayor facilidad, lo que causa una base conjugada más estable y un ácido más fuerte. Wade también indica que la electronegatividad aumenta de izquierda a derecha en la tabla periódica.
2. **Tamaño:** la carga negativa de un anión es más estable si se dispersa sobre una región más grande. En una columna de la tabla periódica, la acidez aumenta de arriba hacia abajo, conforme aumenta el tamaño del elemento.
3. **Estabilización por resonancia:** a través de la resonancia la carga negativa de una base conjugada puede deslocalizarse sobre dos o más átomos. La resonancia es el efecto dominante que ayuda a estabilizar el anión.

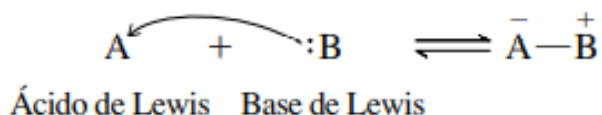
Se puede observar que en la sección común que tienen los libros de química orgánica de Wade (2011) y Carey (2010) sobre factores que afectan la acidez

difieren en algunos aspectos. En el libro de Carey (2010) no solo se enfocan en la estabilidad de la base conjugada mediante la resonancia, sino que también en la fuerza de enlace del ácido y en la electronegatividad de los átomos del ácido. Mientras que Wade en su libro solo menciona factores que afectan la estabilidad de la base conjugada, como tamaño, resonancia y electronegatividad.

2.5.3. Ácidos y Bases de Lewis

G. Lewis elaboró una forma más general que la de Bronsted-Lowry para analizar los ácidos y las bases. A diferencia de la perspectiva de Bronsted-Lowry que se enfoca en la carga positiva donde los ácidos y las bases eran donadores y aceptores de protones, Lewis enfatizó en las cargas negativas, es decir, en los pares electrónicos. Para Lewis un ácido es un aceptor de pares de electrones y una base es un donador de pares de electrones y ambos forman el complejo ácido de Lewis/base de Lewis (Figura 7).

Figura 7.



Ácido y Base de Lewis. Imagen extraída del libro Química orgánica de Carey (2010).

Las bases de Lewis utilizan el par electrónico sin compartir para formar un enlace con algún otro átomo, conocidas también como nucleófilos. Por otro lado, los ácidos de Lewis son electrófilos.

2.6. ¿Por qué usamos distintos modelos ácido-base?

Melanie M. Cooper y Michael W. Klymkowsky (2019) elaboraron el currículum CLUE “Chemistry, Life the Universe and Everything”, el cual se desarrolló en torno a progresiones basadas en cuatro ideas centrales: estructura y propiedades, enlace

e interacciones, energía, y cambio y estabilidad. Dentro de los materiales poseen un libro de texto llamado OCLUE de química orgánica publicado el 2019. En las siguientes páginas se sintetiza la perspectiva de Cooper y Klymkowsky (2019) sobre reacciones ácido base, fuerza ácida y fuerza básica.

El libro de texto posee una sección del capítulo uno donde se justifica el uso de los distintos modelo ácido-base existentes. Indica que los modelos de Bronsted-Lowry y el de Lewis son útiles dependiendo del sistema en consideración. La clave es reconocer cuál de ellos es más útil al momento de describir, predecir y explicar un tipo particular de reacción química. Debido a que el modelo de Bronsted-Lowry no posee mecanismos de cómo el protón se mueve en la reacción, es más útil trabajar con Lewis, que nos muestra el acomodamiento de los electrones durante la reacción. Los autores señalan que es importante recordar porque estas reacciones ocurren debido a una interacción electrostática entre dos partes de cargas opuestas de las moléculas.

Según Cooper y Kymkowsky (2019) El grado con el que procede una reacción ácido-base depende del cambio total de energía libre de Gibbs. Los autores enfatizan la importancia de recordar que la reacción no ocurre porque los productos son más estables, sino porque existe una fuerza de atracción entre las estructuras polares de los reactantes. Se puede determinar el grado de la reacción determinando la constante de equilibrio K_a , la cual es muy pequeña en varios ácidos orgánicos por lo que se trabaja con pK_a . Mencionan que es útil memorizar algunos valores pK_a importantes, como alcoholes y aminas, sin embargo, es mucho más útil entender los factores que afectan la fuerza de un ácido y así, poder predecir y explicar los resultados de una reacción. Otro punto importante que señalan es que el grado de reacción está relacionado con el cambio de energía libre de Gibbs ($\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$) asociado a la reacción, la cual está relacionada al cambio de entalpía (ΔH°), la cual refleja el cambio en los enlaces e interacciones intermoleculares de los reactantes y productos, y el cambio de entropía (ΔS°), que refleja el cambio en el número posible de estados y posiciones energéticas del sistema de reacción.

Mencionan que para la gran mayoría de ácidos orgánicos (débiles), el cambio de entalpía es aproximadamente cero, porque los tipos de enlace e interacciones que son rotos y formados durante la reacción son parecidos, por ende, el cambio en la energía libre de Gibbs se debe regularmente a diferencias en la entropía cuando la temperatura es constante.

Cooper y Klymkowsky (2019) señalan que el grado de la reacción depende de la estabilidad termodinámica de los productos, es decir, como la base conjugada son solvatadas por el solvente. Un factor es como está localizada la carga negativa en la base conjugada; como primer caso, si está localizada en un solo átomo, las moléculas del solvente están atraídas fuertemente al anión, lo que produce una menor movilidad en ellas y un mayor orden, resultando una disminución en la entropía. En contraste, cuando la carga negativa está deslocalizada en dos o más átomos debido a que la molécula posee estructuras resonantes, la interacción con el solvente no es tan fuerte y las moléculas presentan mayor movilidad lo cual se traduce en un aumento de entropía. Además, explican que la resonancia no es la única forma de estabilizar una carga, sino que también ocurre en algunas moléculas el efecto inductivo, que es una deslocalización de cargas debido a la presencia de átomos electronegativos, como el flúor, que desplazan la nube electrónica de los átomos cercanos. El resultado es que la carga está distribuida a lo largo de la molécula, produciendo que los puntos de interacción con el solvente aumenten, disminuyendo el orden, por lo que el cambio de entropía tampoco es tan significativo como el primer caso.

Los autores recalcan que no hay ácidos sin bases y viceversa. Además, señalan que es más útil pensar en bases a través del modelo de Lewis, es decir, una base posee un par de electrones disponibles para donar en un enlace con un ácido. Las bases orgánicas más comunes poseen átomos de nitrógeno en su estructura. Ahora si comparamos la basicidad entre el nitrógeno, el oxígeno y el flúor, donde todos poseen pares de electrones disponibles para ser donados, el nitrógeno es el menos

electronegativo de todos por lo que atrae menos sus electrones libres al núcleo, aumentando su capacidad para ser donados.

3. Objetivos y Pregunta de Investigación

El objetivo principal de esta investigación es describir los argumentos que utilizan los académicos para determinar y justificar la fuerza de una base al momento de ordenar un set de moléculas de las más básica a la menos básica. Particularmente nuestro estudio se basa en la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué argumentos utilizan los académicos para determinar y justificar la fuerza de una base cuando ordenan un set de moléculas de la más básica a la menos básica?

Objetivos específicos:

1. Analizar las justificaciones de los académicos para determinar la fuerza de una base
2. Identificar los conceptos sobre teorías químicas contenidos en cada justificación de los académicos.
3. Caracterizar la relación y secuenciación de los conceptos sobre teorías químicas contenidos en los argumentos de los distintos profesores expertos para determinar y justificar la fuerza de una base.
4. Comparar los recursos adicionales utilizados por los profesores expertos para complementar/apoyar sus justificaciones.
5. Contrastar por cada profesor experto la justificación de la Pregunta de Integración con las justificaciones de las Preguntas de Entrevista.

4. Metodología

4.1. Participantes

Para investigar la argumentación de los académicos se entrevistaron 4 profesores expertos de química orgánica de distintas universidades chilenas durante el primer semestre del año 2020. Los participantes (tres hombres y una mujer), que colaboraron voluntariamente en nuestro estudio, poseen grado académico de Doctor en Ciencias con mención en Química o en Productos Naturales. Para resguardar la identidad de los participantes, se les asignaron letras desde la F a la I, por ejemplo, el segundo participante se denominó Profesor G

4.2. Instrumentos de Investigación

Se diseñó un instrumento inicial que fue perfeccionado luego de cuatro aplicaciones piloto. El instrumento final incluye seis preguntas donde en las primeras cinco se debe ordenar un set de dos o tres moléculas de mayor a menor comportamiento básico, y en la pregunta seis se debe determinar el átomo más básico de la molécula de Atenolol (Anexo 1). La pregunta 1 fue diseñada con el objetivo de explorar los conocimientos sobre acidez y basicidad, además de registrar cómo los profesores expertos determinan y justifican el comportamiento básico en moléculas ácidas. Por otra parte, se diseñó la pregunta seis con el fin de visualizar cómo conjugan y combinan los distintos argumentos, utilizados en el resto de las preguntas, para determinar el átomo más básico de la molécula Atenolol. Por consiguiente, la pregunta 1 se denomina Pregunta de Exploración, la pregunta 6 se denomina Pregunta de Integración y las preguntas 2, 3, 4 y 5 se llaman Preguntas de Entrevista.

Es importante mencionar que las moléculas utilizadas de la pregunta uno a la cinco son comunes en los tópicos y capítulos de algunos libros de química orgánica. Con el propósito de que esté disponible visualmente la composición y conectividad atómica de las moléculas, estas se representan mediante su fórmula estructural.

4.3. Recolección de Información

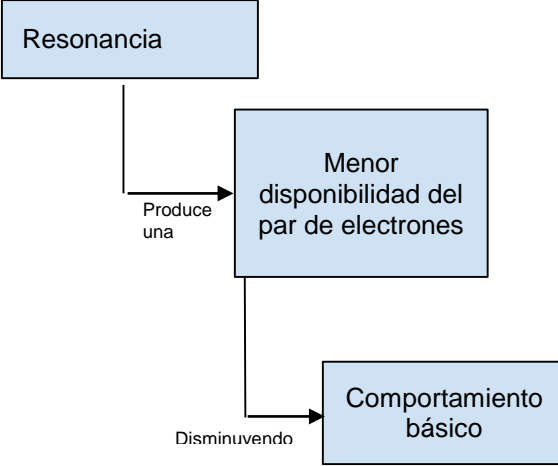
Los profesores expertos completaron el instrumento de investigación sin tiempo límite, el Profesor experto F lo terminó en 91 minutos, el Profesor experto G en 88 minutos, el Profesor experto H en 41 minutos y el Profesor experto I en 58 minutos. El proceso anterior se realizó por video llamada a través de una entrevista semiestructurada (Mella, 1998) conducida por un entrevistador, la cual previo consentimiento fue grabada.

4.4. Análisis de Información

Todas las entrevistas fueron cuidadosamente transcritas y revisadas con asiduidad por los autores hasta la obtención del documento final (Anexo 2). Se emplearon métodos cualitativos de tipo descriptivos y exploratorios para el análisis de las entrevistas, realizando una codificación inicial y luego una codificación focalizada (Charmaz, 2006) a través del programa ATLAS.ti versión 7.5.4. La codificación inicial se desarrolló párrafo por párrafo, luego estos códigos individuales se fusionaron con otros o fueron eliminados para formar categorías. La codificación, análisis e interpretación de las respuestas de los profesores expertos se hizo mediante un método comparativo (Charmaz, 2006), donde se revisaron paralelamente las respuestas de todos los profesores expertos para cada pregunta.

Considerando la taxonomía básica propuesta por Sampson y Clark (2008) en la revisión de los marcos analíticos, el estudio realizado por Kelly y Takao (2002) quienes enfatizan en los vínculos existentes entre las afirmaciones de los estudiantes, y el objetivo de la presente investigación, se desarrollaron tres categorías de análisis presentadas en la Tabla 1 junto con sus respectivos nombres y algunos ejemplos.

Tabla 1. Categorías de análisis.

Categoría	Nombre	Ejemplos
1	Conceptos sobre Teorías Químicas	Efecto inductivo, hibridación, electronegatividad, resonancia.
2	Secuenciación de los Conceptos sobre Teorías Químicas.	<p>Experto: <i>“Al existir resonancia en esta molécula se produce una menor disponibilidad del par de electrones lo que hace que el comportamiento básico disminuya”</i></p>  <pre> graph TD A[Resonancia] -- Produce una --> B[Menor disponibilidad del par de electrones] B -- Disminuyendo --> C[Comportamiento básico] </pre>
3	Recursos adicionales complementarios a la justificación.	Dibujos, ejemplificaciones, experiencias personales.

Como la estructura de la justificación no siempre era clara, además de haber oraciones sin utilidad para nuestro análisis dentro del discurso de los profesores expertos, se decidió elaborar un “Resumen Descriptivo del Discurso de los Académicos”, para mayor entendimiento vea la Tabla 2. El propósito de este resumen es sintetizar el discurso de los profesores expertos proveniente de la transcripción de las entrevistas para facilitar su análisis, además de describir sus argumentos. Para lo anterior, se ha incluido en el resumen el ordenamiento para

cada set de moléculas establecido por los profesores expertos, la justificación de dicho orden mediante conceptos basados en teorías químicas, además de mencionar los recursos adicionales utilizados para complementar los argumentos, ya sea con dibujos, ejemplificaciones, mención a alguna teoría y/o reacciones. Hemos excluido del resumen justificaciones repetidas, oraciones sin sentido, oraciones inconclusas o que carezcan de utilidad para el análisis, como afirmaciones o negaciones cortas del académico respecto a palabras u oraciones de la entrevistadora. Finalmente, también se dejó fuera los dibujos o reacciones utilizadas como apoyo a los argumentos.

Tabla 2. Ejemplo de transcripción y resumen descriptivo del discurso del profesor experto F pregunta 2.

Transcripción	Resumen descriptivo del discurso
<p><i>Veamos que viene en el dos. Estas si son bases ¿Sí?, estas si son bases y aquí si yo podría decir que esta es la más básica (indica molécula B) y esta es la menos básica (indica molécula A), ahora ¿Por qué esta es la menos básica? (indica molécula A) principalmente se debe a que ehh este par de electrones (dibuja flecha de movimiento de los electrones del Nitrógeno hacia el enlace) entra a formar parte de las estructuras resonantes del anillo aromático y luego este par de electrones está deslocalizado, lo que significa de que la disponibilidad del par de electrones</i></p>	<p>Inicialmente identifica que ambas moléculas son básicas, siendo más básica la ciclohexilamina y la menos básica la anilina. Señala que los electrones de la anilina están deslocalizados porque forman parte de las estructuras resonantes del anillo aromático, lo que produce que el par de electrones esté menos disponible para interactuar con un protón o alguna especie electrofílica. Mientras que en el caso de la ciclohexilamina no hay deslocalización de los electrones dentro de ningún sistema conjugado, por lo que están completamente localizados y</p>

<p><i>para interactuar con un protón o con alguna especie electrofílica, está disminuido. Mientras que el caso de acá (indica molécula B), esta situación (pausa y dibuja flecha de movimiento de los electrones del nitrógeno hacia el enlace) no ocurre</i></p>	<p>disponibles para interactuar con un protón o cualquier tipo de electrófilo.</p>
---	--

Finalmente, se elaboraron representaciones visuales por cada pregunta del test de las justificaciones de los profesores expertos. Su objetivo principal es facilitar la comprensión y el análisis sobre la secuenciación y relación de los conceptos incluidos en las justificaciones de los académicos de la Categoría 2 sobre “Secuenciación de los Conceptos sobre Teorías Químicas”. Hay que recalcar que las representaciones visuales carecen del ordenamiento de las moléculas establecido por cada profesor experto y de aquellos conceptos que no se encuentran dentro de la Categoría 1 sobre “Conceptos sobre Teorías Químicas”, por lo que se dejaron fuera los recursos adicionales de la Categoría 3. En conclusión, en estos esquemas solo se registra la Categoría 2, es decir, los conceptos secuenciados y relacionados de la Categoría 1 sobre teorías químicas. Antes de comenzar con la descripción de los resultados y su discusión, es importante mencionar que la Pregunta de Exploración carece de análisis porque su objetivo es, como indica su nombre, explorar y registrar cómo los profesores expertos dan respuesta determinando y justificando el comportamiento básico frente a tres moléculas ácidas. Bajo esta perspectiva, no se elaboró representación visual para esta pregunta ya que no es pertinente su construcción si no va a ser analizada. Asimismo, para la Pregunta de Integración, que también carece de representación visual, pero en este caso es porque su análisis posee características propias.

A continuación, se presentan las consideraciones utilizadas al momento de construir las representaciones visuales de la Categoría 2 en la pregunta dos, tres, cuatro y

cinco, y para un mayor entendimiento de cómo se construyeron revisar anexo ejemplo de elaboración de representación visual (Anexo 3).

1. Se utilizaron los conceptos vinculados de forma explícita y los conceptos aislados dentro del discurso de los profesores expertos.
2. Se explicita cómo se secuencian y relacionan los conceptos mediante conectores iguales o similares a los ocupados por el profesor experto.
3. Se incluyeron todas las rutas por profesor experto a excepción de aquellas que:
 - Se repetían, es decir, tenían en común varios conceptos y relaciones, donde se optó por incluir la más completa.
 - Poseían una relación inversa, donde se optó incluir la más completa o la primera en el discurso.

Ejemplo:

Ruta 1: + Deslocalización – Disponibilidad del par de electrones

Ruta 2: - Deslocalización + Disponibilidad del par de electrones

4. Se secuenciaron dentro de una ruta los conceptos relacionados de forma explícita para cada molécula a pesar de que se encontraban en distintas partes del discurso.
5. Si se argumenta a través de conceptos aislados, es decir, que no se relacionan con ningún otro, se ubican dentro una casilla teñida con el color respectivo de cada profesor, sin conectarse mediante una flecha con otra casilla.
6. Por motivos de mayor entendimiento y para optimizar las representaciones visuales, se completaron algunos conceptos infiriendo de la relación hecha por el profesor experto.

Ejemplo: Profesor experto hace una comparación de dos moléculas, donde habla del “efecto inductivo negativo” explícitamente en la primera molécula, elaborando una secuenciación de conceptos para argumentar su decisión, e

indica que ocurre todo lo contrario en la segunda molécula, en la cual elabora una secuenciación de conceptos para argumentar su decisión con una relación inversa a la secuenciación de la primera molécula, pero solo nombra “efecto inductivo”. En este caso se optó por agregar la palabra positivo quedando el concepto como “efecto inductivo positivo”

7. El orden de las rutas dentro del discurso de cada profesor experto no está incluido en las representaciones.

base. Ordena las moléculas en términos de acidez, donde el ácido más fuerte es el ácido clorhídrico porque no posee un pKa ya que se disocia en un 100%, luego viene el ácido sulfúrico con un pKa cercano 1 en la primera disociación y finalmente el ácido acético con un pKa de 4.75. Luego dibuja los equilibrios de disociación de las 3 moléculas y aclara que los 3 son ácidos porque se disocian y si los hubiésemos presentado como sulfato ácido, acetato y cloruro podría ordenarlos en términos de basicidad.

Profesor experto G

En primera instancia aclara que las 3 moléculas son ácidos. Señala que se puede mirar la molécula en términos de acidez o basicidad según su pKa, donde la suma del pKa más el pKb es 14. Reitera que la pregunta es incómoda porque el comportamiento de las moléculas es ácido. Agrega que, si se desea determinar el comportamiento básico, “mientras menos ácido es más básico”. Por esto menciona que el ácido acético estaría en primer lugar, pero tiene dudas con el ácido sulfúrico y el ácido clorhídrico porque ambos son ácidos fuertes y no recuerda las constantes de sus primeros protones. Menciona que podría ser por protonación, pero no sabría decirnos sinceramente. Reitera que sabiendo el pKa se puede conocer el pKb e identificar quién tendría el comportamiento más básico o menos básico, el pKa del ácido acético es de 4.75 por lo que su pKb sería 9 y algo. Luego indica que el ácido clorhídrico es menos ácido que el primer protón del ácido sulfúrico porque está estabilizado por resonancia, por lo que el orden vendría siendo el ácido acético, el ácido clorhídrico y el ácido sulfúrico. Declara que la pregunta sobre el comportamiento básico no se les enseña a los alumnos y reitera que la pregunta es extraña. Incluye el concepto de equilibrio químico para introducir las bases conjugadas de las moléculas como “estructuras sin el protón con la carga negativa” y que cuando se habla de pKb es cuando la especie capta el protón y de esta manera el ion acetato tiene un comportamiento básico de derecha a izquierda que es la resta de $14 - 4.75$, mientras que en el ácido clorhídrico y el ácido sulfúrico la especie que capta el protón es la base conjugada. Añadiendo además que en el equilibrio químico siempre hay una molécula que se comporta como ácido y otra

como base, y dependiendo de cuál sea fuerte o débil se habla de ácido con su base conjugada o, base con su ácido conjugado. Propone protonar los ácidos como si fueran bases, utilizando los oxígenos con pares electrones libres, pero finalmente dice que tampoco “calza”, por eso cuando se pregunta por características básicas tendría que ser de la base conjugada de los ácidos. Luego dibuja la ecuación general de disociación del ácido. Señala que el ácido clorhídrico y el ácido sulfúrico tienen un equilibrio desplazado hacia la derecha porque son fuertes, lo que quiere decir que la base conjugada no tiende a captar un protón, siendo peor base. Por consiguiente, dice que la base conjugada del ácido sulfúrico es la más estabilizada y que es más débil porque el ácido es más fuerte. En cambio, la base conjugada del ácido clorhídrico, el cloruro, está estabilizada porque la carga negativa está sobre un elemento electronegativo, pero carece de resonancia como la base conjugada del ácido sulfúrico, por lo que su base conjugada es más fuerte. Menciona que el ácido acético es un ácido débil por lo que su base conjugada es la más fuerte y hace su orden donde en primer lugar está el ácido acético, luego el ácido clorhídrico y en tercer lugar el ácido sulfúrico. Finalmente resume diciendo que la base conjugada del ácido acético tiende a captar un protón y su equilibrio está desplazado hacia la izquierda, en cambio la base conjugada del ácido sulfúrico está estabilizada por resonancia además de que la carga negativa está sobre un elemento electronegativo, disminuyendo su comportamiento básico. Por otro lado, la base conjugada del ácido clorhídrico está sobre un elemento electronegativo, pero no posee resonancia, por lo anterior el orden que dio. Agrega que cuando existe resonancia, ocurre estabilización de las moléculas debido a que baja su energía de activación.

Profesor experto H

Lo primero que hace es entregarnos el orden, el que corrige cuando recuerda que el ácido clorhídrico es muy fuerte. Al justificar su orden nos dice que en primer lugar está el ácido clorhídrico que es un ácido mineral, que no posee constante de acidez porque posee una disociación completa y por eso es extremadamente fuerte.

Después el ácido acético que es un ácido carboxílico y orgánico. Finalmente, el ácido sulfúrico que posee dos grupos alcoholes que le otorgan acidez. Aclara que el ácido acético es más ácido que el ácido sulfúrico por la interacción que hay entre el grupo OH y el grupo carbonilo. Corrige su orden al comportamiento básico diciendo que sería todo al revés. Indica que su orden los hizo de acuerdo a los pKa y el carácter del grupo carbonilo y el grupo OH del ácido acético. En cuanto a la relación de la interacción entre el grupo OH y el carbonilo con la basicidad menciona que puede hacer una deslocalización electrónica con los pares electrónicos del OH en el ácido acético. Luego duda de su elección y dice que el grupo CH₃ no favorece la deslocalización electrónica porque le resta electronegatividad a la molécula. En cuanto al ácido sulfúrico señala que hay un símil de grupo carbonilo (cambia el Carbono por Azufre) y dos grupos OH que aportan densidad electrónica aumentando la acidez y disminuyendo la basicidad. Aclara el efecto del grupo metil diciendo que no es un atrayente de electrones y que no se lleva la densidad electrónica porque no es electronegativo, actuando como un efecto inductivo. Para explicar lo anterior, ejemplifica comparando el efecto del sustituyente (CH₃ o Cl) en la acidez de la molécula, donde la que posee el Cl es más ácida que la que posee el CH₃.

Profesor experto I

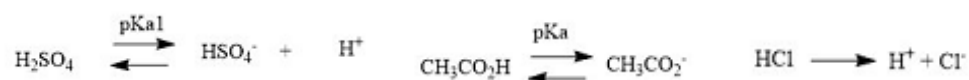
Inicialmente ordena las moléculas de acuerdo a la complejidad estructural, donde considera número y tipo de enlace, además del número de átomos. Luego se da cuenta de que el orden es según comportamiento básico. Menciona que las tres moléculas son ácidas, donde el ácido clorhídrico es fuerte, luego viene el ácido sulfúrico que posee dos constantes de acidez y también es un ácido fuerte pero no tanto como el ácido clorhídrico, y finalmente el ácido acético por sus constantes asociadas. Después corrige su orden al comportamiento básico diciendo que tendría que ser el orden invertido. Reitera que el orden lo hizo de acuerdo a los pKa. En cuanto a la relación del pKa con la estructura de la molécula el profesor indica que se relacionan por los enlaces que forman y la electronegatividad que forma cada átomo con los hidrógenos en este caso.

5.1.2 Categoría 3: Recursos Adicionales complementarios a la justificación

Profesor experto F

- Dibuja equilibrio de disociación de todas las moléculas (Figura 9).

Figura 9.



Equilibrio de disociación del set de moléculas.

Profesor experto G

- Dibuja ecuación general de disociación de un ácido (Figura 10)

Figura 10.



Ecuación de disociación de un ácido.

Profesor experto H

- Ejemplifica mediante comparación del CH₃ con el Cl como sustituyentes, señalando que la molécula que posee el Cloro debería ser más ácida.

Profesor experto I

- No hace uso de de recursos adicionales o complementos para argumentar.

En cuanto a los resultados obtenidos de esta pregunta, se pueden rescatar puntos relevantes, como:

1. Todos los profesores expertos identificaron las moléculas como ácidas e hicieron uso de los pKa aproximados para determinar la fuerza ácida de ellas.
2. Los profesores expertos F y G hicieron la salvedad de que el orden de la más básica a la menos básica era en torno a las bases conjugadas de las

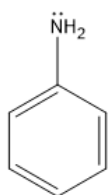
moléculas ácidas planteadas en el set. Solo el profesor G menciona conceptos como estabilidad, electronegatividad y resonancia al momento de analizar las bases conjugadas

- Los profesores expertos F, H e I señalaron que mientras más ácida la molécula menos básica. Solo el profesor experto H analiza la estructura de las moléculas y sus grupos funcionales para determinar la fuerza ácida de ellas, para luego definir su basicidad.

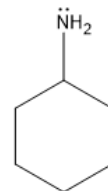
5.2. Pregunta 2 de Entrevista

En este set de moléculas (Figura 11) se pidió a los profesores expertos determinar cuál de ellas era la más básica y las razones de su elección.

Figura 11.



Molécula A



Molécula B

Set de moléculas pregunta 2

5.2.1. Categoría 1: Conceptos sobre Teorías Químicas

Profesor experto F

Inicialmente identifica que ambas moléculas son básicas, siendo más básica la ciclohexilamina y la menos básica la anilina. Señala que los electrones de la anilina están deslocalizados porque forman parte de las estructuras resonantes del anillo aromático, lo que produce que el par de electrones esté menos disponible para interactuar con un protón o alguna especie electrofílica. Mientras que en el caso de la ciclohexilamina no hay deslocalización de los electrones dentro de ningún sistema conjugado, por lo que están completamente localizados y disponibles para interactuar con un protón o cualquier tipo de electrófilo.

Profesor experto G

Inicialmente identifica que ambas moléculas son básicas y que el comportamiento básico va a ser atribuido por los pares de electrones que están sobre el nitrógeno, que se protona comportándose como una base. Comienza comparando ambas moléculas realizando un orden de mayor a menor basicidad donde primero están las aminas alifáticas, luego el amoníaco y finalmente las aminas con anillos aromáticos como la anilina. Identifica la estructura de la ciclohexilamina como una amina alifática de R común y corriente. Luego dibuja la reacción de protonación de las aminas indicando la base y el ácido conjugado. A su vez define la teoría de Lewis como la capacidad de una molécula de donar electrones, y define la teoría de Bronsted-Lowry como la capacidad de captar un protón generando un catión. Prosigue con la comparación entre ambas moléculas mencionando que hay una clasificación que dice que las aminas alifáticas (ciclohexilamina) de R común y corriente, poseen su par de electrones disponibles para poder captar un protón y por eso es la más básica de las dos. Mientras que los electrones del nitrógeno de la anilina están en conjugación con el sistema aromático o sistema pi conjugado, obteniéndose varias estructuras resonantes, haciendo a los electrones menos disponibles para ser protonados, por lo tanto, su basicidad es menor en comparación con las aminas alifáticas.

Profesor experto H

Inicialmente identifica que la anilina sería la más básica porque la resonancia disminuye la acidez por lo tanto potencia la basicidad. Luego corrige diciendo que la resonancia aumenta la acidez. Para explicar su decisión compara ambas moléculas ejemplificando a través del fenol, mencionando que, al perder el protón, sería el fenolato, el cual posee estabilización por resonancia. En cambio, el grupo amino de la anilina al ser protonado, como queda muy positivo, no cede su par de electrones al ciclo como lo haría el grupo NH₂, que es un dador de electrones.

Profesor experto I

Identifica la ciclohexilamina como la más básica. Señala que la basicidad está dada por el par de electrones no enlazantes del nitrógeno en ambas moléculas. Indica

que en la anilina esos electrones están involucrados en la resonancia del anillo aromático, mientras que en la ciclohexilamina no ocurre, por lo que sus electrones poseen mayor disponibilidad para formar un enlace, comportarse como una base de Lewis o para compartirse.

5.2.2. Categoría 2 : “Secuenciación de los Conceptos sobre Teoría Química ”

Para una mayor comprensión de las representaciones visuales (Figura 12) revisar anexo ¿Cómo leer las Representaciones visuales? (Anexo 4)

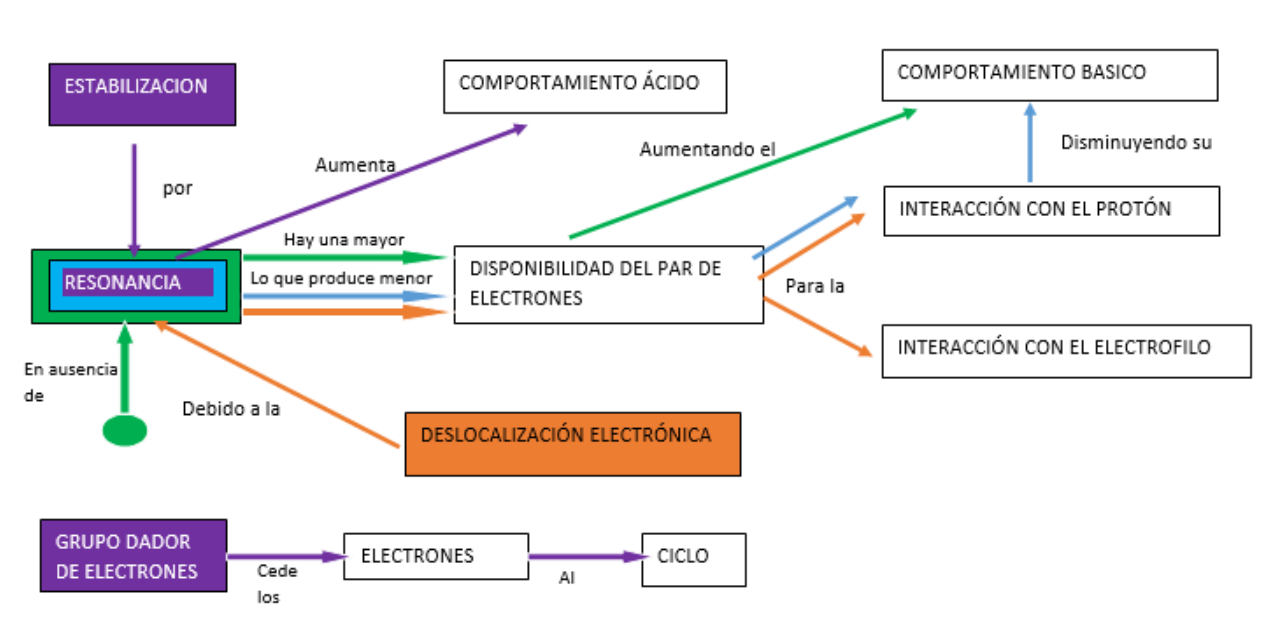
Figura 12.

Profesor experto F: Naranja

Profesor experto G: Celeste

Profesor experto H: Morado

Profesor experto I: Verde



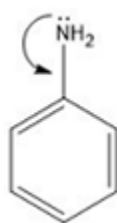
Representación Visual pregunta 1.

5.2.3. Categoría 3: Recursos Adicionales complementarios a la justificación

Profesor experto F

- Dibuja flecha de movimiento de los electrones del Nitrógeno (Figura 13) para explicar su deslocalización hacia el anillo aromático.

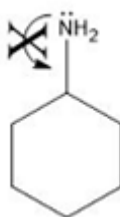
Figura 13.



Movimiento de los electrones del Nitrógeno.

- Dibuja flecha de movimiento de los electrones del Nitrógeno con una cruz (Figura 14) sobre ella para explicar que no hay deslocalización porque no existe sistema conjugado.

Figura 14.



Movimiento de los electrones del Nitrógeno.

Profesor experto G

- Dibuja la reacción de protonación de las aminas (Figura 15) para hacer una relación ácido-base y señalar la base (RNH₂) y su ácido conjugado (RNH₃⁺).

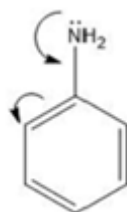
Figura 15.



Reacción de protonación de las aminas.

- Dibuja flecha de movimiento de los electrones del Nitrógeno (Figura 16) para explicar que están en conjugación con el sistema aromático o el sistema pi conjugado.

Figura 16.



Movimiento de los electrones del Nitrógeno.

- Utiliza teoría ácido base de Lewis definiéndola como la capacidad de una molécula de donar electrones.
- Utiliza teoría ácido base de Bronsted-Lowry definiéndola como la capacidad de una molécula para captar protones.

Profesor experto H

- Ejemplifica mediante el Fenol, mencionando que es similar a la molécula A, para señalar que al perder un protón la tendría estabilización por resonancia, mientras que el grupo amino de la molécula A al protonarse quedaría muy positivo y no cedería el par de electrones al ciclo.

Profesor experto I

- Utiliza teoría ácido-base para señalar que la basicidad está dada por el par de electrones no enlazantes.

5.3. Pregunta 3 entrevista

En este set de moléculas (Figura 17) se pidió a los profesores expertos determinar cuál de ellas era la más básica y las razones de su elección.

Figura 17.



Set de moléculas pregunta 3.

5.3.1. Categoría 1: Conceptos sobre Teorías Químicas

Profesor experto F

Inicialmente menciona que los OH a pesar de que posee electrones de tipo n para poder compartirlos no se consideran sustancia básicas, mientras que los Nitrógenos y su par de electrones para compartir sí. Decide que la molécula más básica es la molécula A y la menos básica es la molécula B, prosigue comparando la capacidad de los electrones de tipo n del oxígeno y del nitrógeno, señalando que el oxígeno no tiene la capacidad que tiene el nitrógeno para interactuar con especies electrofílicas para poder considerarse una base. Compara la estabilidad de la especie protonada de ambas moléculas, indicando que el nitrógeno cuaternizado (NH_3^+) es una especie extremadamente estable, por lo tanto, el equilibrio que se forma entre la base y la especie protonada termodinámica factible, en cambio en la molécula B el enlace entre el oxígeno y el hidrógeno es mucho más débil porque se disocia rápidamente. Menciona que para lo anterior debe haber alguna

consideración termodinámica y que cuando enseña química orgánica no se habla del oxígeno como una base, si no que como un aceptor de puentes de hidrógenos a través del par de electrónico de tipo n y un dador de puentes de hidrógenos a través del hidrógeno unido al oxígeno, mientras que en las aminas si, a pesar que el nitrógeno tiene la capacidad de ser dador de puentes de hidrógenos a través de los hidrógenos y un aceptor de puentes de hidrógeno a través del par electrónico del nitrógeno. Señala que, si la ciclohexilamina se pone en una solución acuosa y se mide el pH este dará básico, pero mientras que si uno pone el ciclohexanol en una solución acuosa y mide el pH este será neutro, demostrando que los alcoholes no son bases. Añade que su decisión fue por una definición experimental.

Profesor experto G

Inicialmente señala que la de mayor basicidad es la molécula A y la de menor basicidad es la molécula B, diciendo que las aminas por definición son más básicas que los alcoholes. Indica que las aminas y los alcoholes ambos se pueden comportar como bases donando ese par de electrones para poder captar un protón sin embargo es mucho más fácil protonar una amina debido a la electronegatividad del átomo que tiene su par de electrones para poder compartir. Menciona que la electronegatividad del oxígeno es más alta que el nitrógeno, por lo que tiende a no compartir esos pares de electrones y por esa razón las aminas son más básicas que los alcoholes alifáticos. Luego el profesor señala que las moléculas son isósteros, o sea que tienen el mismo comportamiento electrónico, es decir ambos se comportan como bases. Señala que en el concepto de ácido base de Lewis ese par de electrones libres se están comportando como base porque tienen la capacidad de donar electrones o captar protones si se trata de ácidos. Finalmente resume que el elemento más electronegativo va a disminuir la basicidad, porque ellos más bien retienen esos pares de electrones y no los quieren compartir.

Profesor experto H

Determina que la más básica es la molécula A, principalmente por la diferencia de electronegatividad del nitrógeno y el oxígeno, además de la naturaleza del

sustituyente, señala que todo lo relacionado con un grupo amino tiene más tendencia a la basicidad. Menciona que la molécula A tiende a captar protones y que la molécula B a perder ese protón más ácido.

Profesor experto I

Decide que la más básica es la molécula B y la menos básica la molécula A. Señala que el hidroxilo es una base fuerte debido a que posee dos pares de electrones no enlazantes y en el caso de las aminas son una base un poco más débil porque tienen un par de electrones para compartir y comportarse como una base.

5.3.2. Categoría 2: “Secuenciación de los Conceptos sobre Teorías Químicas”

Figura 18.

- Ciclohexanol en solución acuosa da pH neutro

Profesor experto G

- Para definir el comportamiento de una base y un ácido señala que en el “concepto de Lewis”:
 - “Una base tiene la capacidad de donar electrones”
 - “Un ácido tiene la capacidad de captar protones”

Profesor experto H

- No hace uso de de recursos adicionales o complementos para argumentar.

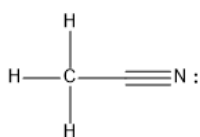
Profesor experto I

- No hace uso de de recursos adicionales o complementos para argumentar.

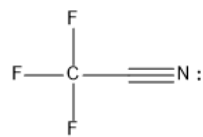
5.4. Pregunta 4 entrevista

En este set de moléculas (Figura 19) se pidió a los profesores expertos determinar cuál de ellas era la más básica y las razones de su elección.

Figura 19.



Molécula A



Molécula B

Set de moléculas pregunta 4.

5.4.1. Categoría 1: Conceptos sobre Teorías Químicas

Profesor experto F

En primer lugar indica que el nitrógeno de los nitrilos rara vez son considerados como base o ácido a pesar de que el par de electrones este perpendicular al sistema π y no formen parte de estructuras resonantes, pero la capacidad de interactuar de ese par electrónico del nitrógeno con una especie electrofílica es mucho más grande en la molécula A que en la molécula B. Señala que en la molécula A el CH₃ produce un efecto inductivo hacia el grupo nitrilo con una deslocalización de cargas que va en esa misma dirección, lo que produce una mayor localización de los electrones de tipo n del nitrógeno. Por otro lado, la alta electronegatividad del flúor produce que la deslocalización, el efecto inductivo y el momento dipolar sean opuestos a los del grupo metil de la molécula A, lo que significa que los electrones del nitrógeno de la molécula B están menos localizados por lo tanto la molécula es menos básica, mientras que en la molécula A están más localizados y por ende es más básica. Reitera que no definiría el grupo nitrilo como base, y que el par de electrones de la molécula A están más localizados debido al efecto inductivo del grupo metilo, mientras que en el caso de la molécula B están menos localizados debido a que el trifluorometilo tiene un efecto inductivo negativo

Profesor experto G

Declara que la pregunta es fácil y señala a la molécula A como la más básica y la molécula B como la menos básica. Menciona que los nitrilos no poseen un comportamiento muy básico, comparándolo con las aminas que son mucho más básicas que los nitrógenos del nitrilo que poseen un par de electrones libres. Aclara que la molécula tiene que tratar de donar sus electrones para que pueda captar el protón, que se tienen que compartir. Señala que el trifluorometano es un grupo atractor de electrones, debido a la alta electronegatividad del flúor, por ende, la densidad electrónica está desplazada hacia los halógenos. Menciona que en un diagrama de potencial eléctrico de la molécula A, las zonas rojas, que es la de alta densidad, sería más intensa sobre el nitrógeno en comparación con la molécula B, debido al desplazamiento de la densidad electrónica hacia el trifluorometano, entonces los sustituyentes deslocalizan los pares de electrones, disminuyendo la basicidad. En cambio, señala, que el grupo metil posee un efecto inductivo positivo,

como que estaría donando electrones. Agrega que un nitrógeno con hibridación sp^3 es más básico que uno sp^2 y uno sp , el nitrógeno de ambas moléculas es sp , por lo que sería la hibridación menos básica. Aclara que, en término de las dos moléculas, la molécula B adicionalmente posee un trifluorometil que ejerce atracción de la densidad electrónica por lo que el par de electrones del nitrógeno están menos disponibles en comparación con los del nitrógeno de la molécula A. Finalmente agrega que no se acuerda del efecto que tiene la hibridación sobre el comportamiento básico, mencionando que puede ser por la distancia de enlace.

Profesor experto H

En primera instancia menciona la alta densidad del triple enlace de la molécula B que está siendo llevada hacia el grupo CF_3 que es un atrayente de electrones, compitiendo con el grupo nitrilo de esa misma molécula. Mientras que en la molécula A el grupo metilo tiene un efecto inductivo, pero no un efecto electronegativo como en la molécula B, por ende, en comparación la más básica sería la A. Aclara que el CF_3 es un símil del grupo CH_3 , que lo único que cambia son sus sustituyentes, los hidrógenos por flúor, entonces como estos últimos poseen alta electronegatividad potenciarían la naturaleza del grupo nitrilo y su alta densidad electrónica, mientras que el grupo metil no potenciaría dicho efecto. Indica que el efecto inductivo resta basicidad a la molécula cuando son con grupo electronegativos, debido a que estos tienden a aumentar la acidez. Lo anterior lo ejemplifica mediante la comparación entre 2 alcoholes, uno que posee un cloro y otro que no, siendo más ácido el que posee el cloro, por lo que los grupos electronegativos potencian un poco más la acidez. Finalmente señala que los flúores se están llevando la densidad electrónica hacia ellos, por lo que en la molécula B habría un doble efecto, alta densidad electrónica en el triple enlace y tres átomos extremadamente electronegativos.

Profesor experto I

El profesor menciona que la molécula más básica sería la A y la menos básica la B por la disponibilidad de los electrones, debido a que está unido a 3 flúor y esos flúores tienen mayor electronegatividad que los hidrógenos de la molécula A, por lo

tanto, están tirando el par de electrones pi del triple enlace, dejando menos disponibles el par de electrones no enlazantes. Menciona que hay una mayor inducción hacia el trifluorometilo, que no ocurre en la molécula A.

5.4.2. Categoría 2: “Secuenciación de los Conceptos sobre Teorías Químicas”

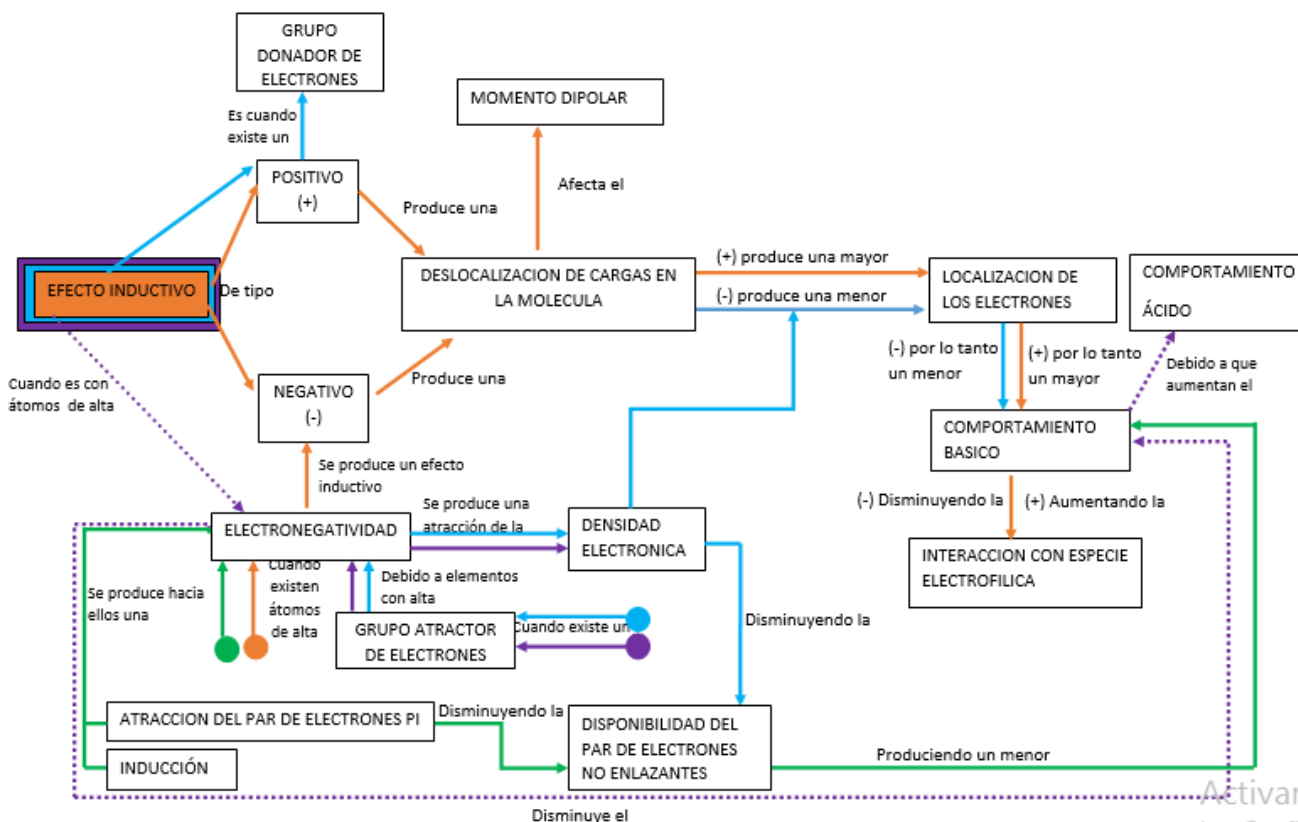
Figura 20.

Profesor experto F: Naranja

Profesor experto G: Celeste

Profesor experto H: Morado

Profesor experto I: Verde



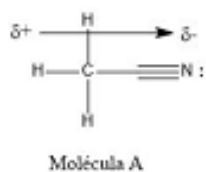
Representación Visual pregunta 4

5.4.3. Categoría 3: Recursos Adicionales complementarios a la justificación

Profesor experto F

- Dibuja flechas y deltas (Figura 21) para señalar cómo se deslocalizan las cargas por el efecto inductivo que produce el grupo CH₃ en la molécula A.

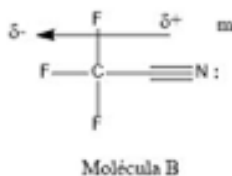
Figura 21.



Dibujo de flechas y deltas de la molécula A.

- Dibuja flecha y deltas (Figura 22) para señalar cómo se deslocalizan las cargas por el efecto inductivo que produce el grupo CF₃ en la molécula B.

Figura 22.

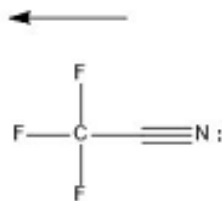


Dibujo de flechas y deltas de la molécula B.

Profesor experto G

- Dibuja flecha para señalar que la densidad electrónica (Figura 23) está desplazada hacia el trifluorometano.

Figura 23.



Dibujo de flecha de la molécula B

- Utiliza Teoría ácido-base para mencionar que la molécula tiene que tratar de donar o compartir sus electrones para que pueda captar el protón.

Profesor experto H

- Para explicar que el efecto inductivo con grupos electronegativos restan basicidad porque tienden a aumentar la acidez, ejemplifica mediante la comparación entre 2 alcoholes, uno que posee un cloro y otro que no, mencionando que el más ácido es el que posee el cloro, por lo que los grupos electronegativos potencian un poco más la acidez.

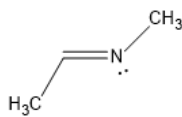
Profesor experto I

- No hace uso de recursos adicionales o complementos para argumentar.

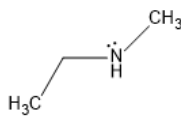
5.5. Pregunta 5 entrevista

En este set de moléculas (Figura 24) se pidió a los profesores expertos determinar cuál de ellas era la más básica y las razones de su elección.

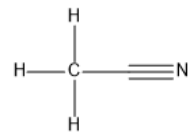
Figura 24.



Molécula A



Molécula B



Molécula C

Set de moléculas pregunta 5.

5.5.1. Categoría 1: Conceptos sobre Teoría Química

Profesor experto F

En un principio señala el ordenamiento de las moléculas según la localización del par electrónico del nitrógeno, indicando que la más localizada y la más básica sería la amina secundaria (molécula B), la intermedia sería la molécula A y la menos básica la molécula C. Aclara que no compararía la molécula C con las otras en términos de basicidad debido a que el grupo nitrilo no se considera básico porque su capacidad de formar puentes de hidrógenos es muy pequeña. Indica que el par de electrones del nitrógeno está apuntando de manera perpendicular al sistema π y está inmerso en él, por esto la interacción con el electrófilo es difícil, debido a que le cuesta mucho acercarse a toda una nube electrónica. Señala que dicha interacción está impedida estéricamente y electrónicamente de forma repulsiva. Luego menciona que la molécula A si es básica y se puede obtener de ella el Iminium, sin embargo, la más básica sería la molécula B que es una amina secundaria. Lo anterior es porque en la molécula A hay problemas estéricos debido al doble enlace que impiden que el nitrógeno sea muy básico, por otro lado, señala que la amina secundaria es sumamente estable porque el par electrónico está esperando que llegue un electrófilo para interactuar con él, formando sales de amonio. Agrega que las aminas secundarias son más básicas que las primarias y que las terciarias son más básicas que las secundarias, debido al efecto inductivo positivo que generan los grupos alquilo, afectando al grado de localización del par de electrones del nitrógeno, es decir, la amina primaria aporta con un efecto

inductivo por lo que sería la menos básica, mientras que la amina terciaria aporta con tres efectos inductivos, siendo la más básica porque su grado de localización del par electrónico es mayor. Recalca que el aumento del comportamiento básico de las aminas primarias, secundarias y terciarias es en el vacío, porque en solución acuosa depende del grado de solvatación que tenga con el solvente.

Profesor experto G

Inicialmente el profesor ordena las moléculas, donde la más básica es la B, luego la A y finalmente la C, señala que la explicación de su orden está en la hibridación. Luego dice que puede nombrar los grupos funcionales señalando que la molécula A es una imina, la molécula B una amina secundaria y la molécula C un nitrilo. En primera instancia no recuerda como la hibridación afecta el comportamiento básico mencionando que se trata por la distancia y por una cuestión de cómo está ubicada la densidad electrónica sobre el orbital. Luego señala que el par de electrones del nitrógeno de la molécula C está tiene hibridación sp , por lo tanto, están sobre un orbital atómico sp , el cual tiene mayor característica s , y estos son más compactos y por lo tanto el par de electrones están más atraídos hacia el núcleo. Lo anterior lo compara con una hibridación sp^3 donde existe un 25% de carácter s y un 75% de carácter p y los orbitales p son más grandes y cuando son más grandes tienen una mayor distancia del orbital para poder alcanzar un protón.

Profesor experto H

En primera instancia enumera las moléculas, y menciona que puso la molécula B como la más básica debido a que el nitrógeno tiene una hibridación sp^3 y ese par electrónico podría captar un protón y quedar con carga formal positiva. Señala que la molécula A tiene una hibridación sp^2 y que tiene un doble enlace, si bien podría captar otro protón hay una densidad electrónica que está interfiriendo y en molécula C pasaría lo mismo, mencionando que esta última tiene hibridación sp y que existiría un mayor impedimento porque la densidad electrónica es alta debido al triple enlace. Realiza un ejemplo a través de ciclos que tienen nitrógeno, donde se favorece la resonancia, para señalar que en la molécula A y la C no es posible la resonancia y

por lo tanto esos pares de electrones del nitrógeno los va a ocupar para poder captar un protón, pero también estarán en juego con los electrones del doble o triple enlace respectivamente, lo que no favorece la captura del protón. Señala que en la molécula B en relación a los electrones es un poco menos inestable, porque están con hibridación sp^3 no hay interacción alrededor de ellos y es más factible que se acerque una molécula donde hay protón ácido. Reitera el impedimento estérico producido por la nube electrónica del triple enlace del grupo nitrilo en la molécula C.

Profesor experto I

Ordena las moléculas posicionando en primer lugar la molécula B, luego la A y la menos básica la C. Señala que en la molécula A no hay insaturación, solo enlaces simples y por lo tanto sería una amina que tendría sus pares de electrones libres. Menciona que en la molécula A tiene un enlace doble, lo cual hace menos disponible el par de electrones no enlazantes, indicando que la disponibilidad sería aún menor en la molécula C para formar un enlace como base. Señala que la hibridación del nitrógeno de la molécula B es más simple. Finalmente indica que mientras más hibridado menos disponible queda el par de electrones y que por eso sería menos básica.

5.5.2. Categoría 2: “Secuenciación de los Conceptos sobre Teoría Química”

Debido a la extensión de los discursos de los profesores expertos y la gran cantidad de conceptos y distintas secuenciaciones, se optó por elaborar representaciones visuales separadas, es decir, una para cada profesor experto.

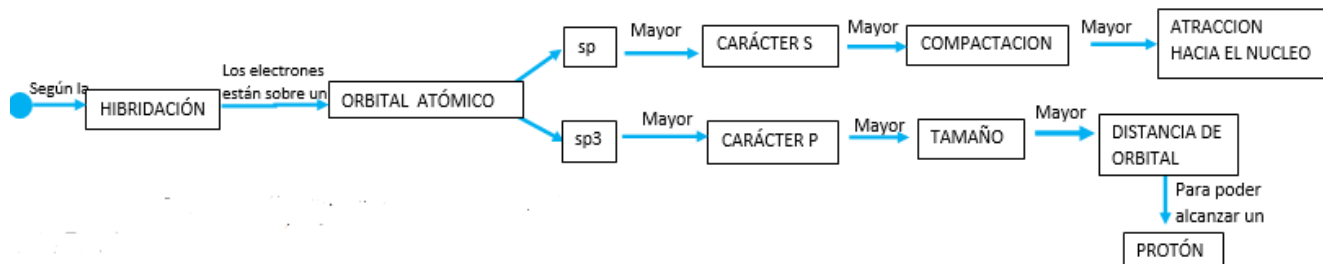
Profesor experto F: Naranja

Profesor experto G: Celeste

Profesor experto H: Morado

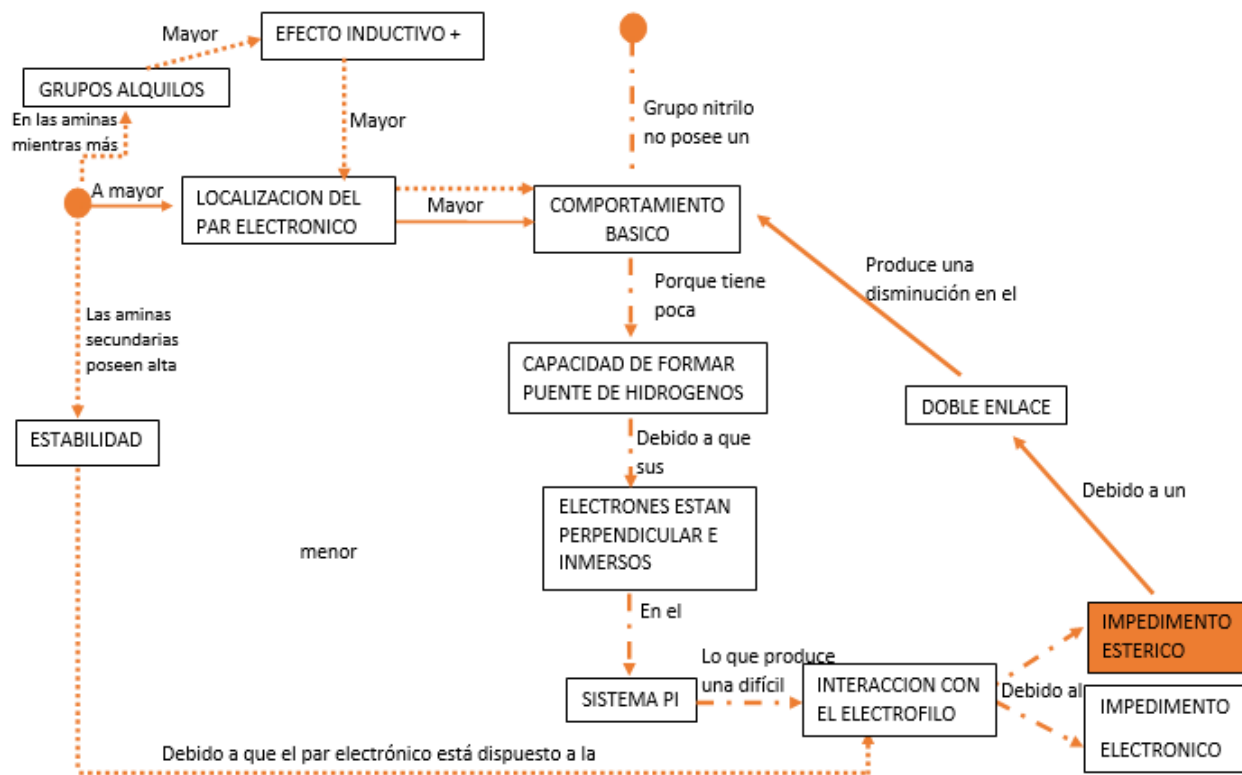
Profesor experto I: Verde

Figura 25 a.



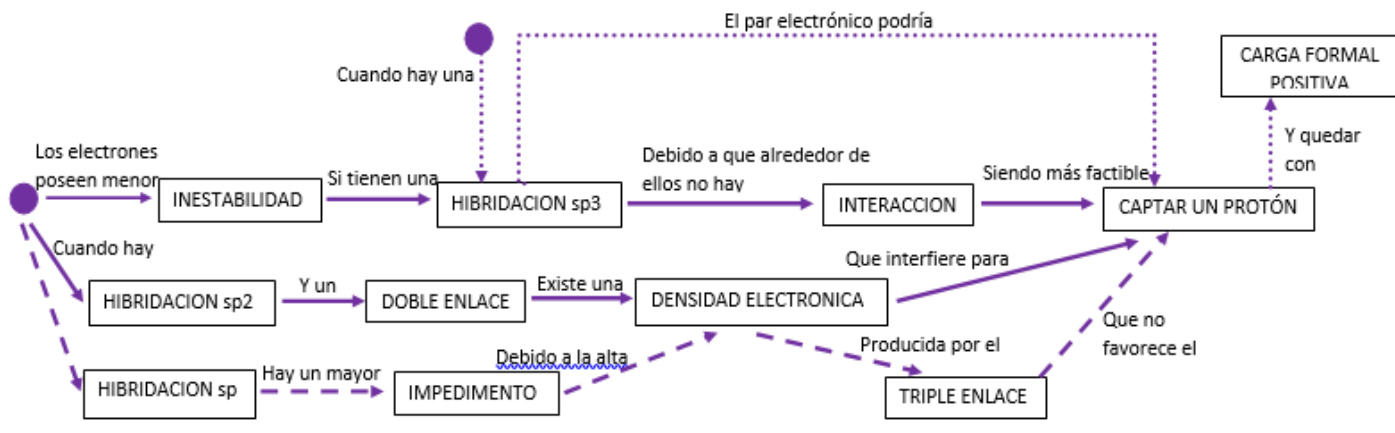
Representación visual Profesor experto F pregunta 5.

Figura 25 b.



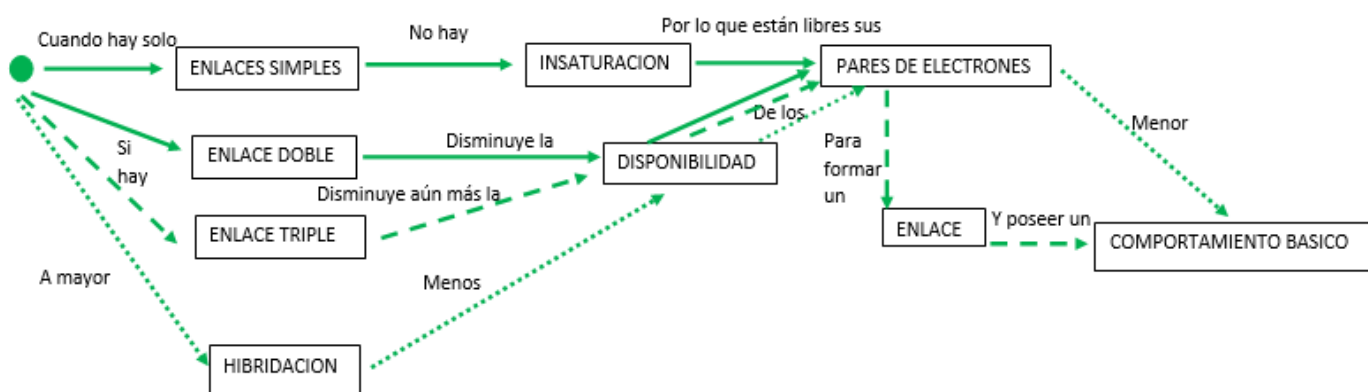
Representación visual Profesor experto G pregunta 5.

Figura 25 c.



Representación visual Profesor experto H pregunta 5.

Figura 25 d.



Representación visual Profesor experto I pregunta 5.

5.5.3. Categoría 3: Recursos Adicionales complementarios a la justificación

Profesor experto F

- Dibuja orbitales (Figura 26) de la molécula C para señalar que al electrófilo le cuesta acercarse debido a toda esa nube electrónica.

Figura 26.



Orbitales de la molécula C.

- Dibuja orbital del par electrónico del nitrógeno (Figura 27) de la molécula B para señalar que la molécula es estable y que los electrones están esperando a que llegue un electrófilo para interactuar.

Figura 27.



Orbital del par de electrones del Nitrógeno.

- Para señalar el efecto inductivo de los grupos alquilo en las aminas primarias, secundarias y terciarias (Figura 28) al vacío dibuja las fórmulas de las aminas y flechas

Figura 28.



Efecto inductivo de las aminas.

Profesor experto G

- No hace uso de recursos adicionales o complementos para argumentar.

Profesor experto H

- Ejemplifica mediante ciclos que poseen nitrógeno para señalar que en esos casos se favorece la resonancia, mientras que la molécula A y C no es posible hacer resonancia por lo que los pares de electrones del nitrógeno se ocupan para captar un protón.

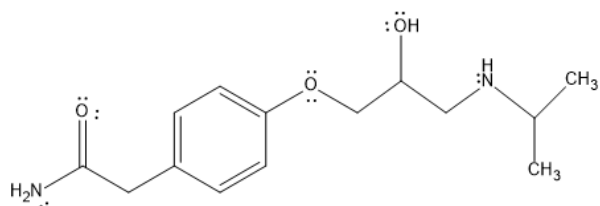
Profesor experto I

- No hace uso de recursos adicionales o complementos para argumentar.

5.6. Pregunta 6 de Integración

En esta molécula (Figura 29) se pidió a los profesores expertos determinar cuál era el átomo más básico y las razones de su elección.

Figura 29.



Molécula pregunta 6.

5.6.1. Categoría 1: Conceptos sobre Teorías Químicas

Profesor experto F

Señala que el grupo amino es el más básico de la molécula y que la amida no es básica porque no posee propiedades ácido base debido a que para poder protonarlas tienen que estar a pH 2, aun así, se disocian rápido. Justifica lo anterior mencionando que el par de electrones de la amida forma parte de las estructuras resonantes, donde los electrones del nitrógeno se deslocalizan hacia el carbonilo y los electrones π del doble enlace carbono-oxígeno se van hacia el oxígeno. Continúa señalando que los alcoholes y éteres no se consideran ni bases ni ácidos, aunque el fenol si se considera ácido porque se disocia, teniendo un pKa cercano a 12. También indica que los OH a pH normal entre 0 y 14 no se disocian. Señala que

el tiempo de vida de la estructura resonante donde el oxígeno posee carga parcial negativa y el nitrógeno carga parcial positiva, es bajísimo, mencionando que hay un equilibrio dinámico. Indica que las estructuras resonantes son una mentira utilizada para explicar algún fenómeno y en este caso explica la deslocalización del par de electrones del nitrógeno de la amida, debido a que forma parte de las estructuras resonantes, por lo que la interacción con el electrófilo, como el protón, no es factible. Explica que la carga negativa del oxígeno dura poco tiempo porque está completamente deslocalizada. Luego comenta sobre que cuando uno dibuja las estructuras resonantes se genera el híbrido de resonancia, lo que significa que hay una deslocalización de cargas, reitera que las cargas no están localizadas por lo tanto el electrófilo va a decir “ahh ese nitrógeno tiene un par de electrones” pero cuando se va acercando desapareció el par de electrones, lo mismo ocurre con la carga negativa sobre el oxígeno. Por lo anterior señala que el electrófilo dice “no, este par de electrones no me sirve para interactuar con él porque nunca lo voy a poder agarrar”, indicando que esa es la gracia de las aminas, que tienen su par electrónico completamente localizado y no se puede mover para ningún lado. Señala que para protonar los electrones de los otros oxígenos hay que colocarlos a un pH ácido y que a lo más van a formar puentes de hidrógeno, pero no un enlace covalente. Aclara que no sabría decir porque la capacidad de protonarse de un oxígeno es menor en comparación al nitrógeno de las aminas, señala que habría que mirar aspectos cuánticos, pero reitera que experimentalmente para protonar el oxígeno de un éter o de un alcohol, hay que agregarle ácido. Indica que la fuerza de un oxígeno para disociar el agua es baja, por lo que si hay un éter o un alcohol en una solución acuosa el pH dará neutro, en cambio el nitrógeno al ponerlo en solución acuosa inmediatamente saca el protón del agua dando un pH entre 8,6 y 8,7. Finalmente menciona que al poner las amidas en solución acuosa tampoco tiene la capacidad de sacarle un protón al agua, entonces si quieres protonarla hay que meterle ácido, aumentando el pH de la disolución, por eso se dice que las amidas no poseen propiedades ácido base.

Profesor experto G

El profesor comienza diciendo que el átomo más básico es la amina, porque al comparar un átomo de nitrógeno, con hibridación sp^3 , con el oxígeno del alcohol secundario y el oxígeno del fenóxido, el elemento menos electronegativo se comporta como mejor base, descartando el alcohol secundario y el fenóxido, además menciona que el fenóxido está estabilizado por resonancia con el anillo aromático. Por lo anterior la amina es mucho más básica que el alcohol secundario y el fenóxido. Luego compara el nitrógeno de la amina con el de la amida, diciendo que para que las amidas tengan un comportamiento básico, los electrones deben estar disponibles para poder protonarse y en la molécula están estabilizados por resonancia, por lo que la amida no tiene comportamiento básico. Agrega que no se acuerda de los valores del pK_a pero rodean la neutralidad por ende no son básicos, porque el par de electrones que tiene que estar disponible para alcanzar el protón está estabilizado por resonancia con el grupo carbonilo, entonces el heteroátomo que se protona de esta molécula es amina secundaria. Para finalizar menciona que, para poder comparar la amina con otro átomo de la molécula, tendría que ser con uno que no tenga ningún efecto más que un efecto inductivo, y ese sería el oxígeno del alcohol, y como el nitrógeno es menos electronegativo que un alcohol es más protonable el nitrógeno.

Profesor experto H

Comienza señalando que el átomo más básico tendría que ser uno de los dos nitrógenos. Menciona que si el nitrógeno de la amida capta un protón quedaría como un NH_3^+ y podría hacer resonancia, y si la amina capta un protón no podría hacer resonancia. Indica que está con la duda. Vuelve a mencionar que si el nitrógeno de la amida captura un proton quedaría como NH_3^+ y que no tiene para hacer resonancia, en cambio la amina quedaría igual positivo, pero no tiene interferencia del entorno. Luego realiza una comparación entre el oxígeno y el nitrógeno, señalando que al ver su potencialidad se basa principalmente por la diferencia de electronegatividad, por lo que el nitrógeno tiene carácter más básico. Indica que ambos nitrógenos tienen hibridación sp^3 , pero pensando en el impedimento estérico es el entorno el que varía. Indica que el NH_2 está al lado de un grupo carbonilo que

tiene alta densidad electrónica por el doble enlace oxígeno donde hay electronegatividad. Por otra parte la amina está rodeada por un grupo isopropil que le otorga impedimento estérico y al lado tiene un grupo CH₂ y OH, señalando que la amina sería un poco más básica para capturar un protón, puesto que ambos tienen la misma hibridación pero en la amina el impedimento estérico es menor, si bien hay una cadena ramificada con hibridación sp³, en la amida el impedimento estérico es más cercano, es un enlace más rígido el doble enlace del carbonilo y luego separado de un CH₂ hay un anillo benceno que también le otorga mayor impedimento estérico. Indica que pensando que el grupo amino debería acercarse a otra molécula a quitar el protón ácido, se inclinaría por él, porque puede ser más básico debido a que tiene menor impedimento estérico alrededor de él. Menciona que si se ve el orden en la tabla periódica del nitrógeno y el oxígeno se puede predecir el comportamiento básico, aunque están cerca y la electronegatividad no varía tanto, sin embargo, los nitrógenos por naturaleza y por ubicación en la tabla periódica, están asociados a moléculas con mayor carácter básico y que el oxígeno tiene mayor tendencia por su electronegatividad a captar protones ácidos, indicando que por eso se dice que los protones en contacto con oxígeno tienen mayor carácter ácido. Señala que al ver las moléculas en un plano y al hacer un mecanismo, esta se puede acomodar según lo que quieras representar, pero en la realidad hay que considerar que esos carbonos tienen hibridación sp³ (grupo isopropil) y mayor libertad de movimiento, entonces al comparar ambos nitrógenos, el de la amina posee un carbono sp³ y un grupo voluminoso (isopropil) cerca ofreciendo un poco de impedimento estérico para la molécula, si se acerca a otra molécula para retirar un protón, sin embargo en la amina va a ser un poco menos rígido que la amida, porque en esta hay más electrones involucrados, también hay un doble enlace y es más rígido lo que le dificulta la libertad de rotación, en cambio en el grupo amino hay más libertad de rotación porque alrededor tiene puros carbonos sp³, lo cual le va a permitir acomodarse de mejor manera para acercarse a una molécula a retirar el protón ácido. Para finalizar menciona que el grupo carbonilo que está al lado del grupo amida va a otorgarle mayor impedimento para acercarse, a pesar de que la amida está más a un extremo y la amina más al interior.

Profesor experto I

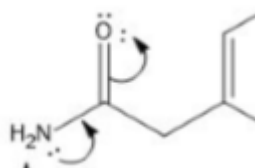
Indica en un principio que el grupo amida no es el más básico, que el oxígeno que está al lado del grupo carbonilo no se comporta como base y que los alcoholes son ácidos y también básicos. Señala que el grupo amida está comprometido en una resonancia. Indica que podría ser la amina, el alcohol o el oxígeno (fenóxido), porque se comporta como base porque puede atraer un par de electrones. Reitera que los alcoholes se comportan como base. Declara que está difícil porque todos tienen comportamiento ácido y base. Señala que la amida, la amina, el alcohol y oxígeno al lado del anillo aromático son bases y que el menos básico es la amida porque por resonancia ese par de electrones puede estar comprometido y es una base más débil. En el caso de los éteres también se comportan como base por los dos pares de electrones, los alcoholes tienen un comportamiento ácido-base, pero en este caso se estaría comportando como ácido, porque podría liberar un protón, pero también se podría comportar como base porque puede llevar un protón y se produce la deshidratación, y la amina se puede protonar y quedar como NH^+ . Indica que deja afuera el grupo amida porque tiene resonancia y son bases más débiles que las aminas. Señala que la amina es el átomo más básico, que los alcoholes son ácidos o bases débiles, pero más ácidos débiles con un pK_a de 16, que los éteres se pueden comportar como bases y pueden atraer electrones, corrige diciendo que pueden compartir un par de electrones, pero son bases débiles y en el caso del grupo amino de por sí son bases y se comporta en este caso como la base más fuerte. Menciona que los alcoholes son ácidos débiles por tanto tienden a comportarse más como ácido que como base, pero que igual se comportan como base porque pueden recibir un protón y después liberarlo como agua, pero es más débil e inestable, y en el caso de los éteres al estar unido a dos carbonos lo hace que sea más débil para formar un enlace e inestable debido al impedimento estérico, no así la disponibilidad del par de electrones del nitrógeno de la amina secundaria. Por último, indica el alcohol señalando que mientras más estable es menos básico y que tiende a no formar enlace porque tiende a liberar un protón que a recibirlo

5.6.2. Categoría 3: Recursos Adicionales complementarios a la justificación

Profesor experto F

- Dibuja el movimiento del par de electrones del nitrógeno (Figura 30) para señalar que la amida no es básica

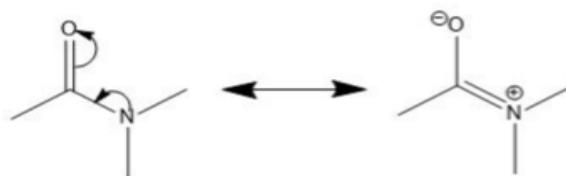
Figura 30.



Movimiento del par de electrones del nitrógeno.

- Dibuja la deslocalización del par de electrones del nitrógeno (Figura 31) hacia el carbonilo y los electrones π del doble enlace C=O se deslocalizan hacia el oxígeno

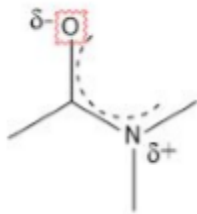
Figura 31..



Deslocalización del par de electrones del nitrógeno

- Dibuja el híbrido de resonancia (Figura 32) donde el oxígeno posee carga parcial negativa y el nitrógeno carga parcial positiva y menciona que la vida media es muy baja

Figura 32.



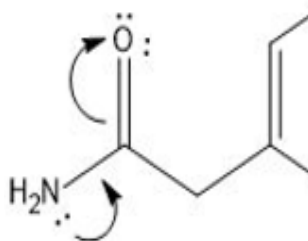
Híbrido de resonancia.

- Utiliza experiencia personal para señalar que experimentalmente para protonar el oxígeno de un éter o de un alcohol, hay que agregarle ácido. Menciona que los alcoholes y los éteres no se consideran ni bases ni ácidos, porque los OH a pH normales entre 0 y 14 no se disocian y para protonar los electrones de los oxígenos hay que colocarlos a pH ácido, formándose puentes de hidrógeno, pero no enlaces covalentes
- Utiliza experiencia personal para comparar la capacidad del nitrógeno con la del oxígeno señalando que la fuerza de un oxígeno para disociar el agua es baja, por lo que si hay un éter o un alcohol en una solución acuosa el pH dará neutro. En cambio, el nitrógeno al ponerlo en solución acuosa inmediatamente saca el protón del agua dando un pH de 8,6 y 8,7

Profesor experto G

- Dibuja el movimiento de los electrones que existe entre la amida y el grupo carbonilo (Figura 33) para mencionar que los electrones de la amida no están disponibles para protonarse porque están estabilizados por resonancia.

Figura 33.



Movimiento de electrones.

Profesor experto H

- No hace uso de recursos adicionales o complementos para argumentar.

Profesor experto I

- No hace uso de recursos adicionales o complementos para argumentar.

6. Discusión

6.1. Análisis comparativo y descriptivo de la Categoría 1 y 2 sobre conceptos de teorías químicas y su secuenciación.

El propósito de este análisis comparativo-descriptivo es registrar las diferencias y similitudes entre las justificaciones de los profesores expertos en torno a la Categoría 1 y 2 de las Preguntas de Entrevista. Como señalamos anteriormente, en este análisis no se incluye la Pregunta de Exploración ya que su objetivo, como dice su nombre, es explorar y registrar la respuesta que dan los profesores expertos cuando se les pregunta por la molécula más básica de un set de moléculas ácidas. Por esta razón tampoco es pertinente la elaboración de una representación visual porque no se analiza la secuenciación de los conceptos sobre teorías químicas.

Pregunta 2 Entrevista

- El profesor experto F relaciona la resonancia con la deslocalización del par de electrones, mientras que el profesor experto G se refiere a los electrones del nitrógeno en conjugación con el anillo aromático o el sistema π conjugado.

F: "(...) este par de electrones entra a formar parte de las estructuras resonantes del anillo aromático y luego este par de electrones está deslocalizado"

G: "Ese par de electrones va a estar en conjugación con el sistema aromático, con un sistema π conjugado ¿Bien?"

En la Sexta Edición del libro de Química Orgánica de Francis A. Carey (2010) se menciona en el capítulo uno que la resonancia corrige una deficiencia en las fórmulas de Lewis, donde se muestra a los electrones como si estuviesen localizados, pero en realidad los electrones se distribuyen según el más estable de sus arreglos, lo que significa que los electrones están deslocalizados en varios núcleos. Andrade-Gamboa y Donati (2006) señalan en su estudio sobre concepciones alternativas que la resonancia no es un fenómeno, sino un recurso

que entrega una posible solución a un problema. Bajo esta perspectiva, sólo un profesor experto señala lo mencionado anteriormente durante la entrevista, lo que se puede interpretar como un intento de incluir dentro de su justificación, una mirada epistemológica del concepto de resonancia.

- Los profesores expertos F y G relacionan resonancia con una menor disponibilidad del par de electrones del nitrógeno. Por otro lado, el profesor experto I relaciona la ausencia de resonancia con una mayor disponibilidad del par de electrones del nitrógeno.

F: "(...) este par de electrones entra a formar parte de las estructuras resonantes del anillo aromático y luego este par de electrones está deslocalizado, lo que significa de que la disponibilidad del par de electrones para interactuar con un protón o con alguna especie electrofílica, está disminuido"

G: "Ese par de electrones va a estar en conjugación con el sistema aromático, con un sistema π conjugado ¿Bien? en lo cual lo hace menos disponible para ser protonado"

I: "Mientras que en la molécula B no están involucrados en la resonancia por lo tanto tienen mayor disponibilidad"

- Solo el profesor experto G y el profesor experto I asociaron la disponibilidad del par de electrones del nitrógeno con el comportamiento básico de la molécula:

G: "Ese par de electrones va a estar en conjugación con el sistema aromático, con un sistema π conjugado ¿Bien? en lo cual lo hace menos disponible para ser protonado, por lo que la anilina baja su basicidad en comparación con las aminas alifáticas ¿Bien?"

I: "Mientras que en la molécula B no están involucrados en la resonancia por lo tanto tienen mayor disponibilidad para formar un enlace, para comportarse como base, para quedar como... como una base de Lewis"

- Por otra parte, los profesores expertos F y G relacionan la disponibilidad del par de electrones con la interacción con un protón, y en el caso del profesor experto F con la interacción con un electrófilo.

G: *“Ese par de electrones va a estar en conjugación con el sistema aromático, con un sistema π conjugado ¿Bien? en lo cual lo hace menos disponible para ser protonado”*

F: *“(…) lo que significa de que la disponibilidad del par de electrones para interactuar con un protón o con alguna especie electrofílica, está disminuido”*

Negrón A. (2015) señala, en Lecturas de apoyo para comprender mejor la química, que la diferencias entre nucleófilo y base Lewis se basan en conceptos cinéticos y termodinámicos. La autora indica que la acidez y la basicidad son términos termodinámicos, refiriéndose a posiciones de equilibrio entre un dador de electrones y un aceptor de electrones. Por otra parte, la electrofilia y nucleofilia son conceptos cinéticos, tratándose de la rapidez de reacción entre un nucleófilo y un electrófilo. Durante las entrevistas ningún profesor experto menciona dicha diferencia conceptual, pero si hacen uso de los conceptos y de su significado para justificar sus elecciones en el test

- Todos los profesores expertos mencionan el concepto “Resonancia” pero solo el profesor H lo vincula con la estabilización de la molécula y con el aumento de la acidez; identifica el grupo NH₂ como un grupo dador de electrones al ciclo.

“(…) como vamos a tener un ion aquí, que sería el fenolato, al perder el protón, eso va a tener mayor estabilización por resonancia” / “la resonancia aumenta la acidez perdón” / “(…) este grupo como es NH₂ es un dador de electrones, lo que hace es ceder su par de electrones al ciclo que está en la parte de abajo”

Negrón A. (2015) menciona que el fenómeno de resonancia es un efecto estabilizante y lo relaciona con la acidez, señalando que *“si la base conjugada está estabilizada por resonancia, el ácido donará más fácilmente su protón, es decir, será más ácido”*. Como observamos, el profesor experto H aborda la pregunta en torno al comportamiento ácido de las moléculas y no el comportamiento básico. Se verá más adelante que esta situación se repite en otras preguntas con el mismo profesor experto.

Tal como se observa, el principal concepto sobre teoría química contenido en las justificaciones de los profesores expertos es la “Resonancia”. Andrade-Gamboa y Donati (2006) señalan que dentro de las concepciones alternativas del concepto de resonancia pueden distinguirse confusiones epistemológicas (no distinguir entre realidad y modelo), ontológicas (pensar la resonancia como un proceso) y conceptuales (problemas con los principios explicativos del concepto). Los profesores entrevistados asocian el concepto de “Resonancia” con la deslocalización de cargas, con una menor disponibilidad del par de electrones, con un menor comportamiento básico, con un mayor comportamiento ácido, con menor capacidad de interactuar con un electrófilo y con la estabilización de la molécula. La manera en que secuencian estos conceptos y el nivel de profundidad que alcanzan en la justificación, varía en cada profesor. Es común, tanto a nivel escolar y universitario, que los profesores se vean en la necesidad de simplificar conceptos complejos, capacidad que requiere de extremo cuidado para no generar concepciones alternativas en los estudiantes. En este sentido, es fundamental que el docente esté consciente de las repercusiones del uso descuidado de palabras “poco” científicas, extrapolaciones o interpretaciones, con el propósito de no generar concepciones erróneas.

Pregunta 3 entrevista

- Los únicos dos profesores expertos que mencionan el concepto de “Electronegatividad” es el H y G
 - ❖ El profesor experto H lo menciona de forma aislada, es decir, no lo relaciona con ningún otro concepto

“La más básica tendría que ser ehhh la A, el nitrógeno versus el oxígeno, debería ser más básica ehh principalmente por la diferencia de electronegatividad”

- ❖ Y el profesor experto G señala que a mayor electronegatividad menor es el comportamiento básico debido a la retención del par de electrones sin compartir, siendo el único que indica como la electronegatividad afecta el comportamiento básico de las moléculas.

“cómo son tan electronegativos ellos más bien retienen esos pares de electrones y no los quieren compartir dicho de una manera simple”

La forma en que el profesor experto H y G hacen uso del concepto “Electronegatividad” difiere contundentemente en el nivel de profundidad con el que justifican. El profesor experto G señala como la electronegatividad afecta el comportamiento básico, mientras que el profesor experto H solo menciona “diferencia de electronegatividad” como justificación a su elección.

- Todos los profesores expertos indican en su discurso como se ve afectado el comportamiento básico del set de moléculas

- ❖ El profesor experto I señala que a mayor cantidad de pares de electrones no enlazantes mayor comportamiento básico.

“(…) el OH tiene dos pares de electrones no enlazantes y en el caso de las aminas que son bases un poco más débiles tienen un par de electrones para compartir, para comportarse como base”

- ❖ El profesor experto H indica que a mayor tendencia a captar un protón mayor es el comportamiento básico.

“ehh todo lo que es relacionado más con grupo amino tiene más tendencia a la basicidad, este ehh puede captar protones (molécula A) y este tiende a más fácil a perder ese protón que es más ácido (molécula B)”

- ❖ El profesor experto F señala que a mayor capacidad de los electrones de tipo n para interactuar con un electrófilo hay un mayor comportamiento básico

“los electrones de tipo n en el oxígeno (carraspea) no tiene la capacidad que tiene el nitrógeno para interactuar con especies electrofílicas para considerarse una base”

En esta pregunta, son variadas las justificaciones al momento de determinar el comportamiento básico de las moléculas. Los profesores expertos H y F relacionan la basicidad con la capacidad de interacción con protones y electrófilos. Esta tendencia ya se había observado en la pregunta 2 donde además no se hace diferencia entre los conceptos de nucleofilia y basicidad. Por otro lado, el profesor experto I asocia un aumento del comportamiento básico con una mayor cantidad de pares de electrones no enlazantes.

Se diseñó este set de moléculas para que los entrevistados hicieran uso del concepto de “Electronegatividad”, pero se obtuvo muy poca información en torno a el nivel de profundidad y el cómo utilizaban el término, debido a que dos profesores lo nombraron, y solo uno ahondó en él. Como se puede observar, en el marco teórico al momento de definir los distintos conceptos de teorías químicas citando libros de química general y química orgánica, la electronegatividad es un efecto electrónico que se introduce en los niveles más básicos de la química universitaria y se repasa a lo largo de todos los cursos de química orgánica relacionándola con otros fenómenos químicos. Es por esto que hallamos inusual que sólo uno de los profesores profundice en el concepto relacionándolo con el comportamiento básico a través de la retención de los pares de electrones “no enlazantes” o “por compartir”. Sin embargo, en la siguiente pregunta de entrevista todos los profesores hicieron uso del concepto “Electronegatividad” pero asociándolo al concepto “Efecto inductivo”. Es notable percatar que tal asociación está expuesta también en el libro de química orgánica de Carey y en el de Cooper y Klymkowsky, ambos citados en el marco teórico de este estudio.

- El profesor experto F es el único que compara la estabilidad de las especies protonadas de ambas moléculas. Este tipo de justificación es común en el profesor experto H, quien para determinar la fuerza de la base hace uso de la relación par ácido-base “si el ácido es fuerte, la base es débil o viceversa” , determinando, en este caso, la estabilidad y fuerza del ácido conjugado.

“Ehh esta especie (molécula A con nitrógeno cuaternizado) es extremadamente estable, el nitrógeno tiene la capacidad de formar especies cuaternarias con una alta estabilidad, por lo tanto el equilibrio que se forma entre una base libre y su

especie protonada termodinámicamente es muy factible, en cambio en este caso no es así (indica molécula B) (...) no, porque esos se disocian rápidamente, el enlace entre el oxígeno y el hidrógeno (molécula B) eh para formar una especie protonada es mucho más débil..."

Pregunta 4 entrevista

- A diferencia de la pregunta anterior, en esta pregunta todos los profesores expertos mencionan el concepto "Electronegatividad" en su discurso:

- ❖ El profesor experto I asocia la electronegatividad de un átomo con la atracción y disminución de disponibilidad del par de electrones π , disminuyendo el comportamiento básico.

"Laa... en el caso de la B es menos básica por la disponibilidad de los electrones, debido a que está unido a un... a 3 flúor y esos flúores tienen mayor electronegatividad que los hidrógenos, por lo tanto están tirando el par de electrones hacia él... el de los... el triple enlace, los dos pares de electrones π por lo tanto deja menos disponible el par de electrones no enlazantes"

- ❖ El profesor experto F asocia la alta electronegatividad de los átomos con el efecto inductivo negativo

"(...) mientras que el flúor por ser extremadamente electronegativo (señala molécula B) hace de que el Trifluorometilo tenga una deslocalización por efecto inductivo opuesto al que tiene el grupo metil (...)"

- ❖ Los profesores expertos H y G relacionan la alta electronegatividad con una atracción de la densidad electrónica, el profesor experto G profundiza señalando que se disminuya la disponibilidad del par de electrones afectando el comportamiento básico.

H: "Este grupo que está acá (molécula B) que es el trifluorometano que está sobre el nitrilo, como los fluoruros son electronegativos, la densidad electrónica está desplazada hacia los halógenos"

G: - "Claro, lo que pasa que este grupo de acá (trifluorometilo) es el símil del grupo CH₃, del grupo metilo, la única diferencia es que cambia los sustituyentes, los hidrógenos por flúor, entonces como estos tienen alta electronegatividad, eh potenciarían un poco a la naturaleza de acá, del grupo o de la alta densidad electrónica que hay acá(...)"

- *“(…) En el ejemplo de acá (Molécula A), este es un grupo metilo tiene más bien efecto inductivo, pero no tiene un alto efecto electronegativo como en el ejemplo B, por lo tanto ehh (pausa) si los comparo para mí la más básica debería ser ehh la A”*

- Los profesores expertos G, F y H mencionan el concepto de “Efecto Inductivo”. Solo el profesor experto F habla del efecto inductivo negativo y positivo. Mientras que el profesor experto G solo menciona el efecto inductivo positivo.

G:“(…) de hecho, el grupo metil que tiene acá, por definición, tienen un efecto inductivo positivo, es como que está donando electrones (…)”

F: “En este caso el par de electrones está mucho más localizado debido al efecto inductivo del grupo metilo (molécula A), mientras que en este caso de acá (molécula B) el par de electrones estaría menos localizado debido a que el trifluorometilo tiene un efecto inductivo negativo”

H: “En el ejemplo de acá (Molécula A), este es un grupo metilo tiene más bien efecto inductivo pero no tiene un alto efecto electronegativo como en el ejemplo B, por lo tanto ehh (pausa) si los comparo para mí la más básica debería ser ehh la A” / “La debería restar porque los efecto inductivo con grupos que son electronegativos, ehh moléculas que tienen tendencia”

- El profesor experto F es el único que asocia el efecto inductivo con la deslocalización de cargas en la molécula, afectando el comportamiento básico.

“En este caso el par de electrones está mucho más localizado debido al efecto inductivo del grupo metilo (molécula A), mientras que en este caso de acá (molécula B) el par de electrones estaría menos localizado”

- El profesor experto H deduce que el efecto inductivo con átomos de alta electronegatividad disminuye el comportamiento básico porque aumenta el comportamiento ácido de la molécula. El uso de la relación par ácido-base para determinar la fuerza de la báscula de la molécula, es una justificación común en el profesor H, podemos observar algo similar en la pregunta 2.

“La debería restar porque los efectos inductivos con grupos que son electronegativos, ehh moléculas que tienen tendencia... el grupo electronegativo tienden a aumentar un poco la acidez de la molécula”

Todos los profesores expertos justifican su elección haciendo uso del concepto de “Electronegatividad” pero esta vez, asociado al concepto “Efecto Inductivo”, donde los profesores expertos F, G y H lo mencionan explícitamente, y el profesor experto I hace alusión a él. Los profesores expertos relacionan ambos conceptos con la atracción del par de electrones o de la densidad electrónica, con una disminución de la disponibilidad del par de electrones, con un aumento del comportamiento ácido y con una disminución del comportamiento básico.

Negrón A. (2015) en el capítulo de *“Principios de la Reactividad química en moléculas Orgánicas”* señala dos factores principales que afectan la reactividad, los cuales son: Efecto de Resonancia y Efecto Inductivo. La autora indica que el efecto inductivo de un sustituyente es resultado de la electronegatividad de dicho sustituyente, es decir, depende de su *“tendencia intrínseca”* de sacar o meter electrones al centro reactivo. Define el concepto como la *“polarización de un enlace por influencia de un átomo o grupo adyacente polar”*. Se señala que el sustituyente más electronegativo atrae los electrones del enlace covalente, denominado atrayente o aceptor de electrones. Por otro lado, la autora indica que los grupos donadores de electrones aumentan la acidez y disminuye la basicidad, debido al efecto inductivo.

Pregunta 5 entrevista

- Los profesores expertos G, H e I mencionan el concepto “Hibridación” en su discurso:
 - ❖ El profesor experto G es el único que relaciona la hibridación con el carácter de cada orbital atómico. Cuando el carácter *s* del orbital atómico es mayor, mayor es la compactación y atracción al núcleo de los electrones. Mientras que, si el carácter *p* es mayor, existe una mayor distancia para alcanzar un protón debido a que posee mayor tamaño.

*“un orbital atómico *sp* y cuando tiene un orbital *sp* ¡ya me acorde! como tiene mayor característica *s*, los orbitales *s* son más compactos ¿Bien?” / “entonces están más atraídos sobre el átomo entonces, ahí usted tiene el tamaño, por así decirlo, de la densidad electrónica está más llevada, no*

hacia el núcleo, pero está más compacto, en comparación cuando el par de electrones está sobre un orbital sp^3 , porque el orbital sp^3 tiene un 25% de carácter s y el otro 75% es de carácter p y los orbitales p son más grandes por esa razón, cuando son más grandes tienen una mayor distancia por ejemplo del orbital para poder alcanzar un protón”

- ❖ El profesor experto H asocia la hibridación sp^2 y sp con un impedimento causado por el doble enlace y triple enlace, respectivamente, el cual no favorece la captación de un protón. Mientras que en la hibridación sp^3 señala que no hay alrededor de los electrones siendo más factible captar el protón.

“con hibridación sp^2 (molécula A) y ehh tiene un doble enlace, si bien podría capturar ehh otro protón, acá hay una densidad electrónica que estaría interfiriendo también en ello, y en el caso 3 (molécula C), sería lo mismo, el nitrógeno con hibridación sp ehh podría capturar un protón, sí, pero ya aquí habría un mayor impedimento también por la ehh densidad electrónica alta que hay acá al lado de él”/ “(...) acá está el nitrógeno con hibridación sp^3 y puede capturar ese par electrónico o sea con ese par electrónico podría capturar otro protón”/“ya sea con el doble o con el triple y eso no le favorece mucho a la molécula para poder capturar el protón”/ “porque como está con hibridación sp^3 no hay tanta interacción alrededor de ellos, es más factible que se acerque a una molécula donde hay un protón ácido”

- ❖ El profesor experto I señala que a mayor hibridación menor es la disponibilidad de los pares de electrones y menor es el comportamiento básico de la molécula, relacionando el enlace simple, doble y triple con una disminución progresiva de la disponibilidad del par de electrones.

“Por la atracción que tienen en... por la hibridación del nitrógeno en este caso más simple, de la molécula B ”/ “Mientras más hibridado menos disponible queda el par de electrones”/ “Si, menos disponible queda el par de electrones, que es el caso... por eso sería menos básica”

- El profesor experto F señala que existe impedimento estérico en las moléculas con doble y triple enlace, lo que disminuye la capacidad de interacción con el electrófilo y el comportamiento básico de ellas.
 - ❖ *“lo que no... no se considera, porque esto... esta interacción está impedida prácticamente estéricamente, electrónicamente de una manera repulsiva, ehh esa interacción ehh (pausa) no es buena para el grupo nitrilo ohh se me fue el nitrógeno de ahí no se donde quedo el nitrógeno lo voy a poner ahí, ahhh ya se porque esta debajo, está debajo no se ve.”*

El profesor experto G es el único que asocia la hibridación con el carácter y tamaño de cada orbital y el comportamiento básico de cada molécula, mientras que los profesores expertos H y F lo relacionan el comportamiento básico con el impedimento estérico causado por el tipo de enlace de cada molécula. El profesor experto I no menciona impedimento estérico, pero si asocia la disponibilidad del par de electrones con la hibridación y el tipo de enlace.

Dentro de los factores estructurales que afectan la reactividad de la molécula se encuentran aquellos que están relacionados con la geometría de la molécula, como la hibridación, debido a que, si aumenta el porcentaje del carácter p de los orbitales, mayor es el tamaño de los enlaces y la basicidad, disminuyendo la acidez por otra parte (Negrón A., 2015). Lo anterior se debe a que los electrones están más disponibles para aceptar protones.

6.2. Análisis comparativo y descriptivo de la Categoría 3 sobre recursos adicionales.

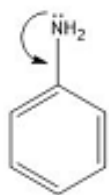
El objetivo de este análisis es registrar las tendencias de cada profesor experto en cuanto a las estrategias o recursos utilizados para complementar sus justificaciones a lo largo de las preguntas 2,3,4 y 5.

Profesor experto F

Utiliza en la gran mayoría de las preguntas la herramienta de dibujo para dibujar orbitales y flechas de movimientos de electrones o de deslocalización de cargas. Es el único profesor experto que justifica basándose en experiencias personales de laboratorio en más de una pregunta.

P2: “ahora ¿Por qué esta es la menos básica? (indica molécula A) principalmente se debe a que ehh este par de electrones (dibuja flecha de movimiento de los electrones del Nitrógeno hacia el enlace) entra a formar parte de las estructuras resonantes del anillo aromático y luego este par de electrones está deslocalizado, lo que significa de que la disponibilidad del par de electrones para interactuar con un protón o con alguna especie electrofílica, está disminuido. Mientras que el caso

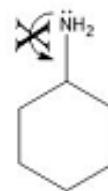
de acá (indica molécula B), esta situación (pausa y dibuja flecha de movimiento de los electrones del nitrógeno hacia el enlace) no ocurre”



Menos basica

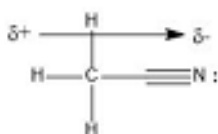
Molécula A

Mas basico



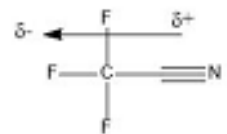
Molécula B

P4: “con una deslocalización de cargas que va de esta manera (dibuja flecha desde el grupo metilo hacia el grupo nitrilo de la molécula A) un delta más en esta posición (grupo metilo) y un delta menos en esa posición de ahí (grupo nitrilo) luego, por el efecto inductivo del grupo metilo uno puede decir que esté nitrógeno (señala molécula A) tiene su par de electrones de tipo n más localizados; mientras que el flúor por ser extremadamente electronegativo (señala molécula B) hace de que el Trifluorometilo tenga una deslocalización por efecto inductivo opuesto al que tiene el grupo metil (dibuja flecha desde el grupo nitrilo el grupo trifluorometilo) , lo que hace que el momento dipolar de ese grupo trifluorometilo este en la dirección opuesta (dibuja delta más sobre el grupo nitrilo y delta menos sobre el grupo trifluorometilo) (...)”



mas basica

Molécula A



menos basica

Molécula B

P5: “ (...) este es sumamente estable (molécula B) porque de hecho cuando tu miras la estructura de una amina, y no una imina, el par electrónico del nitrógeno está así (dibuja orbital del par electrónico del nitrógeno de la molécula B) , está esperando que llegue un electrófilo e interactúe con él”

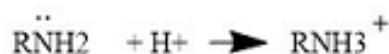


P5: “ojo que es del aumento de la basicidad de las aminas primarias, secundarias y terciarias es en el vacío, por que cuando uno lo hace en solución acuosa a veces cambia y todo depende mucho de ehh el grado de solvatación que tenga con el tipo de solvente que estás utilizando y ese tipo de cosas, pero cuando uno trabaja al vacío en una amina primaria, secundaria o terciaria (...)”

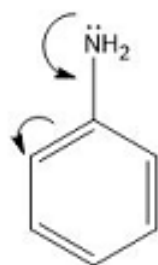
Profesor experto G

Al igual que el profesor experto F utiliza en reiteradas veces las herramientas de dibujo, para dibujar reacciones, flechas de movimientos de electrones y de deslocalización de cargas. Menciona en varias preguntas teorías ácido base para complementar sus justificaciones, así como la de Bronsted- Lowry y la de Lewis.

P2: “ya acá, mira. ¿Usted quiere una clase? yo le hago una clase (dibuja reacción de protonación de las aminas) y eso cuando (RNH₂) reaccione con un protón... después le vamos a poner todo lo que corresponde, eso va a generar RNH₃ me voy a... no pescar mucho lo que es la... me quedó la media flecha pero no importa ¿Bien?”



P2: “(...)¿Por qué? porque resulta que las anilinas, ese par de electrones que está allá arriba (indica electrones del nitrógeno de la molécula A) están estabilizados, o sea no que están estabilizados, si no que están en conjugación con el sistema aromático, entonces usted tiene así y tiene así (dibuja flecha de movimientos de los electrones en molécula A) y después ustedes me imagino que todas las estructuras resonante (...)”

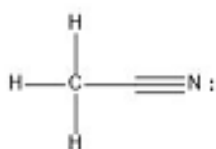


Molécula A

2°

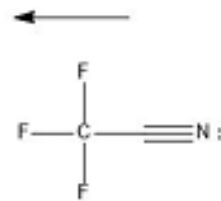
P2:”y en concepto de Lewis es aquella especie que tiene la capacidad de donar electrones ¿Vale? porque tenemos el concepto de ácido y base de Lewis y lo de Bronsted-Lowry ¿Vale? En términos... Lo estamos viendo sólo en Bronsted-Lowry ¿Cierto? con este por de electrones va a captar ese protón y se va a generar el anión... el catión del amonio cuaternario, ya que está tan de moda esa cuestión (...)”

P4: “ya vamos a ... ohh está fácil, la más básica y la menos básica, esta es más básica (Molécula A) y esta es la... después la menos básica (Molécula B). De partida los nitrilos no tienen comportamiento muy básico”



Molécula A

1°



Molécula B

2°

Profesor experto H

Posee una tendencia a ejemplificar con moléculas o sustituyentes conocidos y extrapolar el comportamiento de estas a las moléculas del test. No dibuja en ninguna pregunta sobre el test.

P4: " (...) Por ejemplo si yo tengo 2 alcoholes con cadena alquílica, el alcohol que tenga cloro versus a un alcohol que no tiene cloro, va hacer un poquito más ácido con respecto al que no tiene cloro, entonces los grupos electronegativos aumentan o potencian un poco más la acidez"

P5: "más que nada no es que impida, si no que igual lo puede hacer, pero por ejemplo en moléculas que tienen... ehh que son ciclos donde hay nitrógeno, por ejemplo, con este carácter, uno favorece la tendencia de la resonancia, entonces ehh uno busca cuál es el nitrógeno más capaz de capturar (...)"

Profesor experto I

Solo hace uso una vez de la teoría para apoyar sus justificaciones y no recurre en toda la entrevista y test a ningún recurso adicional.

P2: "Mientras que en la molécula B no están involucrados en la resonancia por lo tanto tienen mayor disponibilidad para formar un enlace, para comportarse como base, para quedar como... como una base de Lewis"

Los docentes de ciencia más allá de conocer en profundidad su disciplina deben poseer un tipo de conocimiento que permita transformar pedagógicamente la ciencia erudita a ciencia escolar, con el propósito de generar aprendizajes significativos en el estudiante (Talanquer V., 2004). Como se observa en en las

justificaciones de los profesores, todos recurren, unos más que otros, a estrategias o recursos para apoyar las ideas que sustentan sus justificaciones. Talanquer V. (2004) en el artículo “*Formación docente: ¿Qué conocimientos distingue a los buenos maestros de química?*” señala que, con el motivo de despertar la curiosidad, generar interés y dar sentido, un buen docente reflexiona constantemente sobre estrategias o métodos apropiados para la diversidad de estudiantes como ejemplos, explicaciones, analogías, metáforas, representaciones, actividades, experiencias, problemas, entre otros. En este sentido, el autor destaca que el conocimiento pedagógico de la química (CPC) determina que ideas y conceptos son considerados relevantes para enseñar y a que estrategias recurrir para *introducir un tema, identificar conocimientos previos o a construir nuevos conceptos*. Es esperable que los años de experiencia de los docentes universitarios sean suficientes para poseer un amplio conocimiento pedagógico de la química (CPC) y que, a pesar de que el contexto se desplace fuera del aula, como en el que se desarrolló la entrevista y el test, ellos usualmente podrían recurrir a estrategias dentro de su discurso, como las mencionadas anteriormente.

Bajo esta perspectiva, la visualización es un elemento central en el aprendizaje de las ciencias debido a que los estudiantes, por necesidad, deben aprender a traducir y navegar entre los distintos tipos de representaciones químicas para aprender a representar diferentes modelos de forma significativa (Grove et al., 2012). Dos de los profesores expertos del presente estudio hicieron un uso notable de las herramientas de dibujo del programa a través del cual se aplicó el test, ya sea dibujando flechas para explicar el movimiento de electrones en las estructuras resonantes o para explicar la deslocalización de cargas dentro de una molécula; también un profesor experto hizo uso de esta herramienta para dibujar los orbitales de una molécula y explicar la capacidad de interacción con un electrófilo. Grove y colegas (2012) en el estudio “*Decorating with Arrows: Toward the Development of Representational Competence in Organic Chemistry*” indican que el uso de la notación de la flecha curvada y los mecanismos son componentes importantes en los cursos de química orgánica, tanto como para los estudiantes y los profesionales

ayudándolos a visualizar el proceso de transformación de los reactantes en productos. Los autores mencionan algunas concepciones alternativas en el uso de las flechas curvadas señalando que el significado de estas para los estudiantes es conectar partes de las moléculas en vez de representar el movimiento de los electrones durante el proceso; de esta forma los estudiantes predicen un producto y luego dibujan las flechas haciéndolas calzar.

Existen tres puntos importantes sobre la naturaleza y el uso de modelos de la literatura: son utilizados para simplificar conceptos, para visualizar fenómenos y explicarlos científicamente (Gilbert & Rutherford, 1998). Los primeros dos puntos relevantes del uso de modelos mencionado por Gilbert y Rutherford son de especial atención en este estudio; asumiendo que los académicos de esta investigación son expertos y docentes en su área. Como se puede observar de los resultados, los profesores expertos hacen uso de modelos en varias de sus justificaciones, ya sea en torno a una teoría como la de Bronsted-Lowry y la de Lewis, o dibujando las estructuras resonantes u orbitales para explicar algún fenómeno y simplificar la complejidad de estos.

Coll (2006), autor del artículo *“The role of model, mental model and analogies in chemistry teaching”*, señala en él que los modelos permiten a los científicos y profesores enfocarse en los principales componentes de un objetivo de interés, dejando de lados los detalles, como destacar los componentes estructurales de los átomos en el modelo de palos y pelotas, ignorando los tamaños relativos de los átomos. El autor menciona que los modelos se ocupan en todas las ciencias, pero son de especial importancia en la química debido a que involucran conceptos complejos y abstractos. Grove cita en su artículo a Grosslight, Unger, Jay & Smith (1991) para destacar las diferencias en cuanto a la percepción de los modelos entre novatos y expertos; los autores mencionan que los novatos tienden a pensar en los modelos de forma concreta, mientras que los expertos reconocen el propósito de los modelos, el cual es servir al usuario y que usualmente son modificados. Grove expresa que muchos investigadores están de acuerdo en que las confusiones de

los estudiantes en el uso de modelos son consecuencia del tipo de instrucción. Existen algunos conceptos de la química, que los estudiantes perciben particularmente difíciles, lo que ha desencadenado una serie de investigaciones que sugieren el uso de varios modelos, en vez de uno, y de las analogías.

Otro apartado del artículo de Grove es sobre enseñar química usando analogías, el cual comentaremos debido a que el profesor experto H hace uso reiterado de ejemplificaciones de tipo comparativas entre moléculas conocidas por él y las moléculas del set de cada pregunta del test. El autor señala *“la próxima vez que veas a alguien complicado para explicar algo, nota que tan a menudo recurre al uso de analogías”*. El uso de analogías es efectivo porque permite transformar ideas o conceptos científicos complejos a ideas familiares para los estudiantes. Curiosamente, señala el autor, los científicos recurren a las analogías para entender de mejor manera los conceptos más abstractos y complejos, lo que puede ser una de las razones por la que el profesor experto H recurre varias veces a comparar las moléculas del set con moléculas familiares para él. Lo anterior posiblemente ocurre porque el tópico basicidad, como se señala en la introducción y parte del marco teórico, no es predominante en los contenidos de cursos de química orgánica como la acidez, al igual que en los libros utilizados en estos niveles, por lo que no es común su enseñanza en profundidad. Probablemente es por esto que el profesor experto H se ve obligado a invocar moléculas conocidas por él para compararlas con las entregadas en el test. De hecho, un profesor experto declara que no se les enseña a los estudiantes cómo predecir el comportamiento básico de las moléculas, que es algo poco habitual.

6.3. Análisis comparativo y descriptivo de la Pregunta de Integración

Es importante recordar que el objetivo de la Pregunta de Integración es conjugar todos los conceptos posiblemente utilizados en las Preguntas de Entrevista. Es por esto que se realizó el presente análisis con el propósito de registrar, para cada

profesor por separado, las diferencias y similitudes en cuanto al uso de los conceptos de teorías químicas en la justificación de la Pregunta de Integración versus las justificaciones de las Preguntas de Entrevista. En virtud de lo señalado, carece de relevancia el análisis de la secuenciación de los conceptos sobre teorías químicas contenidos en la justificación de cada profesor experto, por lo que no se elaboró representación visual para esta pregunta.

Profesor experto F

En la justificación de la pregunta seis el profesor experto repasa cada grupo funcional justificando su comportamiento básico o ácido según el pKa de estos o el pH necesario para protonarlos. Lo anterior también lo podemos ver en la pregunta tres donde compara los valores de pH resultantes de ambas moléculas del set en una solución acuosa para demostrar el comportamiento ácido o básico de estas.

P3: “cuando uno pone la ciclohexilamina en solución acuosa y mide el pH, el pH que te da es efectivamente básico, mientras que cuando uno pone el ciclohexanol en solución acuosa y mide el pH, el pH es neutro, entonces experimentalmente está demostrado que los alcoholes no son bases ¿Se entiende?”

P6: “La fuerza del oxígeno para disociar el agua es bajísima, por lo tanto cuando tú tienes un éter o un alcohol en una solución acuosa y mides el pH, te da neutro. En cambio, el nitrógeno, sobre todos los nitrógenos que no están formando amidas, ehh tu los pones en una solución acuosa y este inmediatamente le saca el protón al agua y mides el pH y va a dar pH y de hecho te da 8.6 o 8.7 y estos de aquí (señala amida) si los pones en una solución acuosa tampoco, no tienen la capacidad de sacarle un protón, no tienen la fuerza para sacarle un protón del agua, por lo tanto si quieres protonar esta especie de aquí (señala amida) tienes que meterle ácido aumentarle el pH de la disolución”

En las preguntas dos, cuatro, cinco y seis justifica el comportamiento de las moléculas en términos de cuán localizados o deslocalizados está el par de electrones.

P2: “¿Por qué esta es la menos básica? principalmente se debe a que ehh este par de electrones entra a formar parte de las estructuras resonantes del anillo aromático y luego este par de electrones está deslocalizado, lo que significa de que la

disponibilidad del par de electrones para interactuar con un protón o con alguna especie electrofílica, está disminuido”.

P4: “luego, por el efecto inductivo del grupo metilo uno puede decir que esté nitrógeno tiene su par de electrones de tipo n más localizados (...) y si yo considero de que ese par de electrones del nitrógeno puede o podría actuar como base sí, yo diría que está es más básica”

P5: “ya, de hecho, si miramos bajo el mismo concepto de que el par electrónico del nitrógeno en estas situaciones está más localizado o menos localizado ehh y también el mismo hecho de que ehh esta es (...) una amina secundaria esta es la más básica, esta sería la menos básica, la intermedia (molécula A) y esta de acá sería la menos básica (molécula C)”

P6: “y esa es la gracia de las aminas, que las aminas tienen su par electrónico completamente localizado no se puede mover para ningún lado”; “este par de electrones de aquí están formando parte de las estructuras resonantes de la amida, se deslocalizan los electrones del nitrógeno hacia el carbonilo y los electrones π del doble enlace carbono oxígeno se van hacia el oxígeno, luego ehh las amidas no tienen propiedades ácido-base”

El profesor experto F hace uso del concepto “Estructuras resonantes” en la pregunta seis, para señalar que la amida no posee un comportamiento básico porque los electrones del nitrógeno están deslocalizados; y en la pregunta dos, para señalar que los electrones del nitrógeno de la anilina están deslocalizados en el anillo aromático.

P2: “¿Por qué esta es la menos básica? (indica molécula A) principalmente se debe a que ehh este par de electrones (dibuja flecha de movimiento de los electrones del Nitrógeno hacia el enlace) entra a formar parte de las estructuras resonantes del anillo aromático”

P6: “el por qué ocurre eso, porque este par de electrones de aquí están formando parte de las estructuras resonantes de la amida (dibuja flechas de movimientos de electrones), se deslocalizan los electrones del nitrógeno hacia el carbonilo y los electrones π del doble enlace carbono oxígeno se van hacia el oxígeno, luego ehh las amidas no tienen propiedades ácido-base”.

El profesor experto F relaciona el comportamiento básico de las moléculas con la capacidad de interactuar con un protón o electrófilo en todas las preguntas, como podemos ver en sus siguientes afirmaciones:

P2: “¿Por qué esta es la menos básica? principalmente se debe a que ehh este par de electrones entra a formar parte de las estructuras resonantes del anillo aromático y luego este par de electrones está deslocalizado, lo que significa de que la disponibilidad del par de electrones para interactuar con un protón o con alguna especie electrofílica, está disminuido”.

P3: “los electrones de tipo n en el oxígeno no tiene la capacidad que tiene el nitrógeno para interactuar con especies electrofílicas para considerarse una base”

P4: “el nitrógeno de los nitrilos ehh rara vez es considerado como una base o como un ácido a pesar de que ese par de electrones de ahí está perpendicular al sistema π y no entran a formar parte de estructuras resonantes ehh ahora la capacidad de interactuar de ese par de electrónico del nitrógeno con una especie electrofílica va a ser mucho más fuerte en la molécula A que en la molécula B”

P5: “o sea para que venga un electrófilo como el protón a interactuar con este te cuesta mucho acercarse a él porque tiene toda una nube electrónica, este par de electrones está inmerso dentro del sistema π por lo tanto no lo ve el electrófilo, no lo logra localizar, por eso el nitrógeno del nitrilo rara vez se considerado como una especie básica (...) esta interacción está impedida prácticamente estéricamente, electrónicamente de una manera repulsiva”; “cuando tu miras la estructura de una amina, y no una imina, el par electrónico del nitrógeno está así , está esperando que llegue un electrófilo e interactúe con él”

P6: “el fenómeno que se explica a través de las estructuras resonantes del grupo amida es que el par electrónico del nitrógeno de la amida está formando parte de las estructuras resonantes, por lo cual ese par de electrones está deslocalizado en el sistema, luego la interacción con un electrófilo, como el del protón, no es factible (...) por lo tanto si quieres poner un electrófilo que interactúe con es nitrógeno no va... en algún momento va a decir, el electrófilo va a decir ahh ese nitrógeno tiene un par de electrones pero cuando se va acercando desapareció el par de electrones, entonces es como que le hace un “osooo” ¿Se entiende, no? (...) entonces el electrófilo dice ahhh mira la carga negativa está sobre el oxígeno ahh vamos para allá, pero cuando llegan allá “osooo” de nuevo”

Profesor experto G

En la pregunta seis el profesor experto inicialmente compara el nitrógeno de la amina secundaria con el oxígeno del alcohol secundario y el oxígeno del fenóxido de la molécula de atenolol, señalando que el átomo más básico era el nitrógeno de la amina porque es menos electronegativo que el oxígeno. El uso del concepto de “Electronegatividad” también está presente en la pregunta tres, donde contrasta la basicidad de las aminas con la de los alcoholes, señalando al igual que en la

pregunta seis, que los átomos más electronegativos poseen menor comportamiento básico.

P6: “con el asunto de la electronegatividad, ya le demostré que los elementos menos electronegativos se comportan como mejor base, con eso le descarto el fenol, perdón le descarto alcohol secundario y le descarto el fenóxido, aparte que este oxígeno que está acá está estabilizado por resonancia hacia el anillo aromático”

P3: “Cuando la electronegatividad es más alta, en este caso la electronegatividad del oxígeno es más alta que electronegatividad del nitrógeno, tiende a no compartir esos pares electrones, entonces de esa manera las aminas son más básicas que los alcoholes alifáticos”

Luego, en la pregunta seis, compara el comportamiento básico del nitrógeno de la amina con el nitrógeno de la amida, indicando que esta última los electrones están estabilizados por resonancia por lo que no están disponibles para *alcanzar un protón*. En la pregunta dos, el profesor experto también hace uso del concepto de “Resonancia”, comparando la anilina con la ciclohexilamina, donde señala, al igual que en la pregunta seis, que al existir estructuras resonantes la disponibilidad de los electrones para ser protonados es menor, disminuyendo su comportamiento básico.

P6: “y la última comparación que hay que hacer es respecto a este nitrógeno (indica NH amina) versus a un nitrógeno de una amida (indica NH₂). Las amidas, recuerden que para que tenga un comportamiento básico tiene que estar disponible para poder protonarse ¿Bien? ese par de electrones de la amida está estabilizado por resonancia”

P2: “(...) Ese par de electrones va a estar en conjugación con el sistema aromático, con un sistema π conjugado ¿Bien? en lo cual lo hace menos disponible para ser protonado, por lo que la anilina baja su basicidad en comparación con las aminas alifáticas ¿Bien?”

En la pregunta seis repite también el concepto de efecto inductivo e hibridación, nombrados anteriormente en la pregunta cuatro y cinco respectivamente.

P6: “porque el que puede ser comparado con ese, con que no tenga ningún efecto más que un efecto inductivo, es el oxígeno del alcohol de acá con la amina que está acá ¿Bien?”

P4: “o sea al fin y al cabo esta molécula no tiene un grupo aceptor de electrones, de hecho, el grupo metil que tiene acá, por definición, tienen un efecto inductivo positivo, es como que está donando electrones, pero es muy poco o sea ese par de electrones ”

P6: “Ya, por lo mismo que les dije en delante, cuando tú tienes la comparación, por ejemplo, de un átomo con hibridación sp^3 , que son dos átomos que estamos comparando, el nitrógeno con estos dos oxígenos que están acá (oxígeno del alcohol secundario y del fenóxido), ¿Bien?”

P5: “cuando tenga hibridación sp^3 ¿Me estás siguiendo?” / “son más básico que cuando son sp^2 y cuando son sp , este nitrógeno (Molécula A) tiene hibridación sp por lo tanto es menos básico que los otros ¿Bien?” / “la hibridación del orbital sp cuando tiene mayor carácter p , es por una distancia de enlace creo pero no me acuerdo específicamente para el caso de los nitrilos”

Profesor experto H

En la justificación de la pregunta seis hace uso del concepto “Resonancia” para señalar que la amida al captar un protón no podría hacer resonancia, al igual que la amina. Por otro lado, en la pregunta 2 señala que la resonancia aumenta la acidez y estabiliza la molécula. Se puede observar que el profesor no relaciona resonancia con deslocalización de cargas o disponibilidad del par de electrones como lo hace el profesor experto G y F.

P6:- “Acá si captura en este (nitrógeno amida) quedaría como NH_3^+ pero podría hacer resonancia (indica grupo amida), acá capturaría y no podría hacer resonancia (indica grupo amino)” / “pero estoy un poco en la duda todavía con el nitrógeno de acá (grupo amino) ehh a ver si captura acá (NH_2 grupo amida) me quedaría como un NH_3 con carga positiva y no tiene para hacer resonancia y acá ... en cambio acá (NH grupo amino) me quedaría igual positivo y no tiene interferencia del entorno (...)”

P2: “porque cuando ehh nosotros tenemos ehh, no, disminuye... la resonancia aumenta la acidez perdón (...) por ejemplo si tuviéramos una molécula similar a ésta (molécula A), que fuera un fenol, como vamos a tener un ion aquí, que sería el fenolato, al perder el protón, eso va a tener mayor estabilización por resonancia

En la pregunta seis compara la electronegatividad del nitrógeno y del oxígeno, señalando que el nitrógeno es más básico debido a su naturaleza y posición en la tabla periódica. Señala de manera similar en la pregunta tres que el nitrógeno posee mayor comportamiento básico que el oxígeno por su diferencia de electronegatividad. Se puede ver que el profesor experto no profundiza en cuanto al como la electronegatividad afecta al comportamiento básico del nitrógeno y del oxígeno.

P6: “ahh ya lo que pasa es que principalmente ehh si uno se va ya a la tabla periódica, al orden, uno puede más o menos predecir, aunque están más o menos cerca ellos y la electronegatividad no varía tanto, sin embargo los nitrógenos por la naturaleza y por la ubicación que tienen en la tabla periódica, está más asociado a moléculas con un mayor carácter básico”

P3: “el nitrógeno versus el oxígeno, debería ser más básica ehh principalmente por la diferencia de electronegatividad y por la naturaleza del sustituyente”

En la pregunta seis compara la interferencia del entorno entre el nitrógeno de la amida y el de amina, indicando que la amina posee menor impedimento estérico por lo que es la más básica. Además, contrasta la libertad de movimiento del nitrógeno de la amina y el de la amida, mencionando que el nitrógeno de la amina posee mayor libertad de movimiento porque solo posee carbonos sp^3 alrededor, mientras que el nitrógeno de la amida no, porque tiene una mayor cantidad de electrones involucrados y un doble enlace que es más rígido. En la pregunta cinco, señala algo similar cuando relaciona la hibridación del nitrógeno al tipo de enlace, y en el caso del doble y triple enlace el impedimento estérico que causan para poder captar un protón.

P6: “(...) Acá está (indica NH_2) al lado de un grupo carbonilo que tiene alta densidad electrónica (indica al oxígeno) porque es un enlace doble, carbono doble enlace oxígeno, acá hay electronegatividad. Acá (indica NH) ehh está también rodeado de este grupo isopropil, que también otorga efecto o impedimento estérico, y un poco más haya separado de un grupo CH_2 tiene un grupo OH , por lo tanto me inclinaría a pensar que este (indica NH) podría ser un poco más básico (...)” / “(...) pensando en la idealidad, ehhh uno debería pensar que estos carbonos que tienen hibridación sp^3 ehh tienen mayor libertad de movimiento (...)”

P5: “(...) Acá está con hibridación sp^2 (molécula A) y ehh tiene un doble enlace, si bien podría capturar ehh otro protón, acá hay una densidad electrónica que estaría interfiriendo también en ello, y en el caso 3 (molécula C), sería lo mismo, el nitrógeno con hibridación sp ehh podría capturar un protón, sí, pero ya aquí habría un mayor impedimento también por la ehh densidad electrónica alta que hay acá al lado de él”

Finalmente, también repite el uso del concepto de hibridación en la pregunta seis, mencionado anteriormente en la pregunta cinco.

P6: “Ahora pensando en impedimento estérico y es por ahí donde estoy con la duda, si bien los dos tienen la misma hibridación, los dos tienen hibridación sp^3 , los dos nitrógeno, el entorno es el que varía un poco (...)” / “podría ser un poco más básico para capturar el protón, dado que ambos tiene la misma hibridación, pero asumo

que acá (indica NH) es menor el impedimento estérico, principalmente porque, el impedimento estérico si bien es una cadena ramificada pero con hibridación sp³, en cambio acá (indica NH₂) (...) / “pensando en la idealidad, ehho uno debería pensar que estos carbonos que tienen hibridación sp³ ehho tienen mayor libertad de movimiento, por lo tanto cuando yo comparé yo pensé que él es un carbono sp³, por lo tanto si bien ese grupo es voluminoso, (...)”

P5: “Ya ehho puse ese orden principalmente porque puse que esta es la más básica (molécula B) acá está el nitrógeno con hibridación sp³ y puede capturar ese par electrónico o sea con ese par electrónico podría capturar otro protón y quedar con carga formal positiva. Acá está con hibridación sp² (molécula A) y ehho tiene un doble enlace, si bien podría capturar ehho otro protón, acá hay una densidad electrónica que estaría interfiriendo también en ello, y en el caso 3 (molécula C), sería lo mismo, el nitrógeno con hibridación sp ehho podría capturar un protón, sí, pero ya aquí habría un mayor impedimento también por la ehho densidad electrónica alta que hay acá al lado de él (indica triple enlace) ”

Profesor experto I

En la pregunta seis menciona que el grupo amida está comprometido en una resonancia por lo que no es el más básico. Señala de manera similar en la pregunta dos que los electrones al no estar involucrados en alguna resonancia están más disponibles para comportarse como una base. El profesor experto I no menciona en la justificación de la pregunta seis ningún otro concepto que coincida con las justificaciones de las preguntas dos, tres, cuatro y cinco.

P6: “a ver ehho (pausa extensa) bueno ehho uno de estos dos nitrógenos tendría que ser. Acá si captura en este (nitrógeno amida) quedaría como NH₃⁺ pero podría hacer resonancia (indica grupo amida)”

P2: “En cambio acá (molécula A) el grupo amino al protonarse, ehho como es una base, va a recibir un protón y va a quedar como NH₃, por lo tanto extremadamente positivo, él no va a poder ceder su par electrónico porque este grupo como es NH₂ es un dador de electrones, lo que hace es ceder su par de electrones al ciclo que está en la parte de abajo”

Como se puede observar existen varios conceptos de las justificaciones de los profesores expertos en la Pregunta de Integración que ya habían sido nombrados anteriormente en las Preguntas de Entrevistas. De esta forma, el profesor experto F es el que repite una mayor cantidad de conceptos sobre teorías químicas, mientras que el profesor experto I solo repite uno.

Interesantemente el profesor experto H es el único que menciona el impedimento estérico proveniente de los grupos funcionales de la molécula de atenolol, a pesar de que los profesores expertos G e I hicieron uso de este concepto en la pregunta cinco, no lo mencionan en la pregunta seis.

Todos los profesores expertos hacen uso del concepto de resonancia en la pregunta seis y en preguntas anteriores a esta. En la pregunta seis todos utilizan el concepto para justificar porque la amida no es básica. La resonancia, como señalamos anteriormente, es un efecto electrónico importante dentro de la química orgánica, por lo mismo, es usual hallar secciones completas en capítulos de libros de química orgánica explicando el concepto y a su vez, una inversión no menor de tiempo y esfuerzo en enseñarla.

7. Conclusión

Como mencionamos al inicio de este estudio, el objetivo no es analizar la precisión científica de las justificaciones de los profesores expertos, sino describirlas, enfatizando en que conceptos sobre teoría química utilizan, como los secuencian y como los complementan con recursos o estrategias. La razón de considerar esas tres aristas es que todos los entrevistados son profesores expertos de cursos universitarios de química orgánica y tan importante como el contenido conceptual sobre teorías químicas, hallado en las justificaciones de los profesores expertos, es también la secuenciación de los conceptos. Desde una perspectiva pedagógica, no es suficiente la precisión científica de los conceptos, también debe existir un hilo conductor coherente y lógico entre estos, además estrategias para introducirlos.

Se puede constatar, entre los profesores expertos entrevistados, que existe una tendencia a determinar la basicidad mediante la acidez y su constante. Lo anterior podría definirse como una subordinación de la basicidad a la acidez. Las causas pueden ser variadas, entre estas podemos mencionar la organización del contenido en los libros tradicionales de química orgánica. En estos últimos se enseña a determinar la fuerza de una base haciendo una relación par ácido-base donde podemos destacar la célebre oración *“Mientras más ácido, menos básico y viceversa”*. Además, cuando se explican los factores que afectan la fuerza de un ácido, generalmente solo se hace mención de la electronegatividad y la resonancia, dejando de lado otros factores o efectos no menos relevantes. Sin pretender hacer una inferencia apurada e impertinente, es posible que lo mencionado previamente sea una de las causas del por qué los estudiantes fallan al momento de predecir la fuerza de un ácido, y por supuesto, la de una base.

Por otro lado, el conocimiento de los expertos, como los académicos y también docentes de esta investigación, se cimienta en años de experiencia y de estudios en el área, por lo que su visión es más íntegra y son capaces de elaborar inferencias más completas y correctas. Sin embargo, actualmente se han elaborado libros de

texto para los cursos de química orgánica que reúnen las características para entregar un panorama más completo en torno a las reacciones ácido- base y la reactividad de los ácidos y bases. Un ejemplo de esto es el libro OCLUE de Melanie M. Cooper y Michael W. Klymkowsky (2019) y el capítulo Principios de la reactividad química de moléculas orgánicas elaborado por Negrón A. (2015) dentro de una compilación llamada Lecturas de apoyo para comprender mejor la química.

Resumiendo, dentro de las justificaciones de los profesores se hallaron conceptos como resonancia, electronegatividad, hibridación, efecto inductivo y efecto estérico, pero el nivel de profundidad y la secuenciación cambia a través de los académicos, es decir, cómo determinan y justifican el comportamiento básico de las moléculas relacionando estos conceptos con aspectos electrónicos, aspectos estructurales y aspectos en torno a la reactividad. Algunos de estos aspectos mencionados fueron la deslocalización de cargas, la disponibilidad del par de electrones no enlazantes, la estabilización de la molécula, la interacción con un electrófilo o un protón, momento dipolar, densidades electrónicas y características de los orbitales moleculares. Sin embargo, solo fue mencionado una vez, y sin profundizar, los “Factores termodinámicos”. No se alude a estos factores dentro del capítulo de reacciones ácido-base en los libros, exceptuando en OCLUE.

En cuanto a los recursos adicionales hallado en las justificaciones de los profesores, se pueden mencionar las flechas para representar el movimiento de los electrones, las flechas para representar la deslocalización de cargas, dibujar los orbitales, teorías ácido-base de Lewis y la de Bronsted-Lowry, experiencias personales de laboratorio y analogías. Cabe destacar que los académicos poseen tendencias marcadas y que no hacen uso integral de todos estos recursos durante la entrevista y test virtual.

Por último, se sintetizan a continuación los conceptos sobre teorías químicas que los académicos usaron tanto en la justificación de la Pregunta de Integración como en alguna de las preguntas anteriores:

- Profesor F: pH, resonancia, grado de localización del par de electrones no enlazantes e interacción con el electrófilo o el protón.
- Profesor G: electronegatividad, resonancia, efecto inductivo e hibridación.
- Profesor H: resonancia, electronegatividad, hibridación e impedimento estérico.
- Profesor I: resonancia.

Como se esperaba, las similitudes son bastantes entre la justificación de la pregunta seis y el resto de las preguntas para cada profesor, hacen uso prácticamente de todos los conceptos nombrados en las preguntas dos, tres, cuatro y cinco, exceptuando del concepto “impedimento estérico”, en dos profesores, y el concepto “factores termodinámicos” que es nombrado por solo un profesor.

¿Por qué no existen investigaciones en torno a los factores que determinan la fuerza de una base y las respectivas concepciones alternativas de los estudiantes? ¿Por qué no se estudia el conocimiento pedagógico de los docentes en torno a la basicidad? Estas preguntas podrían resumirse en la siguiente: ¿Por qué la basicidad parece estar subordinada a la acidez? La respuesta podría estar cercana a la necesidad de simplificar estos conceptos complejos, con el propósito de ser mejor comprendidos, y que la acidez no esté subordinada a la basicidad sea únicamente una casualidad. De lo que no cabe duda es de la necesidad inminente de generar estudios en torno al conocimiento del contenido pedagógico de los docentes universitarios bajo una perspectiva DBER; como señaló Talanquer (2014) *“raramente es cuestionado y explorado el conocimiento del contenido de los expertos”*. Nace también el menester de incorporar en las explicaciones de los académicos el uso de justificaciones correctamente elaboradas, es decir, secuenciadas y fundamentadas coherentemente, debido a que los argumentos no solo son utilizados dentro de una comunidad científica, sino que son una de las principales herramientas en el aula, frente a estudiantes.

8. Referencias

Adam, J. (1992). *Les textes: types et prototypes*. París: Nathan.

Banerjee, A. (1991). *Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium*. *International Journal of Science Education*, 13, 487–494. <https://doi.org/10.1080/0950069910130411>

Baron, J. (1994). *Thinking and deciding* (2nd ed.). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Bell, P., & Linn, M. (2000). *Scientific arguments as learning artifacts: Designing for learning from the web with KIE*. *International Journal of Science Education*, 22(8), 797 – 818. <https://doi.org/10.1080/095006900412284>

Bhattacharyya, G. (2006). *Practitioner development in organic chemistry: How graduate students conceptualize organic acids*. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(4), 240–247. <https://doi.org/10.1039/B5RP90024G>

Bhattacharyya, G., & Bodner, G. (2014). *Culturing reality: How organic chemistry graduate students develop into practitioners*. *Journal of Research in Science Teaching*, 51, 694-713. <https://doi.org/10.1002/tea.21157>

Carey, F. (2006). *Química Orgánica*. (6°Ed.) México: McGraw-Hill

Carr, M. (1984). *Model confusion in chemistry*. *Research in Science Education*, 14, 97 –103. <https://doi.org/10.1007/BF02356795>

Cataño, C., & Quecedo, R. (2003). *Introducción a la metodología de investigación cualitativa*. *Revista de Psicodidáctica*, (14) 5-39

Cerrón, R (2019) *La investigación cualitativa en educación*. *Horizonte de la Ciencia*, 9 (17).

Chang, R. (2010). *Química*. (10° Ed.) México: McGraw-Hill

Charmaz, K. (2006). *Constructing grounded theory: A practical guide through qualitative analysis*.

Coppola, B., & Krajcik, J. (2013). *Discipline-centered post-secondary science education research: Understanding university level science learning*. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(6), 627–638. <https://doi.org/10.1002/tea.21099>

Cooper, M., Stowe, R., Crandell, O., Klymkowsky, M. *Organic Chemistry, Life, the Universe and Everything (OCLUE): A Transformed Organic Chemistry Curriculum*. *J. Chem. Educ.* 2019, 96 (9), 1858–1872. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00401>

Coll R. (2006) *The role of models, mental models and analogies in chemistry teaching* In P. Aubusson and A.G. Harrison (eds.) *Metaphor and Analogy in Science Education* Dordrecht Kluwer. https://doi.org/10.1007/1-4020-3830-5_10

Donovan, M., Bransford, J., Pelligrino, J. *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School, Expanded Ed.*; National Academies Press: Washington, D.C., 2000.

Drechsler M. & Van Driel J., (2008). *Experienced teachers' pedagogical content knowledge of teaching acid-base chemistry*, *Res. Sci. Educ.*, 38, 611-631. <https://doi.org/10.1007/s11165-007-9066-5>

Driver, R., & Newton, P. (1997). *Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. Paper preparat per presentar-lo a la Conferència ESERA, del 2 al 6 de setembre de 1997. Roma*.

Gilbert, J., & Rutherford, M. (1998). *Models in explanations Part 1: Horses for courses?* *International Journal of Science Education*, 20(1), 83-97. <https://doi.org/10.1080/0950069980200106>

Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. (1991). *Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts*.

Journal of Research in Science Teaching, 28(9), 799-822.
<https://doi.org/10.1002/tea.3660280907>

Grove, N., Cooper, M., Rush, K. (2012). *Decorating with Arrows: Toward the Development of Representational Competence in Organic Chemistry*. *J. Chem. Educ.* 2012, 89, 844–849. <https://doi.org/10.1021/ed2003934>

Henderson, C., & Dancy, M. (2007). *Barriers to the use of research-based instructional strategies: The influence of both individual and situational characteristics*. *Physical Review Special Topics—Physics Education Research*, 3(020102), 1–14. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.3.020102>

Hernández R., Fernández C., & Baptista M. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: McGrawHill.

Jiménez, R. (1998) *Metodología de la Investigación. Elementos básicos para la investigación clínica*. La Habana: Editorial Ciencias Médicas.

Kelly, G., & Takao, A. (2002). *Epistemic levels in argument: an analysis of university oceanography students' use of evidence in writing*. *Science Education*, 86(3), 314 – 342. <https://doi.org/10.1002/sce.10024>

Kuhn, L., & Reiser, B. (2005). *Students constructing and defending evidence-based scientific explanations*. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Dallas, TX.

Latour, B. (1987). *Science in action: How to follow scientists and engineers through society*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Lawson, A. (1985). *A review of research on formal reasoning and science teaching*. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(7), 569 – 618. <https://doi.org/10.1002/tea.3660220702>

Lawson, A., Drake, N., Johnson, J., Kwon, Y., & Scarpone, C. (2000). *How good are students at testing alternative hypotheses involving unseen entities? The American Biology Teacher*, 64(4), 546 – 553. <https://doi.org/10.2307/4450890>

Lawson, A. (2002). *Sound and faulty arguments generated by preservice biology teachers when testing hypotheses involving unobservable entities*. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(3), 237 – 252. <https://doi.org/10.1002/tea.10019>

Lawson, A. (2003). *The nature and development of hypothetico-predictive argumentation with implications for science teaching*. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1387 – 1408. <https://doi.org/10.1080/0950069032000052117>

Lemke, J. (1990). *Talking science: Language, learning, and values*. Norwood, NJ: Ablex.

Lemke, J. (1997). *Aprender a hablar ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores*. Barcelona: Paidós.

Manterola, C., & Otzen, T. (2013) *Por qué Investigar y Cómo Conducir una Investigación*. *Int. J. Morphol.*, 31(4) 1498-1504. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022013000400056>

McClary, L., & Talanquer, V. (2011) *Heuristic Reasoning in Chemistry: Making decisions about acid strength*. *International Journal of Science Education*, 33:10, 1433-1454. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.528463>.

McNeill, K., Lizotte, D., Krajcik, J., & Marx, R. (2006). *Supporting students' construction of scientific explanations by fading scaffolds in instructional materials*. *Journal of the Learning Sciences*, 15(2), 153 – 191. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1502_1

Mella, O. (1998) *Naturaleza y Orientaciones Teórico Metodológicas de la Investigación Cualitativa*. Santiago, Chile.

National Research Council (2012c). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. Board on Science

Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press

Negrón, A. (2015). Cap. Principios de la reactividad química en moléculas orgánicas. En *Lecturas de apoyo para comprender mejor la Química* (pp. 53-84). (1° ed.) México: Laura Uribe

Osborne, J. (2002). *Science without literacy: A ship without a sail?* *Cambridge Journal of Education*, 32, 203 – 2. <https://doi.org/10.1080/03057640220147559>.

Sadler, T. (2006). *Promoting discourse and argumentation in science teacher education.* *Journal of Science Teacher Education*, 17, 323 – 346. <https://doi.org/10.1007/s10972-006-9025-4>

Sandoval, W. (2003). *Conceptual and epistemic aspects of students' scientific explanations.* *Journal of the Learning Sciences*, 12(1), 5 – 51. <http://www.jstor.org/stable/1466633>

Sandoval, W., & Reiser, B.(2004). *Explanation driven inquiry: Integrating conceptual and epistemic scaffolds for scientific inquiry.* *Science Education*, 88(3), 345 – 372. <https://doi.org/10.1002/sce.10130>

Sandoval, W., & Millwood, K. (2005). *The quality of students' use of evidence in written scientific explanations.* *Cognition and Instruction*, 23(1), 23 – 55. https://doi.org/10.1207/s1532690xci2301_2

Sardá, A., & Sanmartí, N. (2000). *Enseñar a argumentar científicamente: un reto de las clases de ciencias.* *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (18), 405-422. <http://hdl.handle.net/11162/23315>

Sampson, V., & Clark, D. (2008). *Assessment of the ways students generate arguments in science education: Current perspectives and recommendations for future directions.* *Science Education*. 92. 447 - 472. <https://doi.org/10.1002/sce.20276>

Schwarz, B., Neuman, Y., Gil, J., & Ilya, M. (2003). Construction of collective and individual knowledge in argumentative activity. *Journal of the Learning Sciences*, 12(2), 219 – 256. https://doi.org/10.1207/S15327809JLS1202_3.

Schwarz, B., & Glassner, A. (2003). *The blind and the paralytic: Supporting argumentation in everyday and scientific issues*. In J. Andriessen, M. Baker, & D. Suthers (Eds.), *Arguing to learn: Confronting cognitions in computer-supported collaborative learning environments* (pp. 227 – 260). Dordrecht, the Netherlands: Kluwer.

Shah, A., & Oppenheimer, D. (2008). Heuristics made easy: An effort-reduction framework. *Psychological Bulletin*, 134, 207–222. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.2.207>

Sutton, C. (1997). *Ideas sobre la ciencia e ideas sobre el lenguaje*. *Alambique*, 12, pp. 8-32. <http://hdl.handle.net/11162/25284>

Talanquer, V. (2004) ¿Qué conocimiento distingue a los buenos maestros de química? *Educación Química*, 15(1), 52-57. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2004.1.66216>

Talanquer, V. (2014). *DBER and STEM education reform: Are we up to the challenge?* *Journal of Research in Science Teaching*, 51, 809–819. <http://dx.doi.org/10.1002/tea.21162>

Takao, A., & Kelly, G. (2003). Assessment of evidence in university students' scientific writing. *Science & Education*, 12(4), 341 – 363. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1024450509847>.

Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

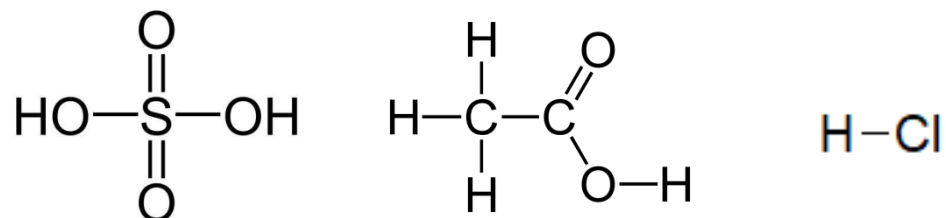
Wade, L. (2011). *Química Orgánica Volumen 1 (7° Ed)*. México: Pearson

Zohar, A., & Nemet, F. (2002). *Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics*. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(1), 35 – 62. <https://doi.org/10.1002/tea.10008>

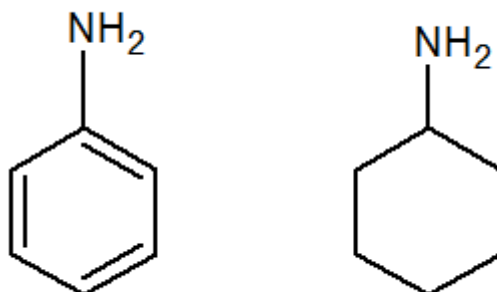
9. Anexos

Anexo 1 “Test de moléculas básicas en Química”

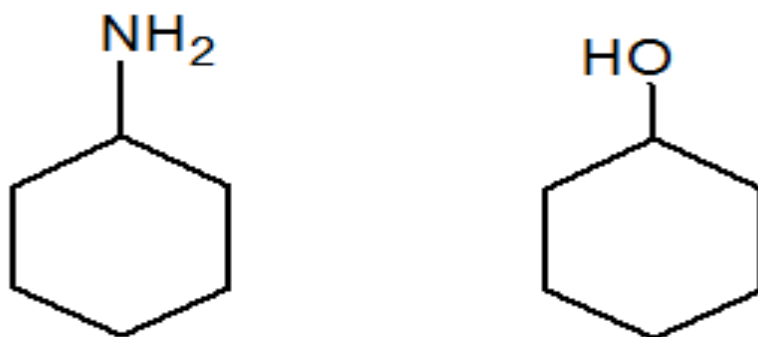
1) ¿Cuál de las siguientes moléculas es la más básica? Argumente



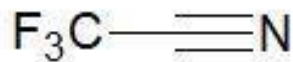
2) ¿Cuál de las siguientes moléculas es la más básica? Argumente.



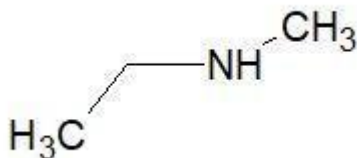
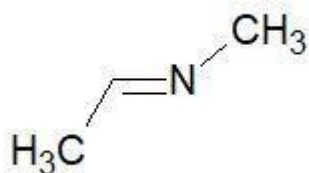
3) ¿Cuál de las siguientes moléculas es la más básica? Argumente.



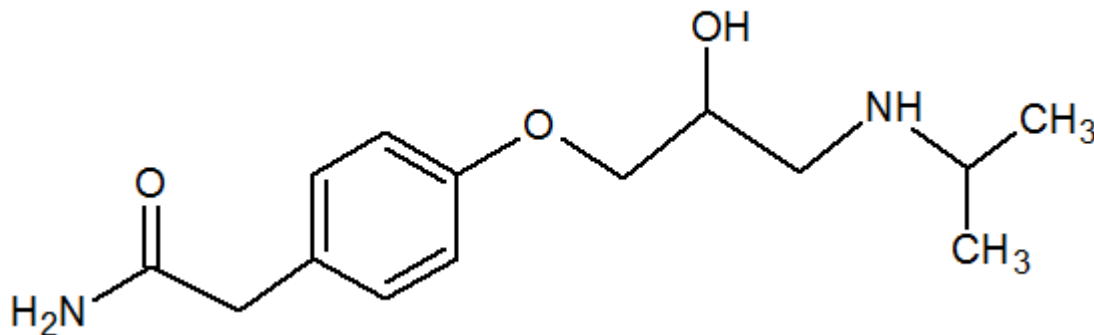
4) ¿Cuál de las siguientes moléculas es la más básica? Argumente.



5) ¿Cuál de las siguientes moléculas es la más básica? Argumente.



6) ¿Cuál es el átomo más básico de esta molécula? Argumente.



Anexo 2 “Transcripciones Entrevistas”

Pregunta 1

Profesor experto F

Entrevistadora: Esa es la pregunta número uno (pregunta 1 minuto 11:00)

Profesor: Sí, que dice aquí, ordene las moléculas de la más básica a la menos básica

Entrevistadora: sí, y que nos vaya diciendo el por qué de su orden

Profesor: que bueno, de hecho, yo no pondría en el texto ordene las moléculas de la más básica a la menos básica, porque estas tres moléculas no son básicas

Entrevistadora: ya

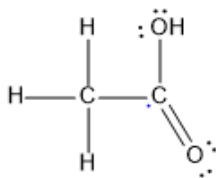
Profesor: de hecho el ácido clorhídrico es un ácido fuerte, ehh el ácido acético es un ácido relativamente débil tiene un pKa de 4.75 y el ácido sulfúrico se considera un ácido fuerte en su primera disociación con un pKa cercano a 1 y en la segunda disociación el pKa, no recuerdo, pero debe andar por 2.5, más o menos, por lo tanto no los pondría dentro de una definición de más básica a más ácida.

Entrevistadora: ehh ya, o sea, básicamente usted me está diciendo que los ordena ehh solamente por el pKa de acidez

Profesor: es que son ácidos, su comportamiento es ácido

Entrevistadora: ya, perfecto

Profesor: no es un comportamiento básico, o sea sí me hubiera puesto (señala molécula B) ¿Ves aquí no es cierto?



Molécula B

Entrevistadora: la idea es que aquí también dibuje en caso de que... así sea un poco más explícito

Profesor: si me hubieras puesto eso (señala molécula B) cómo acetato yo lo considero como una base

Entrevistadora: ya

Profesor: pero no es el caso, tú me lo pusiste de esta manera, por lo tanto yo lo considero como un ácido débil, por eso te digo, con un pKa de 4,75, o sea no tendría ehh el concepto de basicidad dentro de estas tres moléculas sino que es un concepto de acidez

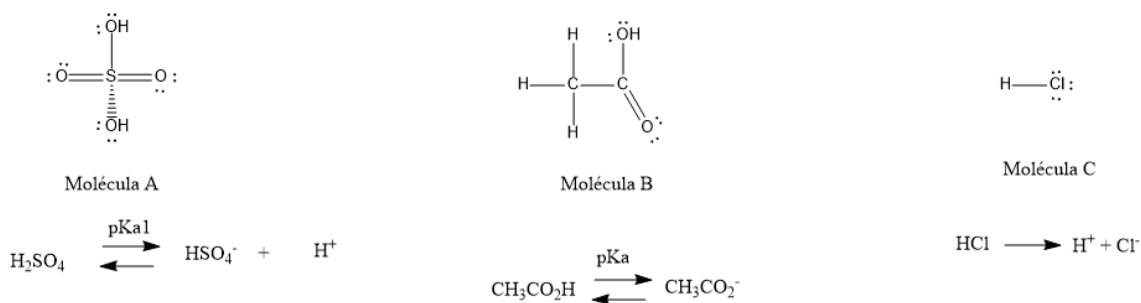
Entrevistadora: mm claro

Profesor: y sí lo ordeno en términos de acidez, el ácido más fuerte es el ácido clorhídrico, porque no tiene un pKa, porque, se disocia en un 100%, el ácido sulfúrico es el segundo más ácido con un pKa cercano a 1 en la primera disociación y el ácido acético sería el menos ácido de los tres porque tiene un pKa de 4.75

Entrevistadora: ya perfecto, y este pKa ehh ¿Lo podemos relacionar... lo puede relacionar de alguna forma con la estructura, usted me habló de disociación también? ya hablando en términos de acidez

Profesor: claro, por supuesto, porque (pausa) lo que uno hace cuando explica esto es... (pausa y escribe reacción de equilibrio de la disociación de la molécula A). A mí no me gusta usar esto (flecha de equilibrio químico) como de equilibrio, me gusta

usar una doble flecha, pero de este estilo para el equilibrio. A pero aquí le saqué un H, más el protón correspondiente ¿No? Ese es el equilibrio de disociación correspondiente al ácido sulfúrico y así para el ácido acético que es exactamente lo mismo (pausa y escribe reacción de equilibrio de la disociación de la molécula B). Y aquí lo que hay que poner es pKa (molécula B) y acá pKa (molécula A) , pero este es 1 porque es la primera disociación del ácido sulfúrico. Mientras que en el caso del ácido clorhídrico (pausa y escribe reacción de disociación molécula C) va una sola flechita porque no es un equilibrio, y uno escribe H+ más Cl- (pausa) y no lleva ningún pKa (Guarda archivo pregunta 1). Ehh no sé ¿Te lo guardo para después enviártelo o no?



Entrevistadora: ehh si. De hecho se pueden guardar los archivos después, se pueden ir minimizando, ahí en la esquina.

Profesor: voy a guardar... voy a meterlos en una nueva carpeta que se va a llamar... ¿Cómo se llama la universidad de ustedes? la universidad de...

Entrevistadora: del Bío Bío, UBB

Profesor: U Bío Bío. Ya, eso sería con el primero Entrevistadora: ya

Profesor: ¿Si? no sé si ustedes están de acuerdo con lo que estoy diciendo

Entrevistadora: ya o sea básicamente ahí hizo las disociaciones de los ácidos y su pKa, y nos contó que el comportamiento de las moléculas ehh no era básico por lo que no podía ehh decir cuál de las tres era más básica o menos básica

Profesor: claro, porque como me la estás presentando tú, me las estás presentando como ácidos porque se disocian, si me hubieras presentado el ácido cómo sulfato ácido, como acetato o como cloruro yo podría pensar en basicidad, pero me lo estás presentando como ácido acético, ácido sulfúrico y ácido clorhídrico

Profesor experto G

Entrevistadora: Ya la idea es que ordene estas moléculas de la más básica a la menos básica y que nos digas por qué (pregunta 1 minuto 23:58)

Profesor: ¿De la más básica a la menos básica, cierto? punto uno los tres son ácidos, ¿Vale?

Entrevistadora: ya

Profesor: entonces uno puede mirar una molécula en términos de acidez o basicidad obviamente por el asunto de los pKa, cuando uno tiene 14 es la suma del pKa más el pKb. ¿Vale? pero las tres moléculas... La pregunta ya incomoda, porque cuando uno tiene que hacer una pregunta tiene que hacerla en función del comportamiento de las moléculas ¿Vale?, entonces hay que dejar muy claro que las 3 moléculas, la primera es ácido sulfúrico, la segunda ácido acético y la tercera ácido clorhídrico son ácidos

Entrevistadora: ya

Profesor: por lo que si tú lo quieres leer en términos de la basicidad, mientras menos ácidos es más básico, ¿Vale?

Entrevistadora: ya

Profesor: entonces vendría siendo el ácido acético, ¿Bien? y después tengo ahí mi duda con respecto al ácido sulfúrico y el ácido clorhídrico porque resulta que esos dos son ácidos fuertes, el primero, el ácido sulfúrico, el primer protón es con una constante mucho mayor que 1 y la del ácido clorhídrico también, entonces ahí bucha no sabría decirte cuál de esos dos es más básico pero déjame pensar un poquito

Entrevistadora: ya

Profesor: porque puede ser por protonación (pausa) ehh no sabría decirte para ser sincero

Entrevistadora: ya entonces en resumen es básicamente usted ve los pKa de cada molécula y ahí ehh

Profesor: tu puedes ver el pKb y con eso darte cuenta quien tendría el comportamiento más básico o menos básico

Entrevistadora: claro

Profesor: como te digo como tú estás poniendo el pKa del ácido acético, el de la molécula de al medio, es de 4.75 por lo que su pKb vendría siendo 9 punto y algo ¿Vale? pero en eso si te puedo calcular el pKb. En cambio el ácido clorhídrico y el ácido sulfúrico, el ácido clorhídrico es menos ácido que el primer protón del ácido sulfúrico porque éste lo estabiliza por resonancia, por lo tanto vendría siendo el ácido acético, el ácido clorhídrico y después el ácido sulfúrico

Entrevistadora: ya, me los puedes marcar la idea es que ahí nos quede evidencia

Profesor: ¿El orden? Entrevistadora: por favor si

Profesor: ¿La evidencia?

Entrevistadora: la evidencia de sus palabras

Profesor: ya mira, primero que todo, cuando uno pesca... cuando uno toma los valores del pKa y del pKb, tú tienes que hacer esto (dibuja flechas de equilibrio) me

equivoque de flecha, acostumbrado a hacer resonancia, no es que me haya equivocado de flecha no es tan fácil cuando uno lo maneja del otro lado ¿Cierto? Entrevistadora: claro Profesor: entonces lo vamos a hacer así ¿Vale? voy a pescar la misma molécula de acá la voy a copiar y la voy a pegar acá ¿Por qué buscan preguntas tan complejas para una explicación? Porque si lo hubieran hecho con el comportamiento ácido estaba todo bien,

Entrevistadora: de hecho ese el...

Profesor: pero se les ocurre preguntar el comportamiento que uno generalmente no les dice a los alumnos, porque si tú lo estás comparando esto como compuestos básicos, la protonación... la preguntita que me hicieron. Más encima no me deja escribir. Déjame tratar de abrir mi ChemDraw porque no voy a poder trabajar acá sobre esto. No, tratemos de solucionar eso, o sino cada vez me va a costar más y no te lo voy a poder explicar. Pero como tu... No te entiendo la pregunta o sea bien extraña la pregunta, qué quieres que les diga. Para 3 compuestos ácidos me están preguntando cual es más básico Entrevistadora: Lo que pasa es que a nosotras nos hicimos la misma pregunta, porque siempre nos enseñan la acidez y como que se deja la basicidad subordinada siempre a la acidez y bueno, cada pregunta tiene su objetivo y en realidad lo que nosotros esperábamos era justamente que usted nos dijera eso, el comportamiento ácido de las moléculas

Profesor:si

Entrevistadora: y queríamos ver cómo hacía ese orden a pesar que nosotras le preguntábamos que eran básicas Profesor: lo que pasa que cuando tú hablas del comportamiento básico, que es eso lo que te estoy tratando de escribirte acá con la estructura del equilibrio químico, yo quiero colocarte acá esa misma estructura del ácido acético que está ahí, escribirla sin el protón. ¿Vale?

Entrevistadora: ya

Profesor: y cuando uno habla del pK_b es cuando la especie capta un protón, pero yo tendría que escribirte esa misma especie que tú tienes ahí que estamos marcando (Molécula B), sin el protón con la carga negativa ¿vale?

Entrevistadora: ya

Profesor: y de esa manera yo te hubiese dicho que el comportamiento ácido-base del ion acetato... tiene un comportamiento básico que como va de derecha a izquierda va a tener el pK_b que va ser la resta del 14 menos el 4.74, que es el pK_a del ácido acético, y cuando tú hablas del ácido clorhídrico y del ácido sulfúrico, la especie que capta el protón obviamente va a ser la de la base conjugada, porque cuando uno hace el equilibrio químico

Entrevistadora: sí

Profesor: uno siempre independiente de cómo tú lo escribas hay uno que se comporta como ácido y el otro como base, y dependiendo de cuál sea el fuerte o el débil uno habla del ácido y tiene una base conjugada, y a la vez una base tiene un ácido conjugado y ahí tú empiezas a utilizar el concepto de ácido-base, pero si tú

me dices... preguntas así, si el ácido sulfúrico o el ácido acético ,si se comportase él como una base tendría que protonarlo ¿Bien?

Entrevistadora: claro

Profesor: y esta especie ya está protonada, a no ser que empecemos a utilizar los pares de electrones libres que tiene el oxígeno pero tampoco calza. Entonces cuando tú preguntas por las características básicas yo tendría que estar hablando de la base conjugada

Entrevistadora: ya

Profesor: y en este caso la base conjugada del ácido sulfúrico... más rápido la protonación, y después del ácido clorhídrico y después ácido acético. No sé si logró responder la pregunta, que esa una pregunta, como te digo, es una pregunta muy extraña

Entrevistadora: ya, si es que a nosotros nos gustaría que nos indicase el orden

Profesor: ¿El orden de qué? ¿En qué sentido?

Entrevistadora: de la más básica al menos básica, en su caso que se basó en las bases conjugadas

Profesor: ¿Entonces estoy pensando las bases conjugadas?

Entrevistadora: claro

Profesor: yo entonces simplemente voy a hacer lo siguiente (Dibuja ecuación general de disociación de un ácido) ¿Vale? Hache A , Hache más, más A menos, que es la base conjugada. ¿Vale?



Entrevistadora: sí

Profesor: estos dos ácidos que están acá, el ácido sulfúrico y el ácido clorhídrico, son ácidos fuertes, por lo tanto el equilibrio está desplazado hacia la derecha. El ácido sulfúrico tiene dos protones acídicos, el primer protón se comporta como un ácido fuerte y el segundo no tanto ¿Vale? Pero estamos pensando únicamente en el primer protón. Si el equilibrio está desplazado para allá (hacia los productos) quiere decir que la base conjugada no va a tender a captar un protón, por lo tanto va a ser una peor base ¿Bien?

Entrevistadora: ya

Profesor: entonces bajo ese concepto, como esta molécula, el ácido sulfúrico y el ácido clorhídrico... el anión... la base conjugada está estabilizada, siendo la más

estabilizada la del ácido sulfúrico, la del ácido sulfúrico es un ácido más fuerte por lo tanto su base conjugada es más débil ¿Bien?

Entrevistadora: yaa

Profesor: Lo mismo con el ácido clorhídrico, el ácido clorhídrico va a liberar un protón, la base conjugada es el cloruro ¿Bien? esa carga negativa que está generada ahí (la del Cloro) la única forma en cómo está estabilizada es porque está sobre un elemento electronegativo ¿Vale? pero no tiene la estabilización por resonancia, por lo que, la base conjugada de esto (indica ácido clorhídrico) es mucho más... un poquito más fuerte que la del ácido sulfúrico

Entrevistadora: ya

Profesor: y después la del ácido acético, que tiene una constante de equilibrio mirado de izquierda derecha de un 4.74, es un ácido débil, por lo tanto ,cómo es un ácido débil, la base conjugada es fuerte, por lo tanto la base conjugada... la base más fuerte es esta que está acá (Molécula B) después viene la del ácido clorhídrico (Molécula C) y por último el ácido sulfúrico (Molécula A). Entrevistadora: ya

Profesor: Pero ojo, hablando de la base conjugada, porque no estemos pensando que esas moléculas son las que se van a protonar

Entrevistadora: ya, perfecto

Profesor: porque, a mí la pregunta hubiese sido correcto... o sea, si me hubiesen preguntado de cómo es el comportamiento, perdón estaba pensando en el ácido carbónico así (escribe HSO_4^-) como base conjugada y ahí hubiésemos hablado de quién es la base más estable y esas cosas. No se si me logre explicar con el asunto de las bases conjugadas

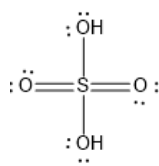
Entrevistadora: sí, claro que si. Le puede poner un número para poder ordenar porfavor , bajo cada molécula

Profesor: yo le pongo todos los números que quiera vamos a eliminar esto de acá (Enumera las moléculas) Insisto estamos hablando de la base conjugada ¿Vale? porque ustedes me van a hacer colocar un número sobre el ácido para decir que es una base, pero ¿Se entiende?

Entrevistadora: si, lo entendemos

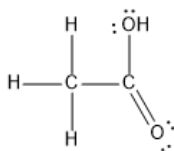
Profesor: Primero (Molécula B), segundo (Molécula C) y tercero (Molécula A). Base conjugada ¿Ya? porque la primera que está acá (Molécula B) es una base que

tiende a captar un protón para irse hacia la izquierda porque tiene un equilibrio químico, en cambio, el anión de esto que está acá (Molécula A) está estabilizada por resonancia, estoy pensando en sacar un protón y esa carga negativa está estabilizada por resonancia y sobre un elemento electronegativo entonces está muy feliz y contento siendo de esa manera, no protonándose, o sea, su comportamiento básico disminuye. Y el ácido clorhídrico la carga va a estar sobre un elemento electronegativo que está muy bien, está estabilizado esa base conjugada pero como no tiene resonancia... y yo creo que ese es el orden que está ahí



Molécula A

3°



Molécula B

1°



Molécula C

2°

Entrevistadora: perfecto, profesor qué es lo que hace la resonancia que tiene como consecuencia la estabilización de la molécula

Profesor: ¿Qué es lo que hace?

Entrevistadora: ¿Cuál es el efecto?

Profesor: estabiliza, baja la energía de activación de las moléculas

Entrevistadora: ya, perfecto

Profesor: lo logra estabilizar, lo hace más estable (guarda archivos pregunta 1)

Entrevistadora: ya, voy a intentar manejar el mouse. Lo que pasa es que cuando usted dibuja controla mi mouse, entonces voy a intentar guardar esto

Profesor: yo lo puedo guardar! a no, como lo guardó en tu computador. Le saco una foto ¿Yo le puedo sacar pantallazo a esto y después mandartelo?

Entrevistadora: Bueno, si desea. Pero creo que lo pude guardar sin problema

Profesor: de todas maneras yo me voy a asegurar y le voy a sacar un pantallazo a todo lo... y mejor me voy a asegurar porque me hizo la pregunta... la más loca de las preguntas que me han hecho. Porque podríamos haber partido con los ácidos.

Ya, ahora me va a preguntar por moléculas ácidas, cuales son más ácidas y me va a mostrar moléculas básicas. Ya. de hecho eso es

Profesor experto H

Entrevistadora : entonces vamos a empezar. Este es el ejercicio número 1 y nosotras le vamos a pedir que nos ordene estas moléculas de la más básica a la menos básica y nos diga el por qué, el por qué de su orden

Profesor: okey, déjame verlas eh b,a,c

Entrevistadora : b,a,c

Profesor: perdón, no este es ácido clorhídrico este es muy fuerte eh c-b-a perdón, c-b-a

Entrevistadora : ya, la idea es que nos marques, a lo mejor con un número, o como usted desee y que nos diga por qué ordenaste de esa forma las moléculas

Profesor: ya, eh la primera le puse el uno de acá que es el ácido clorhídrico, un ácido mineral eh si uno va la tabla de la constante de acidez, no vamos a encontrar valor de constante de acidez, por la disociación completa que tiene él, entonces es un ácido extremadamente fuerte, después coloque eh la molécula B que es un ácido carboxílico, un ácido orgánico y después al final coloqué la molécula con azufre que tiene dos grupos alcoholes que le dan determinada acidez pero tiene menos acidez que este (molécula B), principalmente por la interacción que tiene el grupo OH acá con el grupo carbonilo. Ese es el orden que le di yo

Entrevistadora : ya, pero el orden lo hizo ¿Del más básico al menos básico? o ¿Cómo fue?

Profesor: Claro, de la más básica a la menos básica por eso puse el 1 en el ácido clorhídrico

Entrevistadora: ya, esa sería la molécula más básica

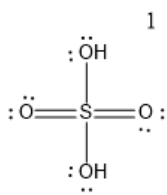
Profesor: más ácida ay! perdón es de más básica menos básica

Entrevistadora: sí, por eso

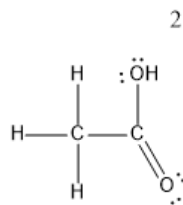
Profesor: al revés todo al revés, sería si es básico... entonces ahí si, yo le puse de más ácida a menos ácida,

Entrevistadora: claro por eso...

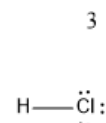
Profesor: por eso está todo al revés mis números. Esta sería la uno (molécula A), esta sería la 2 (molécula B) y esta sería la 3 (molécula C) la más ácida, después esta... ahí, ahora sí, las puse al revés



Molécula A



Molécula B



Molécula C

Entrevistadora : ya profesora, ¿Usted hizo su orden ehh de acuerdo a los pKa?

Profesor: Lo hice de acuerdo a los pKa, analicé en relación al pKa y también relacioné ehh el carácter acá (indica molécula B) del grupo carbonilo y el grupo OH que tiene al lado

Entrevistadora : y cómo se relaciona ese grupo OH y el carbonilo con la basicidad, que fue lo que usted me dijo algo de los grupos de la...

Profesor: principalmente acá yo lo veo acá el grupo carbonilo (molécula B), si bien aquí puede hacer deslocalización electrónica, con los pares electrónicos que tiene el grupo OH al lado, ahora bien ehh estoy dudando de mi elección ahora cuando estoy mirando acá, porque este grupo CH3 que esta aca al lado no le favorece mucho para la deslocalización electrónica, al contrario esto le resta electronegatividad a la molécula y acá hay como un símil de grupo carbonilo (molécula A), sin embargo cambia el azufre y tengo dos grupos OH laterales que sí podrían aportar densidad electrónica y con eso aumentar ehh la acidez de la molécula por lo tanto sería menos básica

Entrevistadora : perfecto, me habló ehh en la molécula B ehh ahí me dijo que el grupo metil restaba densidad electrónica

Profesor: principalmente lo que hace este grupo... él no es un atrayente de electrones, no se lleva la densidad electrónica porque no es electronegativo, sino que más bien actúa como un efecto inductivo dentro de la molécula, entonces si reemplazáramos este grupo CH3 por ejemplo por un Cloro y comparáramos esas dos moléculas, la que tiene el cloro debería ser más ácida, por ejemplo, y esta un poco menos ácida (molécula B), principalmente por el efecto del sustituyente

Profesor experto I

Profesor: Ahora entonces tendríamos que compartir pantalla (minuto 14:00)

Entrevistadora: sí

Profesor: ¿Yo?

Entrevistadora: Sí, desde...

Profesor: ¿Se ven?

Entrevistadora: mm no

Profesor: no, entonces se demora un poco, debiera... porque yo al menos... ustedes me dicen si se ve porque...

Entrevistadora: ahí empezó, a ver, ahí está

Profesor: ya

Entrevistadora: perfecto, ese sería el ejercicio número 1 (pregunta número 1 minuto 14:32)

Profesor: ya entonces aquí que tengo que hacer, tengo que seleccionar...

Entrevistadora: ordenar de la más básica a la menos básica y ahí que nos indique con un número o con una flecha como ustedes desee

Profesor: ya, dame unos segundos voy a... la uno (molécula C) después... (enumera con un dos la molécula B y con un tres la molécula C) ya ese sería mi orden ¿Se ve?

Entrevistadora: Sí por qué profesor ¿Por qué eligió ese orden?

Profesor: por las estructuras, por el número de enlace, por el tipo de estructura principalmente la más... en cuanto el número de átomo y la complejidad

Entrevistadora: ya y cómo se relaciona eso con el comportamiento básico de cada molécula

Profesor: cuando te refieres a comportamiento básico ¿Es a la reactividad?

Entrevistadora: ehh disculpe ¿Qué me dijo al final?

Profesor: cuando dices comportamiento básico

Entrevistadora: claro porque nosotros le preguntamos ehh de la más básica a la menos básica, cómo se relaciona ehh lo que usted me acaba de decir de la estructura, el número de enlace, complejidad en su decisión para determinar la fuerza de una base

Profesor: por el tipo... En la primera, en la HCl tenemos solamente dos átomos, un enlace, en la dos tenemos sólo enlaces, tenemos un enlace doble, sólo enlaces simple. Después en la otra tenemos dos enlaces dobles, ese sería un poco la complejidad de acuerdo a esa definición, porque no es por polaridad ni nada, sino que simplemente tú me preguntaste cuál encontraba más básica o... Entrevistadora: pero de comportamiento básico...de ácido-base no de...

Profesor: ahh no perdón, estamos entendiendonos mal, retrocedamos todo lo que hemos dicho

Entrevistadora: ya

Profesor: Te entendí... yo me había ido a otro lado por la complejidad estructural

Entrevistadora: no, de ácido-base. Sí nosotros estamos viendo el comportamiento básico de las moléculas

Profesor: ya, entonces voy a borrar todo lo que puse Entrevistadora: ya

Profesor: y voy a cambiar el orden, entonces para comportamiento ácido base, esta es la 3 (molécula C) Entrevistadora: ya Profesor: yo te había entendido de

complejidad... tres (molécula C) este es dos (molécula A) y tres (molécula B), tengo que borrar eso denme un segundo. Ya ehh comportamiento ácido-base. Tenemos tres ácidos, está el ácido clorhídrico ácido fuerte, después el ácido sulfúrico que no es tan... bueno también es un ácido fuerte pero es un poco más débil con dos constantes y el ácido más débil es el ácido acético por las constantes de acidez...

Entrevistadora: ya

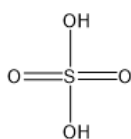
Profesor: asociadas

Entrevistadora: ya, ahí el orden que hizo fue del más básico al menos básico

Profesor: Perdón esto era... no, ehh dame un segundo

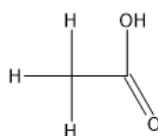
Entrevistadora: ya

Profesor: uno, dos ehh ... a ver, la más ácida sería la 1 que sería el ácido clorhídrico, después el ácido sulfúrico y la 3 el ácido acético y en ese orden de acidez la 1 es la más ácida, después menos ácida la dos y después la menos ácida la 3



Molécula A

2



Molécula B

3



Molécula C

1

Entrevistadora: ya y en cuanto basicidad, porque ahí...

Profesor: ¿De las mismas moléculas?

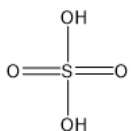
Entrevistadora: sí

Profesor: es qué tendría que ser el orden invertido

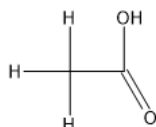
Entrevistadora: ahh ya perfecto, si porque le preguntamos de la más básica a la menos básica

Profesor: ya, en entonces la más básica tendría que ser la 3 (molécula B)

Entrevistadora: ya Profesor: después la 2 (molécula A) y por último la 1 (molécula C)



Molécula A



Molécula B



Molécula C

*Enumeración editada por nosotros para efectos de claridad para el lector

Entrevistadora: ya perfecto y eso usted... ese orden lo hizo básicamente por su ehh pKa

Profesor: si

Entrevistadora: ya, perfecto ehh de alguna forma el pKa se relaciona con la estructura y los átomos de cada molécula?

Profesor: si Entrevistadora: sí ¿De qué forma profesor podría ser ahí para... en cuanto al orden que usted dió?

Profesor: por los enlaces que forman y la electronegatividad que forma cada átomo con... en este caso con el (pausa)... con los hidrógenos

Pregunta 2

Profesor experto F

Entrevistadora: ya perfecto, ya podríamos pasar al próximo ejercicio (pregunta 2 minuto

19:18)

Profesor: veamos que viene en el dos. Estas si son bases ¿Si?, estas si son bases y aquí si yo podría decir que esta es la más básica (indica molécula B) y esta es la menos básica (indica molécula A)

Entrevistadora: ¿Por qué?

Profesor: ahora ¿Por qué esta es la menos básica? (indica molécula A) principalmente se debe a que ehh este par de electrones (dibuja flecha de movimiento de los electrones del Nitrógeno hacia el enlace) entra a formar parte de las estructuras resonantes del anillo aromático y luego este par de electrones está deslocalizado, lo que significa de que la disponibilidad del par de electrones para interactuar con un protón o con alguna especie electrofílica, está disminuido. Mientras que el caso de acá (indica molécula B), esta situación (pausa y dibuja flecha de movimiento de los electrones del nitrógeno hacia el enlace) no ocurre



Entrevistadora: ya perfecto

Profesor: Luego el par de electrones de la ciclohexilamina no se deslocaliza dentro de ningún sistema conjugado, luego el par de electrones está completamente localizado, y está disponible para interactuar con cualquier tipo de electrófilo, particularmente el protón (Guarda archivo pregunta 2) ¿Te parece convincente?

Entrevistadora: sí, muy convincente

Profesor experto G

Entrevistadora: Voy a pasar al siguiente. Ahí sí

Profesor: ya ¿Qué pasa con eso?

Entrevistadora: también, que me diga cuál es la más básica y la menos básicas y ¿Porqué? (pregunta 2 minuto 38:07)

Profesor: muy bien, ahora si estamos en un lenguaje correcto ¿Por qué? porque ambas moléculas que están ahí son básicas ¿Bien?

Entrevistadora: ya

Profesor: el comportamiento básico va ser atribuido por los pares electrones que están sobre el nitrógeno ¿Bien? ese nitrógeno con ese par de electrones los va a protonar por lo tanto se va a comportar como una base.

Entrevistadora: ya

Profesor: Estos pares de electrones... la anilina en comparación con las ciclohexilamina, que es la que tiene acá, este es... les voy a hacer un orden, las aminas alifáticas son más básica que el amoníaco y después todas las que vengan con un sistema aromático, cómo es la anilina son menos básica del amoniaco ¿Vale?

Entrevistadora: ya

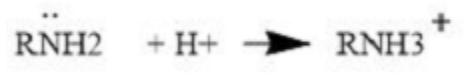
Profesor: le hice una diferenciación, le dividí la escala ¿Bien? Esta amina (Molécula B), es una amina alifática, o sea tiene una R común y corriente sobre la amina

Entrevistadora: espere profesor, antes de que siga ¿Usted puede controlar la pantalla?

Profesor: ¿En qué sentido? en escribir cosas y cosas por el estilo

Entrevistadora: Ah sí. eso sí. Quería ver. Ya perfecto, para que nos vaya indicando

Profesor: ya acá, mira. ¿Usted quiere una clase? yo le hago una clase (dibuja reacción de protonación de las aminas) y eso cuando (RNH₂) reaccione con un protón... después le vamos a poner todo lo que corresponde , eso va a generar RNH₃ me voy a... no pescar mucho lo que es la... me quedó la media flecha pero no importa ¿Bien?



Entrevistadora: ya

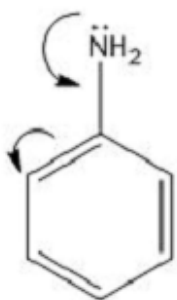
Profesor: Como les decía (pausa y dibuja electrones del nitrógeno) una base, según Bronsted-Lowry, es la capacidad que tiene una molécula por captar un protón ¿Vale?

Entrevistadora: sí

Profesor: y en concepto de Lewis es aquella especie que tiene la capacidad de donar electrones ¿Vale? porque tenemos el concepto de ácido y base de Lewis y lo de Bronsted-Lowry ¿Vale? En términos... Lo estamos viendo sólo en Bronsted-Lowry ¿Cierto? con este por de electrones va a captar ese protón y se va a generar el anión... el catión del amonio cuaternario, ya que está tan de moda esa cuestión. Vamos a colocar para no colocar un error, porque todo esto está siendo grabado (dibuja signo más sobre el RNH₃). ¿Bien? Acá tendrían el ácido conjugado ¿Vale? este es una base (RNH₂) y éste es el ácido conjugado ¿Vale? (indica en reacción de protonación de la aminas). Hay una clasificación la cual dice que las aminas alifáticas, con un R común y corriente, este es un R común y corriente (indica ciclo de la molécula B), este es un ciclohexilamina ¿Bien? ehh ese par de electrones está disponible para poder captar ese protón y por lo tanto esta molécula (Molécula B) es más básica que esta molécula que está acá ¿Por qué? porque resulta que las anilinas, ese par de electrones que está allá arriba (indica electrones del nitrógeno de la molécula A) están estabilizados, o sea no que están estabilizados, si no que están en conjugación con el sistema aromático, entonces usted tiene así y tiene así (dibuja flecha de movimientos de los electrones en molécula A) y después ustedes me imagino que todas las estructuras resonante. Ese par de electrones va a estar en conjugación con el sistema aromático, con un sistema π conjugado ¿Bien? en lo cual lo hace menos disponible para ser protonado, por lo que la anilina baja su basicidad en comparación con las aminas alifáticas ¿Bien?

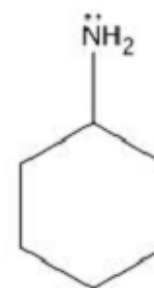
Entrevistadora: ya

Profesor: ¿Quiere que las ordene? esta está muy refácil. Esta es la primera, esta es más básica (molécula B) y después vendría eso (molécula A). ¿Bien?



Molécula A

2°



Molécula B

1°

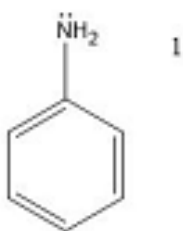
Entrevistadora: perfecto

Profesor: Esta pregunta ya están siendo... son más lógica, la otra ya era más compleja

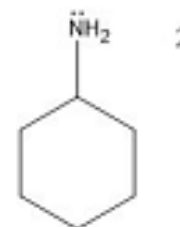
Profesor experto H

Entrevistadora : ya perfecto, voy a controlar un poco el cursor, voy a guardar este archivo para pasar al siguiente, que es lo que voy a hacer siempre al finalizar cada ejercicio. Ahí se guardó y voy a pasar al número 2, que es ese ejercicio profesora, aquí es lo mismo, que nos diga qué molécula es la más básica y la menos básica y por qué.

Profesor: ya la más básica es la primera (molécula A), esta, ohh perdón (problemas para manejar ChemDraw). Esta le voy a poner número 1, esa es la más básica (molécula A) y esta la menos básica (molécula B). Porque ehh si bien las moléculas son similares, acá la resonancia (molécula A) lo que hace es ehh disminuir por un lado la acidez por lo tanto va a potenciar más la basicidad de la molécula



Molécula A



Molécula B

Entrevistadora : ya y ¿Por qué la resonancia, profesora, disminuye la acidez?

Profesor: porque cuando ehh nosotros tenemos ehh, no, disminuye... la resonancia aumenta la acidez perdón

Entrevistadora: ahh ya

Profesor: por ejemplo si tuviéramos una molécula similar a ésta (molécula A), que fuera un fenol, como vamos a tener un ion aquí, que sería el fenolato, al perder el protón, eso va a tener mayor estabilización por resonancia. En cambio acá (molécula A) el grupo amino al protonarse, ehh como es una base, va a recibir un protón y va a quedar como NH₃, por lo tanto extremadamente positivo, él no va a poder ceder su par electrónico porque este grupo como es NH₂ es un dador de electrones, lo que hace es ceder su par de electrones al ciclo que está en la parte de abajo

Entrevistadora : ya perfecto... entonces la resonancia hace que aumente la acidez

Profesora: sí

Entrevistadora: qué fue lo que usted me dijo y por lo tanto esa molécula sería más básica que la otra, en comparación con la molécula B

Profesor: sí, si es que no me enrede si

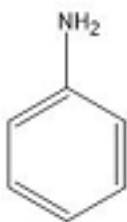
Profesor experto I

Entrevistadora: ya ese es el ejercicio 2 y también que nos diga cuál de esas moléculas es la más básica y por qué (pregunta 2 minuto 21:46)

Profesor: ya ehh tenemos una... la anilina y la ciclohexilamina. La más... la menos básica mmm la más básica. La más básica es la molécula B

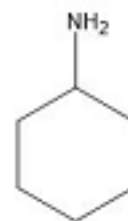
Entrevistadora: ya

Profesor: tendríamos que poner... la B . A ver dame un segundo. La más básica sería la 1, insertar (molécula B) y la otra sería la 2 (molécula A)



Molécula A

2



Molécula B

1

Entrevistadora: ya

Profesor: ya, por qué. La... en el primer caso, bueno, la basicidad va a estar dada por el par de electrones no enlazantes del nitrógeno, en ambos casos, y en el caso de la molécula B (indica molécula A) , ese par de electrones podrían estar involucrados en la resonancia del anillo aromático. Mientras que en la molécula B no están involucrados en la resonancia por lo tanto tienen mayor disponibilidad para formar un enlace, para comportarse como base, para quedar como... como una base de Lewis

Entrevistadora: ya perfecto, ehh entonces usted... volviendo a la molécula A usted me dice que ehh ahí hay un efecto de resonancia ¿Cómo se relaciona ese efecto de resonancia con ehh el par de electrones del nitrógeno?

Profesor: porque pueden entrar en resonancia

Entrevistadora: ya

Profesor: son inducidos a entrar en resonancia con el anillo aromático

Entrevistadora: ¿Y cómo eso afecta la basicidad?

Profesor: La disponibilidad de esos electrones no es... no quedan tan disponibles esos electrones para formar un enlace con un hidrógeno

Entrevistadora: ya

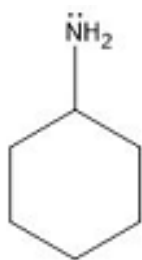
Profesor: para compartir ese par de electrones

Pregunta 3

Profesor experto F

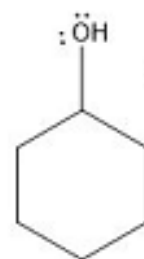
Entrevistadora: sí, pasemos a la tercera.... Aquí igual... ¿Cuál de estas moléculas es la más básica? (pregunta 3 minuto 21:22)

Profesor: Bueno, en general los OH a pesar de tener pares electrones de tipo n para compartir no se consideran sustancias básicas, eh mientras que los nitrógenos y su par de electrones para compartir si se consideran sustancias eh básicas por lo tanto, esta es más básica (molécula A) y esta es menos básica (molécula B)



mas basica

Molécula A



no basica

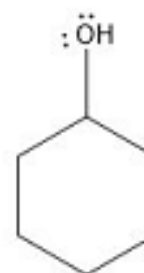
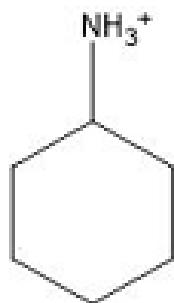
Molécula B

Entrevistadora: ya, ahora ¿Por qué eh existe esa diferencia? Entre el oxígeno y el nitrógeno y también me habló de los orbitales.

Profesor: los electrones de tipo n

Entrevistadora: ah ya los electrones de tipo n

Profesor: los electrones de tipo n en el oxígeno (carraspea) no tiene la capacidad que tiene el nitrógeno para interactuar con especies electrofílicas para considerarse una base, de hecho el nitrógeno cuaternizado o sea (pausa y copia molécula A y agrega un hidrógeno al NH₂, quedando como NH₃⁺) esta especie. Le vamos a sacar el par de electrones, porque ahora el par de electrones está formando... Esperate que voy a pagar la estufa que la prendí un poquito que acá en el sur hace más frío que allá en Chillán, pero ya me dió calor si, porque se me hielan las patitas un poco más rápido. Ehh esta especie (molécula A con nitrógeno cuaternizado) es extremadamente estable, el nitrógeno tiene la capacidad de formar especies cuaternarias con una alta estabilidad, por lo tanto el equilibrio que se forma entre una base libre y su especie protonada termodinámicamente es muy factible, en cambio en este caso no es así (indica molécula B)



no basica

Entrevistadora: ¿Porque no es así, qué pasa con el oxígeno y sus electrones?

Profesor: no, porque esos se disocian rápidamente, el enlace entre el oxígeno y el hidrógeno (molécula B) ehh para formar una especie protonada es mucho más débil, que lo que ocurre con el par electrónico del nitrógeno (molécula A), ahora debe haber alguna consideración termodinámica para eso pero en general uno cuando enseña química orgánica no habla del oxígeno como una base, sino que habla del oxígeno como un aceptor de puentes de hidrógeno a través del par electrónico de tipo n del oxígeno y un dador de puentes de hidrógeno a través del hidrógeno unido al oxígeno pero no se habla de basicidad, mientras que las aminas si, a pesar que ese nitrógeno, tiene la capacidad de ser dador de puente de hidrógeno a través de los hidrógenos y aceptor de puente de hidrógeno a través del par electrónico del nitrógeno ehh cuando uno pone la ciclohexilamina en solución acuosa y mide el pH, el pH que te da es efectivamente básico

Entrevistadora: ya

Profesor: mientras que cuándo uno pone el ciclohexanol en solución acuosa y mide el pH, el pH es neutro

Entrevistadora: ya, perfecto

Profesor: entonces experimentalmente está demostrado que los alcoholes no son bases ¿se entiende?

Entrevistadora: ya, perfecto osea por más que nada por una definición ehh empírica ehh tomó la decisión de que la molécula A iba a ser la más básica

Profesor: claro y experimentalmente también (guarda archivo pregunta 3)

Entrevistadora: claro. Ya perfecto, podríamos pasar al siguiente ejercicio.

Profesor experto G

Entrevistadora: Perfecto, voy a guardar el archivo y vamos a pasar al número tres. Ahí, lo mismo, la más básica y la menos básica (pregunta 3 minuto 42:55)Profesor: Vale, cuando uno entiende el comportamiento de la base... ¿Vale? de partida si lo ordeno de mayor a menor basicidad esta es la primera (molécula A) y esta es la segunda (molécula B). O sea las amina, por definición, son más básicas que los alcoholes, este es un alcohol común y corriente (molécula B), este es el ciclohexanol y esta es la ciclohexanamina. Las aminas son más básicas que el fenol, por qué, porque el nitrógeno tiene la posibilidad de donar este par de electrones para poder captar un protón, lo mismo podría pensar con el oxígeno, el oxígeno también tiene un par de electrones pero con ese par de electrones captar un protón, por lo que los alcoholes también se comportan como bases ¿Vale? se pueden protonar, pero es mucho más fácil protonar una amina, ahora la respuesta radica en que la electronegatividad del átomo que tiene su par de electrones que quiere compartir. Cuando la electronegatividad es más alta, en este caso la electronegatividad del oxígeno es más alta que electronegatividad del nitrógeno,

tiende a no compartir esos pares electrones, entonces de esa manera las aminas son más básicas que los alcoholes alifáticos

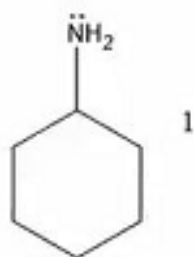
Entrevistadora: ya, entonces básicamente por la electronegatividad del átomo

Profesor: cuando uno está comparando... porque acá son moléculas que son isósteros, o sea son átomos que tienen un mismo comportamiento electrónico o sea ambas se comportan del término como una base ¿Bien?, pero ¿Por qué? Porque tienen par de electrones libres ¿Bien? En el concepto de Lewis ese par de electrones libres... ellos están comportando como base porque tienen la capacidad de donar electrones o captar protones qué es el concepto de ácido de Lewis. Bien o sea entre esos dos el elemento más electronegativo, va a disminuir la basicidad, por lo mismo, por lo que te explico, cómo son tan electronegativos ellos más bien retienen esos pares de electrones y no los quieren compartir dicho de una manera simple

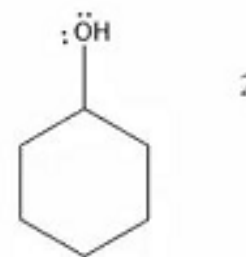
Profesor experto H

Entrevistadora : ya perfecto. Voy a guardar este archivo ahora y vamos a pasar al número tres. Ya, aquí es lo mismo, la más básica y la menos básica y por qué

Profesor: La más básica tendría que ser ehh la A, el nitrógeno versus el oxígeno, debería ser más básica ehh principalmente por la diferencia de electronegatividad y por la naturaleza del sustituyente, ehh todo lo que es relacionado más con grupo amino tiene más tendencia a la basicidad, este ehh puede captar protones (molécula A) y este tiende a más fácil a perder ese protón que es más ácido (molécula B)



Molécula A



Molécula B

Entrevistadora : perfecto, las podría marcar ¿Por favor? Para que quede un registro

Profesor: ya

Profesor experto I

Entrevistadora: ya perfecto. Podríamos... podría guardar el archivo por favor profesor? y pasaríamos a la número 3. Esa es la número tres

Profesor: Esa es la número tres

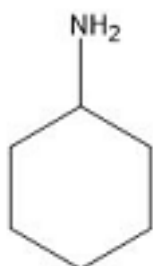
Entrevistadora: y aquí la misma pregunta ¿cuál es la más básica?, ¿cuál es la menos básica y por qué? (pregunta 3 minuto 24:18)

Profesor: Tenemos la ciclohexilamina y el fenol, perdón el... no no es un fenol, no tiene el anillo aromático. Ehh cuál es menos básica?. perdón cuál es más básica

Entrevistadora: si

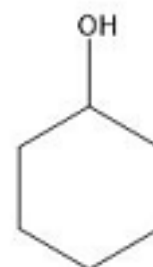
Profesor: (pausa extensa) la más básica tendría que ser la B (indica molécula B) el...y la menos básica la A, hidroxil... laa ciclohexanol, y la otra es la ciclohexilamina

Entrevistadora: ya, las puede marcar profesor por favor



Molécula A

2



Molécula B

1

Profesor: si

Entrevistadora: ya profesor ¿Por qué su decisión fue esa?

Profesor: porque el hidroxilo es una base, una base fuerte

Entrevistadora: yaa

Profesor: el OH

Entrevistadora: ya

Profesor: tiene dos par de electrones no enlazantes y en el caso de las aminas que son bases un poco más débiles tienen un par de electrones para compartir, para comportarse como base

Entrevistadora: ya, o sea la diferencia sería que ehh el oxígeno tiene dos pares de electrones disponibles y

Profesor: sii

Entrevistadora: él nitrógeno tiene sólo uno

Profesor: si

Entrevistadora: por eso el ciclohexanol sería más básico

Profesor: si

Pregunta 4

Profesor experto F

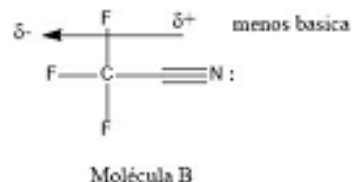
Entrevistadora: Aquí también lo mismo (pregunta 4, minuto 26:02)

Profesor: ya eh los nitrilos... el nitrógeno de los nitrilos eh rara vez es considerado como una base o como un ácido a pesar de que ese par de electrones de ahí está perpendicular al sistema π y no entran a formar parte de estructuras resonantes eh ahora la capacidad de interactuar de ese par de electrónico del nitrógeno con una especie electrofílica va a ser mucho más fuerte en la molécula A que en la molécula B, ¿Por qué? porque este grupo de acá (señala Hidrógenos de la molécula A) está produciendo un efecto inductivo... ah perdón (profesor se equivocó al dibujar una línea en vez de una flecha) eh (pausa) esta molécula de aquí está produciendo un efecto inductivo hacia el grupo nitrilo



Entrevistadora: ya

Profesor: con una deslocalización de cargas que va de esta manera (dibuja flecha desde el grupo metilo hacia el grupo nitrilo de la molécula A) un delta más en esta posición (grupo metilo) y un delta menos en esa posición de ahí (grupo nitrilo) luego, por el efecto inductivo del grupo metilo uno puede decir que este nitrógeno (señala molécula A) tiene su par de electrones de tipo n más localizados; mientras que el flúor por ser extremadamente electronegativo (señala molécula B) hace de que el Trifluorometilo tenga una deslocalización por efecto inductivo opuesto al que tiene el grupo metil (dibuja flecha desde el grupo nitrilo el grupo trifluorometilo), lo que hace que el momento dipolar de ese grupo trifluorometilo este en la dirección opuesta (dibuja delta más sobre el grupo nitrilo y delta menos sobre el grupo trifluorometilo), lo que significa que este par electrones de aquí (señala par de electrones del nitrógeno de la molécula B) están menos localizado que este par electrónico de acá (señala par de electrones del nitrógeno de la molécula A) y si yo considero de que ese par de electrones del nitrógeno puede o podría actuar como base sii, yo diría que está es más básica (molécula A) y está de acá es menos básica (molécula B)



Entrevistadora: ya

Profesor: pero definitivamente yo no definiría al grupo nitrilo como una base (Guarda archivo pregunta 4) Entrevistadora: ya, más que nada es la capacidad de entregar

esos electrones y su justificación fue básicamente el efecto inductivo y cómo afectaba la polaridad de la molécula ¿Cierto?

Profesor: exactamente

Entrevistadora: y a la deslocalización

Profesor: en este caso el par de electrones está mucho más localizado debido al efecto inductivo del grupo metilo (molécula A), mientras que en este caso de acá (molécula B) el par de electrones estaría menos localizado debido a que el trifluorometilo tiene un efecto inductivo negativo

Entrevistadora: perfecto

Profesor: eso sería como mi definición

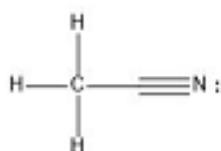
Profesor experto G

Entrevistadora: ya, perfecto. Voy a guardar esto. Ese es el número 3 y vamos a ir al número 4. Aquí lo mismo (pregunta 4 minuto 45:18)

Profesor: ya ese es el trifluorometano y el otro el Trifluoroacetoniitrilo, ya ¿Qué pasa con eso? ¿Qué quiere saber, la basicidad?

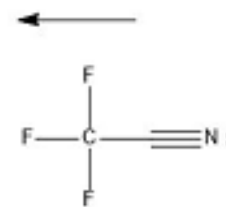
Entrevistadora: la más básica y la menos básica

Profesor: ya vamos a ... ohh está fácil, la más básica y la menos básica, esta es más básica (Molécula A) y esta es la... después la menos básica (Molécula B). De partida los nitrilos no tienen comportamiento muy básico



Molécula A

1°



Molécula B

2°

Entrevistadora: ya

Profesor: ehh no son como las aminas, las aminas son mucho más básicos que estos nitrógenos que tienen par de electrones libres, porque acá lo que tiene usted es un nitrilo ¿Ya? ahora cómo te estaba comentando en un principio, esta molécula tiene que tratar de donar estos electrones para que pueda captar el protón ¿Bien? los tienes que compartir, si tú tienes un grupo atractor de electrones, que acá lo vamos a colocar ehh así nomás este grupo que está acá (molécula B) que es el trifluorometano que está sobre el nitrilo, como los fluoruros son electronegativos, la densidad electrónica está desplazada hacia los halógenos

(dibuja flecha desde el nitrógeno hacia los flúor), entonces esta densidad electrónica... porque si yo hago un diagrama de potencial eléctrico, las zonas rojas

vendrían siendo las zonas de alta densidad electrónica y esta zona (nitrógeno de la molécula B) no se vería tan roja como esta (nitrógeno molécula A)

Entrevistadora: ya

Profesor: ¿Por qué? Por qué la densidad electrónica está desplazada hacia el trifluorometano que tiene sobre el nitrilo

Entrevistadora: ya

Profesor: entonces los sustituyentes deslocalizan los pares de electrones, disminuye la basicidad en comparación con estos nitrilos

Entrevistadora: ya

Profesor: eso...

Entrevistadora: ¿Y la otra molécula?

Profesor: La otra molécula no lo tiene

Entrevistadora: ya

Profesor: o sea al fin y al cabo esta molécula no tiene un grupo aceptor de electrones, de hecho, el grupo metil que tiene acá, por definición, tienen un efecto inductivo positivo, es como que está donando electrones, pero es muy poco o sea ese par de electrones.... mira cuando tienes un par de electrones sobre el nitrógeno ¿Vale?

Entrevistadora: sí

Profesor: cuando tenga hibridación sp^3 ¿Me estás siguiendo?

Entrevistadora: ya

Profesor: son más básico que cuando son sp^2 y cuando son sp , este nitrógeno (Molécula A) tiene hibridación sp por lo tanto es menos básico que los otros ¿Bien?

Entrevistadora: ya

Profesor: pero en término de estos dos, como este grupo... como la molécula B adicionalmente tiene un sustituyente que es el trifluorometano, que está acá, metil en este caso, eso hace una atracción de esa densidad electrónica, por lo tanto este par de electrones (nitrógeno molécula B) se encuentran menos disponible que es estos dos que están acá (nitrógeno molécula A)

Entrevistadora: perfecto, profesor que hace la hibridación ehh sp tenga ese efecto de que le quita un poco la basicidad a la molécula en comparación con el sp^3 por ejemplo

Profesor: ehh a ver yo me acuerdo de esa cuestión, no no me estoy acordando en este rato

Entrevistadora: ahh ya

Profesor: la hibridación del orbital sp cuando tiene mayor carácter p , es por una distancia de enlace creo pero no me acuerdo específicamente para el caso de los nitrilos

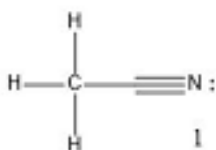
Entrevistadora: ya perfecto, pero básicamente las dos moléculas por ser hibridación sp no son tan básica pero en la comparación entre las dos...

Profesor: en comparación de estas dos esta es más básica (molécula A) y después viene la molécula de trifluoruroacetronitrilo

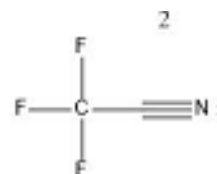
Profesor experto H

Entrevistadora: voy a guardar este archivo también y voy a ir al número tres, número cuatro ya, ese. Dice que también si nos puede decir qué molécula es la más básica y cuál es la menos básica y por qué

Profesor: a ver este es... ya, acá hay un triple enlace, por lo tanto hay una alta densidad electrónica, ya ehh al haber alta densidad electrónica con un grupo CF₃, el grupo CF₃ es un atrayente electrones, por lo tanto ehh se está llevando la densidad electrónica hacia él y compite con este grupo que está acá (grupo nitrilo molécula B). En el ejemplo de acá (Molécula A), este es un grupo metilo tiene más bien efecto inductivo pero no tiene un alto efecto electronegativo como en el ejemplo B, por lo tanto ehh (pausa) si los comparo para mí la más básica debería ser ehh la A



Molécula A



Molécula B

Entrevistadora : ya. Profesora y usted me dice que básicamente es por el efecto inductivo que hay ehh en la molécula B

Profesor: claro, lo que pasa que este grupo de acá (trifluorometilo) es el símil del grupo CH₃, del grupo metilo, la única diferencia es que cambia los sustituyentes, los hidrógenos por flúor, entonces como estos tienen alta electronegatividad, ehh potenciarían un poco a la naturaleza de acá, del grupo o de la alta densidad electrónica que hay acá (grupo nitrilo Molécula B), en cambio acá no se potenciaría este efecto con este grupo metil

Entrevistadora : profesora y ¿Cómo afecta ese efecto inductivo a la basicidad de esa molécula?

Profesor: La debería restar porque los efecto inductivo con grupos que son electronegativos, ehh moléculas que tienen tendencia... el grupo electronegativo tienden a aumentar un poco la acidez de la molécula. Por ejemplo si yo tengo 2 alcoholes con cadena alquílica, el alcohol que tenga cloro versus a un alcohol que no tiene cloro, va hacer un poquito más ácido con respecto al que no tiene cloro, entonces los grupos electronegativos aumentan o potencian un poco más la acidez

Entrevistadora : profesora pero en el caso aquí de la molécula B la basicidad ¿Cuál es el efecto directo que tienen esos flúor?

Profesor: se estarían llevando la densidad electrónica hacia ellos (molécula B), ahora no están pegados directamente al triple enlace sino que están separados por un carbono, pero de todas maneras están llevando la densidad electrónica hacia ellos

Entrevistadora: ya, perfecto

Profesor: entonces aquí hay como un doble efecto, porque aquí hay alta densidad electrónica hay un triple enlace y acá además hay ehh tres átomos que son extremadamente electronegativos

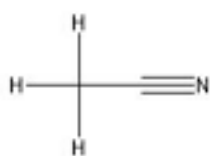
Profesor experto I

Entrevistadora: ahh ya perfecto. Vamos a pasar al siguiente, por favor si puede guardar ese archivo (pausa). Aquí es exactamente la misma pregunta ¿cuál es más básica, cuál menos básica y por qué? (pregunta 4 minuto 26:40)

Profesor: ya ahh (pausa y audio poco inteligible). La más básica tendría que ser la A

Entrevistadora: ya

Profesor: y la menos básica sería la B. A sería uno... dos (enumera moléculas). Laa... en el caso de la B es menos básica por la disponibilidad de los electrones, debido a que está unido a un... a 3 flúor y esos flúor tienen mayor electronegatividad que los hidrógenos, por lo tanto están tirando el par de electrones hacia el... el de los... el triple enlace, los dos pares de electrones pi por lo tanto deja menos disponible el par de electrones no enlazantes (indica electrones del nitrógeno)



Molécula A

1



Molécula B

2

Pregunta 5

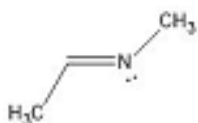
Profesor experto F

Entrevistadora: ya, pasemos a la siguiente (pregunta 5, tiempo 29:55)

Profesor: estábamos en la cuatro vamos a la 5

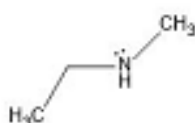
Entrevistadora: la cinco (Pausa) Aquí igual

Profesor: ya, de hecho si miramos bajo el mismo concepto de que el par electrónico del nitrógeno en estas situaciones está más localizado o menos localizado ehh y también el mismo hecho de que ehh esta es una amina primaria (señala molécula B) esta es la más básica, perdón una amina secundaria esta es la más básica, esta sería la menos básica, la intermedia (señala molécula A) y esta de acá sería la menos básica (señala molécula C) pero ehh yo no sería capaz de comparar en términos de basicidad un grupo nitrilo (molécula C) con estos otros dos (molécula A y B)



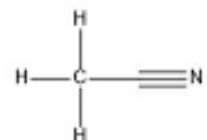
Molécula A

basicidad intermedia



Molécula B

mas basica



Molécula C

menos basica

Entrevistadora: ya

Profesor: ehh por qué considera de que aquí (señala molécula C) esto por qué no es básico, porque cuál es el hecho de que el nitrógeno de un grupo nitrilo no sea básico. Se debe principalmente a este hecho, lo voy a dibujar (dibuja orbitales del grupo nitrilo) tengo aquí este me quedo muy largo (audio poco inteligible), voy a agradecer para que podamos ver bien

Entrevistadora: ya

Profesor: ahí está el triple enlace (indica orbitales), aquí tenemos el nitrógeno con su par de electrones que está apuntando de manera perpendicular al sistema π (indica orbitales del nitrógeno) voy a poner el par de electrones ohh se ve chiquitito ¿Por qué el grupo nitrilo no se considera básico? Porque su capacidad de formar puentes de hidrógeno es muy pequeña

Entrevistadora: ya

Profesor: porque imagínate tú tienes aquí un par de electrones (indica orbitales del nitrógeno) y aquí tienen cuatro electrones en un sistema π (indica orbitales del triple enlace) o sea para que venga un electrófilo como el protón (pausa y dibuja electrófilo) a interactuar con este te cuesta mucho acercarse a él porque tiene toda una nube electrónica, este par de electrones (del nitrógeno) está inmerso dentro del sistema π

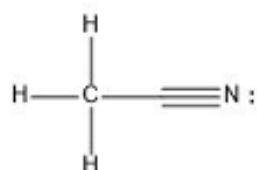
Entrevistadora: ya

Profesor: por lo tanto no lo ve el electrófilo, no lo logra localizar, por eso el nitrógeno (Señala molécula C) del nitrilo rara vez se considerado como una especie básica

Entrevistadora: ya, o sea experimentalmente tampoco....

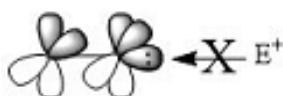
Profesor: lo que no... no se considera, porque esto... esta interacción está impedida prácticamente estéricamente, electrónicamente de una manera repulsiva, ehh esa

interacción ehh (pausa) no es buena para el grupo nitrilo ohh se me fue el nitrógeno de ahí no se donde quedo el nitrógeno lo voy a poner ahí, ahhh ya se porque esta debajo, está debajo no se ve. Pero se entiende ¿No?



Molécula C

menos basica

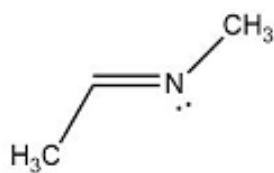


Entrevistadora: sí

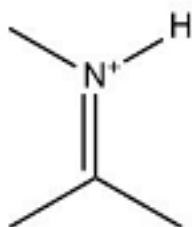
Profesor: aquí abajo hay un nitrógeno, no lo logró

Entrevistadora: sí, pero se entiende el fundamento

Profesor: pero esa es la interacción, mientras que acá no (señala molécula A), este par de electrónico (del nitrógeno) si es básico y de hecho uno puede obtener este tipo de moléculas (dibuja Iminium). Si no preguntale al nano que estuvimos trabajando por allá en el año 96 o 97 y él hacía iminas y las tratábamos de protonar, el problema era que cuando las tratábamos de sacar de una solución acuosa, se nos hidrolizaban y volvíamos para el otro lado, el equilibrio ahí era asqueroso porque las iminas se forman a partir de la interacción de una grupo carbonilo con una amina primaria y ehh es un cacho tienes que trabajar con solventes no acuosos y metes cualquier pizca de agua lavar el producto de la reacción



Molécula A



sal de Iminium

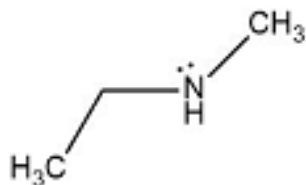
Entrevistadora: se protona

Profesor: y se disocia y vuelve al producto original a la formación de iminas es un equilibrio entre el carbonilo de aldehídos o cetonas y aminas primarias para formar iminas ehh por lo tanto uno para poder tener estable tiene que formar la sal cuaternaria, solventes polares apróticos porque con solventes polares próticos no

te producen la hidrólisis del grupo imino, este es un iminio, así se llama este grupo, se llama iminio o en inglés iminium ¿No se cual de los dos gusta más? Te lo dejo como imino o iminium

Entrevistadora: ya, como iminium

Profesor: a mí me gusta iminium, porque proviene del latín de hecho y estos son... en realidad la manera correcta es sal de iminium, y estos sí son básicos, no son tan básicos como este de acá (señala molécula B), que es una amina secundaria



Molécula B

Entrevistadora: ya

Profesor: ¿Por qué?, porque también tiene este par de electrones aquí que molestan (señala electrones del nitrógeno de la molécula A), y de hecho este de aquí podría entrar en conjugación en cierto modo con esta especie de acá, o sea hay problemas estéricos que impiden de que este nitrógeno sea muy básico, este no, este es sumamente estable (molécula B) porque de hecho cuando tu miras la estructura de una amina, y no una imina, el par electrónico del nitrógeno está así (dibuja orbital del par electrónico del nitrógeno de la molécula B) , está esperando que llegue un electrófilo e interactúe con él



Entrevistadora: ya

Profesor: está completamente dispuesto a interactuar y formar sales de amonios como son los clorhidratos y ese tipo de cosas

Entrevistadora: ya, entonces como resumiendo, es básicamente que ese doble enlace que tiene la molécula A sería como un impedimento estérico... para donar ehh ese par de electrones

Profesor: claro, para que este par de electrones interactúe de manera correcta (señala electrones del nitrógeno de la molécula A), pero de todas maneras es una especie básica

Entrevistadora: ya

Profesor: ehh le vamos a poner aquí basicidad intermedia. Mientras que (pausa) la amina secundaria si es básica y de hecho una amina secundaria es mucho más básica que una amina primaria y la terciaria es más básica que la secundaria y es por el asunto del efecto inductivo que hace que los pares de electrones estén más localizado, por lo tanto yo compararía la basicidad de una amina primaria, con una secundaria y con una terciaria y en este caso aquí también este efecto... (señala molécula C) esto hace de que estos electrones están muy metidos hacia dentro en el sistema π

Entrevistadora: ya

Profesor: a pesar que no interactúan con el sistema π , están metidos bien hacia adentro, por lo tanto la interacción del electrófilo con el par de electrones es muy baja

Entrevistadora: ya, ahora ya que nos contó ehh lo de las aminas primarias, secundarias y terciarias ehh porque el tema de su basicidad, el aumento...

Profesor: ehh ojo...

Entrevistadora: me habló del efecto inductivo creo

Profesor: ojo que es del aumento de la basicidad de las aminas primarias, secundarias y terciarias es en el vacío, por que cuando uno lo hace en solución acuosa a veces cambia y todo depende mucho de ehh el grado de solvatación que tenga con el tipo de solvente que estás utilizando y ese tipo de cosas, pero cuando uno trabaja al vacío en una amina primaria, secundaria o terciaria (dibuja amina primaria, secundaria y terciaria) ehh un nitrógeno, vamos a poner aquí un hidrógeno, aquí otro hidrógeno y aquí vamos a poner un R y luego vamos a copiar esta y aquí vamos a poner otro R para que sea secundaria y aquí 3 R para que sea terciaria. Si yo considero que los grupos alquilo están haciendo un efecto inductivo positivo, este tiene un efecto inductivo positivo (señala amina primaria) mientras que estaba otra está aportando con dos efectos inductivos positivos (señala amina secundaria) y ésta está portando con tres efectos inductivos positivos (señala amina terciaria), luego el grado de localización del par electrónico del nitrógeno (pausa) es mayor en la amina terciaria porque está más localizado y es menor el amina primaria porque está deslocalizado (guarda archivo pregunta 5). Primaria, secundaria y terciaria (escribe los números bajo las aminas) Viste que me manejo bien con el ChemDraw



Entrevistadora: sí, era una de nuestras preocupaciones pero imaginábamos que no iba a haber problemas

Profesor: no, no te preocupes, además de hecho yo toda mi vida he hecho clases con plumón y pizarra

Entrevistadora: ya

Profesor: ahora estoy de manera virtual, estoy haciendo mis clases tal cual como si fueran en la pizarra

Entrevistadora: ya, con la pizarra de zoom

Profesor: esta es mi pizarra, entonces despues hago cortar pegar y la paso al power point y lo transformó en un ppt

Entrevistadora: ya

Profesor: pero estoy construyendo mis clases como si estuviera en una sala de clases, de hecho lo que estoy haciendo ahora es como si estuviera en una sala de clases

Entrevistadora: ya perfecto

Profesor: claro ahora lo estoy haciendo rápido, no le he puesto colores y todo eso. Aquí debería haber puesto un delta más y un delta menos (audio poco inteligible) que se yo

Entrevistadora: ahh ya perfecto

Profesor: pero es como la idea de cuando uno hace una clase

Entrevistadora: ya profe, pasemos a la 6 creo que es

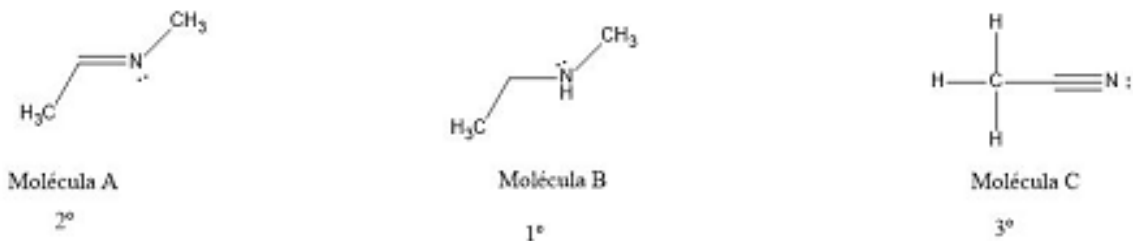
Profesor experto G

Entrevistadora: ya perfecto, voy a guardar aquí este archivo y este era el número cuatro creo, ahora el cinco (guardar archivo pregunta 4) (pregunta 5 minuto 49:37)

Profesor: vamos por el cinco , vamos que se puede. Ya lo mismo, ya te la dije ya, de hecho te acabo de responder esa pregunta. La más básica es la B, la segunda es la A y la tercera es la C, y todo está en la explicación de la hibridación

Entrevistadora: ya, perfecto

Profesor: esta es la más básica (molécula B) , esta es la segunda (molécula A)... Incluso le puedo decir los grupos funcionales para que vea que se algo de orgánica, esta es una amina secundaria (molécula B), esta es una imina (molécula A) y este es un nitrilo (molécula C)



Entrevistadora: ya

Profesor: entonces yo ya me estoy imaginando cuál es la última pregunta y si no debiese incluir

Entrevistadora: ya, entonces no nos podría decir porque el tipo de hibridación sp...

Profesor: Es por la distancia, es por una cuestión de cómo está ubicada la densidad electrónica sobre el orbital, porque mira... lleguemos hasta la conclusión, porque no debe ser tan difícil. Este nitrógeno (indica molécula C) ese par de electrones tiene hibridación sp, por lo tanto este par de electrones que están acá, están sobre un orbital sp

Entrevistadora: ya

Profesor: un orbital atómico sp y cuando tiene un orbital sp ¡ya me acorde! como tiene mayor característica s, los orbitales s son más compactos ¿Bien?

Entrevistadora: okey

Profesor: entonces ese par de electrones que está ahí está más sobre hacia el núcleo

Entrevistadora: ahh ya

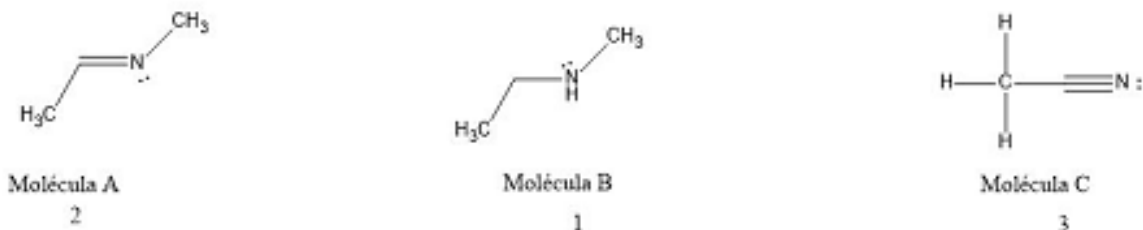
Profesor: entonces están más atraídos sobre el átomo entonces, ahí usted tiene el tamaño, por así decirlo, de la densidad electrónica está más llevada, no hacia el núcleo, pero está más compacto, en comparación cuando el par de electrones está sobre un orbital sp³, porque el orbital sp³ tiene un 25% de carácter s y el otro 75% es de carácter p y los orbitales p son más grandes por esa razón, cuando son más grandes tienen una mayor distancia por ejemplo del orbital para poder alcanzar un protón. Ve que me acordé.

Profesor experto H

Entrevistadora : perfecto, voy a guardar este archivo y voy a pasar al siguiente, este era el número 4, que es el número 5. Ya aquí ehh lo mismo, que si nos puede ordenar por favor de la más básica a la menos básica y nos diga por qué.

Profesor: de las más básica a la menos básica (enumera moléculas : primero molécula B , segundo molécula A y tercero molécula C). Ya ehh puse ese orden principalmente porque puse que esta es la más básica (molécula B) acá está el nitrógeno con hibridación sp³ y puede capturar ese par electrónico o sea con ese

par electrónico podría capturar otro protón y quedar con carga formal positiva. Acá está con hibridación sp^2 (molécula A) y ehh tiene un doble enlace, si bien podría capturar ehh otro protón, acá hay una densidad electrónica que estaría interfiriendo también en ello, y en el caso 3 (molécula C), sería lo mismo, el nitrógeno con hibridación sp ehh podría capturar un protón, sí, pero ya aquí habría un mayor impedimento también por la ehh densidad electrónica alta que hay acá al lado de él (indica triple enlace)



Entrevistadora : profesora y ¿De qué forma ehh impide esa densidad electrónica del doble enlace o del triple enlace, en el comportamiento de una base como para poder captar un protón?

Profesor: más que nada no es que impida, si no que igual lo puede hacer, pero por ejemplo en moléculas que tienen... ehh que son ciclos donde hay nitrógeno, por ejemplo, con este carácter, uno favorece la tendencia de la resonancia, entonces ehh uno busca cuál es el nitrógeno más capaz de capturar, en cambio en estos tres ejemplos que hay acá, o en la A o en el C, no es posible hacer resonancia, por lo tanto los pares electrónicos que tiene el nitrógeno lo va a ocupar para capturar el protón, y además se va a quedar con los electrones que están en juego acá, con él enlace que tiene (indica enlace doble molécula A), ya sea con el doble o con el triple y eso no le favorece mucho a la molécula para poder capturar el protón

Entrevistadora: ya

Profesora: En cambio acá se siente con un poco más o sea un poco menos de inestabilidad, por decirlo así, en relación a los electrones, porque como está con hibridación sp^3 no hay tanta interacción alrededor de ellos, es más factible que se acerque a una molécula donde hay un protón ácido. Aquí las nube electrónica hay mayor impedimento estérico para que se pueda acercarse también (triple enlace grupo nitrilo molécula C)

Profesor experto I

Entrevistadora: esa es la pregunta número 5 (pregunta 5 minuto 28:33)

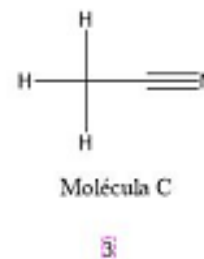
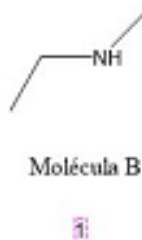
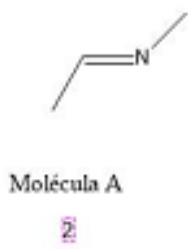
Profesor: ¿La misma pregunta?

Entrevistadora: la misma pregunta, si

Profesor: molécula A, molécula B, molécula C ehh (pausa).Cuál es más básica, dame un segundo déjame mirar las...

Entrevistadora: si, no hay problema

Profesor: (enumera las moléculas) la B sería la más básica. Perdón, sí. Después seguiría la A y la menos básica la C



Entrevistadora: ¿Por qué profesor?

Profesor: Por lo mismo, en el primer... bueno, en el segundo caso (molécula B) no hay insaturación en la molécula B, solo enlaces simples, por lo tanto sería una amina, en este caso, que tendría su par de electrones libres. En el segundo caso, en la molécula B (indica molécula A) tenemos un par... un doble enlace, lo cual hace que sea menos disponible el par de electrones no enlazantes y menos todavía en el molécula C

Entrevistadora: yaa

Profesor: disponibles para formar un enlace como base

Entrevistadora: ¿Y cómo afecta el tipo de enlace en la disponibilidad de los electrones del nitrógeno? Porque usted me habló del enlace simple, el enlace doble y el enlace triple, y esa era la razón de su orden ¿Cómo afecta el tipo de enlace a la basicidad de la molécula? (pausa extensa)

Profesor: por la atracción que tienen en... por la hibridación del nitrógeno en este caso más simple, de la molécula B

Entrevistadora: ya, la hibridación

Profesor: si

Entrevistadora: ya y ¿Cómo afecta la hibridación de ese nitrógeno a la disponibilidad de esos pares de electrones... de sus pares de electrones?

Profesor: mientras más hibridado menos disponible queda el par de electrones

Entrevistadora: ¿Y por qué?

Profesor: a ver como me explico (risa), quedan menos disponibles

Entrevistadora: ya porque, claro, usted me dijo que mientras más hibridados...

Profesor: si, menos disponible queda el par de electrones, que es el caso... por eso sería menos básica

Entrevistadora: menos básica

Profesor: si

Pregunta 6

Profesor experto F

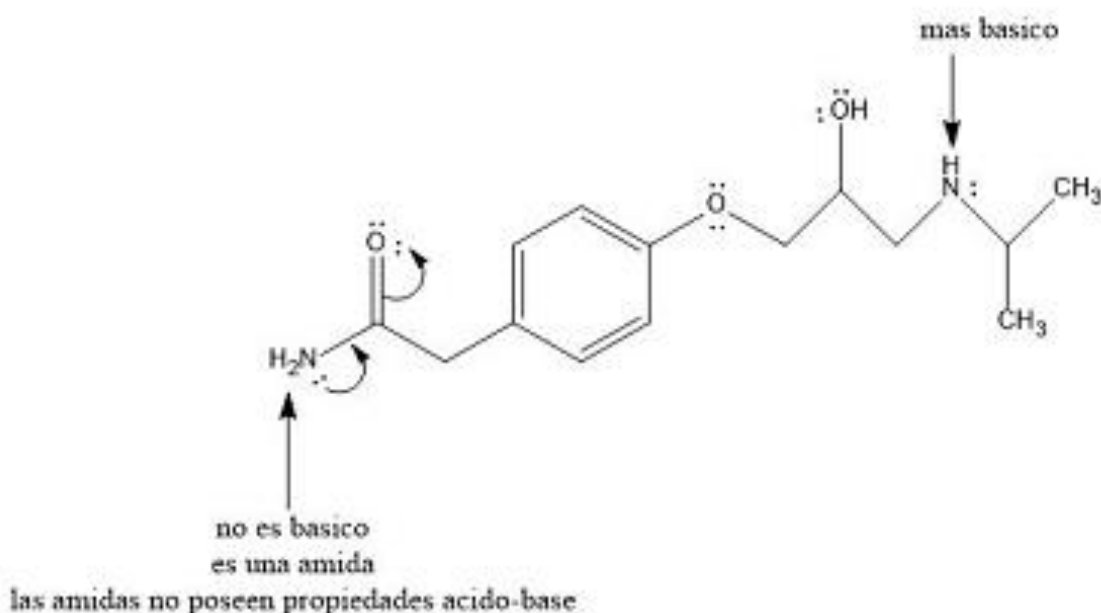
Profesor: estábamos en la cinco vamos a la seis, que nos trae la seis... wow una molécula grandota

Entrevistadora: si, ahí cambia la pregunta, ahí ehh nosotras queremos saber cuál es el átomo más básico de esta molécula y que nos diga por qué (minuto 42:59)

Profesor: este de aquí (dibuja flecha para señalar grupo amino NH) es el más básico y este de aquí (pausa y dibuja flecha para señalar amida NH₂) de hecho no es básico es una amida, las amidas no poseen propiedades ácido-base y ¿Por qué no poseen propiedades ácido-base? para protonar una amida tienes que tenerlo a pH 2 y de hecho se disocian rápidamente

Entrevistadora: ya

Profesor: el por qué ocurre eso, porque este par de electrones de aquí están formando parte de las estructuras resonantes de la amida (dibuja flechas de movimientos de electrones), se deslocalizan los electrones del nitrógeno hacia el carbonilo y los electrones π del doble enlace carbono oxígeno se van hacia el oxígeno, luego ehh las amida no tienen propiedades ácido-base .Y los alcoholes y éteres tampoco se consideran ni bases ni ácidos, a pesar de que el fenol sí se puede considerar un ácido porque se disocia, tiene un pKa cercano a 12, más o menos, ehh los OH a pH normales entre 0 y 14 no se disocian



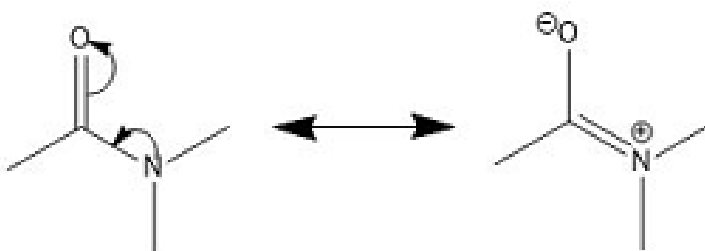
Entrevistadora: Profesor una pregunta ehh ¿Si aumenta la carga del oxígeno ahí en la amida porque no es básica?

Profesor: ¿Esta?

Entrevistadora: si, esa (señala oxígeno del grupo carbonilo)

Profesor: ¿Cómo por qué no es básica? Entrevistadora: me refiero a que con la deslocalización de los electrones existe en algún momento la posibilidad de que ese oxígeno tenga una carga negativa

Profesor: si no pero es una estructura resonante. Esperate lo voy a agrandar un poco para poder ver (audio poco inteligible) las estructuras resonantes (dibuja estructuras resonantes amida), ya aquí le voy a poner las rayitas aunque esos R pueden ser cualquiera, aquí se ve un nitrógeno, aquí se ve un oxígeno, (audio poco inteligible) el par electrónico va hacia acá y este otro hacia acá ehh se forman estructuras resonantes que las flechitas de las estructuras resonantes son estas las otras son de equilibrio, esta es una flechita adecuada para definir estructuras resonantes (copia molécula) ohh aparecieron los H pero después se los voy a borrar. No acá va positivo y acá negativo. Pero son estructuras resonantes , el tiempo de vida de este grupo (indica estructura resonante con el oxígeno con carga parcial negativa y el nitrógeno con carga parcial positiva) es bajísimo, hay un equilibrio dinámico y de hecho las estructuras resonantes son una mentira que uno utiliza para explicar algún fenómeno y el fenómeno que se explica a través de las estructuras resonantes del grupo amida es que el par electrónico del nitrógeno de la amida está formando parte de las estructuras resonantes, por lo cual ese par de electrones está deslocalizado en el sistema, luego la interacción con un electrófilo, como el del protón, no es factible



Entrevistadora: ya

Profesor: ¿Si? ahora si tú lo miras desde el punto vista del oxígeno negativo es la misma explicación

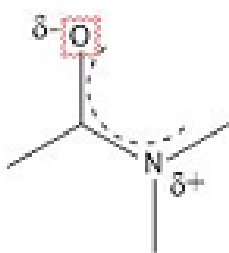
Entrevistadora: ya

Profesor: esa carga negativa dura tan poco tiempo en el sistema que está completamente deslocalizada también, de hecho cuando uno dibuja estructuras

resonantes uno genera el híbrido de resonancia (dibuja híbrido de resonancia). ¿Si? y que le pone... dónde están las rayitas esas

Entrevistadora: ahh ya, esa línea discontinua

Profesor: esa línea discontinua así, donde tú pones aquí delta más en el nitrógeno y delta menos (en el oxígeno), lo que significa que hay una deslocalización de cargas, las cargas no están localizadas, por lo tanto si quieres poner un electrófilo que interactúe con es nitrógeno no va... en algún momento va a decir, el electrófilo va a decir ahh ese nitrógeno tiene un par de electrones pero cuando se va acercando desapareció el par de electrones, entonces es como que le hace un “osooo” ¿Se entiende, no?



Entrevistadora: si, se entiende

Profesor: es media coloquial la interpretación pero yo igual se las digo a los estudiantes el “osooo” con la carga negativa y el par de electrones, para donde se fue el oxígeno entonces el electrofilo dice ahhh mira la carga negativa está sobre el oxígeno ahh vamos para allá, pero cuando llegan allá “osooo” de nuevo ¿Si?

Entrevistadora: si, se entiende

Profesor: entonces el electrófilo queda así como “churra” está sobre el nitrógeno, vamos donde el nitrógeno y “osoo” de nuevo y así se va, se va moviendo, entonces el electrófilo dice no este par de electrones no me sirve para interactuar con él porque nunca lo voy a poder agarrar

Entrevistadora: ya, perfecto

Profesor: y esa es la gracia de las aminas, que las aminas tienen su par electrónico completamente localizado no se puede mover para ningún lado, para que te voy a dar vuelta con el efecto túnel ¿Conocen el efecto túnel? ese de que el nitrógeno se da vuelta para abajo y para arriba...

Entrevistadora: no, nunca lo había escuchado

Profesor: bueno preguntentele al nano, el nano es experto en el efecto túnel

Entrevistadora: Profe, usted cuando vio esta molécula se fue de lleno al nitrógeno ¿Por qué descartó automáticamente esos oxígenos que también tienen pares de electrones?

Profesor: no, como te decía, si yo los pongo... si yo miro esos electrones para que esos electrones se protonen hay que colocar un pH ácido

Entrevistadora: ya

Profesor: a lo más van a formar puentes de hidrógeno pero no van a formar un enlace covalente

Entrevistadora: ya, y eso ¿Por qué? Que tiene el oxígeno que lo hace tan difícil para formar

un enlace covalente

Profesor: no lo sé, de verdad no lo sabría

Entrevistadora: comparándolo con el nitrógeno de las aminas, por ejemplo

Profesor: eh eh churra habría que mirar un poco aspectos más bien (pausa) cuánticos, de la capacidad del oxígeno para protonarse pero en términos experimentales para protonar un oxígeno de un éter, como es este caso o de un alcohol como es en este caso, hay que agregarle ácido.

Entrevistadora: ya

Profesor: La fuerza del oxígeno para disociar el agua es bajísima, por lo tanto cuando tú tienes un éter o un alcohol en una solución acuosa y mides el pH, te da neutro. En cambio el nitrógeno, sobre todos los nitrógenos que no están formando amidas, eh tu los pones en una solución acuosa y este inmediatamente le saca el protón al agua

Entrevistadora: ya

Profesor: y mides el pH y va a dar pH y de hecho te da 8.6 o 8.7 y estos de aquí (señala amida) si los pones en una solución acuosa tampoco, no tienen la capacidad de sacarle un protón, no tienen la fuerza para sacarle un protón del agua, por lo tanto si quieres protonar esta especie de aquí (señala amida) tienes que meterle ácido

Entrevistadora: ya, perfecto

Profesor: aumentarle el pH de la disolución, de hecho por eso se considera las amidas... eh aquí me falta una letra, es las amidas no "as" amidas, no poseen propiedades ácido-base por eso se dice así de hecho que las amidas no poseen propiedades ácido-base (guarda archivo pregunta 6)

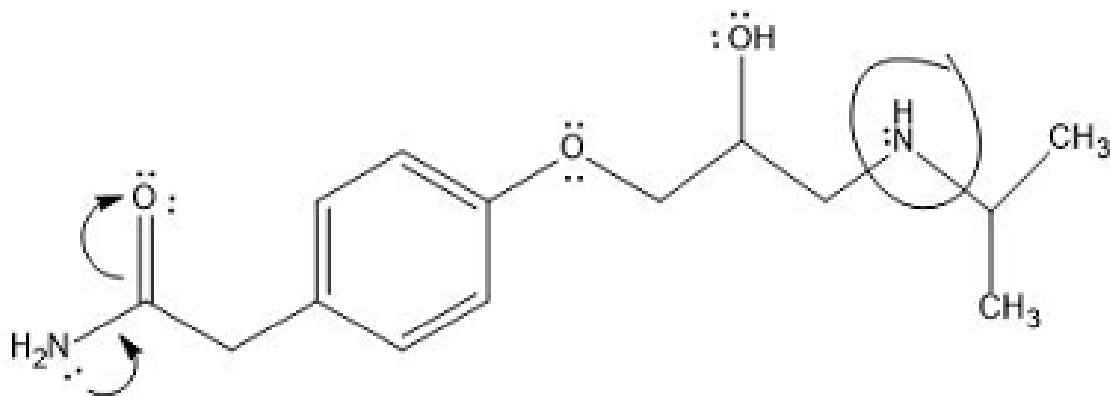
Profesor experto G

Entrevistadora: (guarda archivo pregunta 5) ya, perfecto vamos a guardar este archivo y vamos a pasar al 6

Profesor: que yo sé lo que es, es una amina con una amida y si no tienen que colocarla. Ahí está, listo, ya le respondí antes de que apareciera en el ChemDraw

Entrevistadora: Sorpresa! Aquí es el átomo más básico de la molécula

Profesor: ese (NH), se lo encierro si quiere. A donde está, no tengo laso, si tengo, ese (dibuja indicando NH)



Entrevistadora: ¿ Y por qué?

Profesor: espéreme , déjame terminar, ahí si. Ya, por lo mismo que les dije en delante, cuando tú tienes la comparación, por ejemplo, de un átomo con hibridación sp^3 , que son dos átomos que estamos comparando, el nitrógeno con estos dos oxígenos que están acá (oxígeno del alcohol secundario y del fenóxido), ¿Bien?

Entrevistadora: ya

Profesor: con el asunto de la electronegatividad, ya le demostré que los elementos menos electronegativos se comportan como mejor base, con eso le descarto el fenol, perdón le descarto alcohol secundario y le descarto el fenóxido, aparte que este oxígeno que está acá está estabilizado por resonancia hacia el anillo aromático. ¿Bien?

Entrevistadora: ya

Profesor: Entonces esto (NH amina) que está acá, es mucho más básico que estos dos que están acá (indica oxígeno del alcohol secundario y del fenóxido)

Entrevistadora: ya

Profesor: y la última comparación que hay que hacer es respecto a este nitrógeno (indica NH amina) versus a un nitrógeno de una amida (indica NH_2). Las amidas, recuerden que para que tenga un comportamiento básico tiene que estar disponible para poder protonarse ¿Bien? ese par de electrones de la amida está estabilizado por resonancia (dibuja flechas de los movimientos de los electrones) y cómo me dibuja el par de electrones para ese lado, voy a tener que cambiarle la flecha para que la vea bien, que eso que está ahí. Ahh no me pesca los controles, ya caché ya ¿Vale? entonces las amidas no tienen comportamiento básico ¿Bien?

Entrevistadora: ya

Profesor: entonces en comparación con las aminas, de hecho ehh no me acuerdo cuáles son los valores del pK_a pero rodean casi la neutralidad, no son básicos, ¿Por qué? porque ese par de electrones que tienen que estar disponible para alcanzar el protón está estabilizado por resonancia con el grupo carbonilo, entonces cuál es el

heteroátomo que se protona de esta molécula, es la amina secundaria (NH amina) que está formando parte de la molécula

Entrevistadora: ya, perfecto entonces descarta los otros grupos funcionales con oxígeno por electronegatividad

Profesor: usted me preguntó cuál es el más básico

Entrevistadora: sí

Profesor: porque el que puede ser comparado con ese, con que no tenga ningún efecto más que un efecto inductivo, es el oxígeno del alcohol de acá con la amina que está acá ¿Bien?

Entrevistadora: ya

Profesor: y como ya le comenté denante, la diferencia entre un alcohol y una amina... como el nitrógeno es menos electronegativo que un alcohol los más protonables son los nitrógenos

Entrevistadora: perfecto, voy a guardar el archivo y vamos a la última pregunta

Profesor: ahh ya, no me imagino cual es, un heterociclo

Profesor experto H

Entrevistadora : ya perfecto, voy a guardar este archivo, este es el número cinco, el número 6. Aquí ehh cambia un poco la pregunta ehh es: ¿Cuál es el átomo más básico de esta molécula? y que nos diga ¿Por qué?

Profesor: (pausa extensa) a ver ehh (pausa extensa) bueno ehh uno de estos dos nitrógenos tendría que ser. Acá si captura en este (nitrógeno amida) quedaría como NH₃⁺ pero podría hacer resonancia (indica grupo amida), acá capturaría y no podría hacer resonancia (indica grupo amino) ehh (pausa extensa) estoy pensando, estoy con la duda

Entrevistadora: sí, no se preocupe profesora

Profesor: (pausa) me inclino por este, me inclino por ese ehh

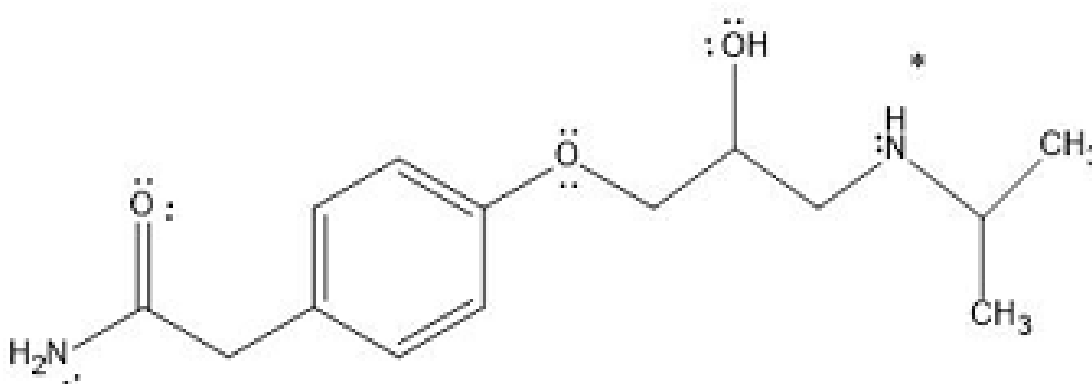
Entrevistadora : ¿Por cuál profesora? Que a nosotros no se nos ve en la pantalla

Profesor: ahh a ustedes no se le ve y yo encierro y encierro con el mouse, por ese le... (selecciona nitrógeno del grupo amida) por ese, ehh principalmente me inclino por él ehh si bien va capturar el protón... pero estoy un poco en la duda todavía con el nitrógeno de acá (grupo amino) ehh a ver si captura acá (NH₂ grupo amida) me quedaría como un NH₃ con carga positiva y no tiene para hacer resonancia y acá ... en cambio acá (NH grupo amino) me quedaría igual positivo y no tiene interferencia del entorno. Mira lo pienso de otra manera también, lo pienso, por ejemplo , que si bien uno de esos dos nitrógenos puede ser

Entrevistadora : ¿Por qué no el oxígeno profesora, alguno de los oxígenos?

Profesor: Generalmente ehh cuando yo veo la potencialidad entre el oxígeno y el nitrógeno me baso principalmente en la diferencia de electronegatividad y en eso caigo principalmente, en que el nitrógeno... y me inclino por los átomos de nitrógeno

como para carácter más básico (indica NH). Ahora pensando en impedimento estérico y es por ahí donde estoy con la duda, si bien los dos tienen la misma hibridación, los dos tienen hibridación sp^3 , los dos nitrógenos, el entorno es el que varía un poco. Acá está (indica NH_2) al lado de un grupo carbonilo que tiene alta densidad electrónica (indica al oxígeno) porque es un enlace doble, carbono doble enlace oxígeno, acá hay electronegatividad. Acá (indica NH) ehh está también rodeado de este grupo isopropil, que también otorga efecto o impedimento estérico, y un poco más haya separado de un grupo CH_2 tiene un grupo OH, por lo tanto me inclinaría a pensar que este (indica NH) podría ser un poco más básico para capturar el protón, dado que ambos tienen la misma hibridación, pero asumo que acá (indica NH) es menor el impedimento estérico, principalmente porque, el impedimento estérico si bien es una cadena ramificada pero con hibridación sp^3 , en cambio acá (indica NH_2) el impedimento estérico es más cercano, es un enlace más rígido, que este doble enlace (indica el grupo carbonilo), y ehh en el siguiente carbono separado por este CH_2 hay un anillo benceno que también le otorgaría mayor ehh impedimento estérico pensando que ehh este grupo, el nitrógeno (indica NH), debería acercarse ehh a otra molécula a quitar el protón ácido, por lo tanto me inclinaría que este (marca NH) puede ser más básico principalmente porque tiene menor impedimento estérico alrededor de él



Entrevistadora : ya perfecto profesora, volviendo un poquito atrás ehh no sé si me puede aclarar ehh el tema de cómo afecta la electronegatividad al comportamiento básico, por ejemplo ahí entre los dos átomos

Profesor: ¿En cuáles átomos?

Entrevistadora : entre... la diferencia entre el átomo de oxígeno y el nitrógeno, que usted me habló al comienzo del...

Profesor: ahh ya lo que pasa es que principalmente ehh si uno se va ya a la tabla periódica, al orden, uno puede más o menos predecir, aunque están más o menos cerca ellos y la electronegatividad no varía tanto, sin embargo los nitrógenos por la naturaleza y por la ubicación que tienen en la tabla periódica, está más asociado a

moléculas con un mayor carácter básico, y el oxígeno tiene mayor tendencia por su electronegatividad a captar protones, y por eso que se dice también que los protones que están en contacto con este oxígeno tiene mayor carácter ácido. Principalmente por esa a diferencia de electronegatividad que se van a ir generando entre ellos

Entrevistadora : Perfecto, ehh profesora me puede hablar un poquito más sobre ehh lo del impedimento estérico del grupo carbonilo, del ciclo que hay ahí ehh...

Profesor: lo que pasa es que generalmente cuando uno ve la molécula ,así por ejemplo en el plano uno lo está haciendo por ejemplo un mecanismo, fácilmente uno puede tirar la flecha, acomodar la molécula al ajuste del mecanismo ,por ejemplo, o de lo que quiero representar, pero por ejemplo ,pensando en la idealidad, ehhh uno debería pensar que estos carbonos que tienen hibridación sp^3 ehh tienen mayor libertad de movimiento, por lo tanto cuando yo comparé yo pensé que él es un carbono sp^3 , por lo tanto si bien ese grupo es voluminoso, ofrece un poco de impedimento para que la molécula ,por ejemplo, se acerque a otra a retirar el protón, ese va a ser un poco menos rígido con respecto a este de acá (nitrógeno amida) por qué, porque acá como hay más electrones involucrados también en el enlace doble, es más rígido ese enlace, lo que le dificulta por ejemplo una libertad de rotación, en cambio acá tengo (grupo amino) más libertad de rotación, tengo puros carbonos sp^3 alrededor de este nitrógeno, lo cual le va a permitir en algún momento acomodarse de mejor manera para acercarse a la molécula a la cual le quiere retirar el protón ácido, por ejemplo. En cambio acá presumo que esté grupo carbonilo va a otorgarle mayor impedimento para acercarse, porque es más rígido, por lo tanto va a tener que estar arrastrando esa cola, ya ahora también es válido que este está más en el extremo (grupo amida) y ese está más en el interior (grupo amino), pero me seguiría inclinando que esto le estaría otorgando un poquito más de impedimento para acercarse

Profesor experto I

Entrevistadora: ya, perfecto. Ya profesor, puede guardar el archivo por favor, y pasamos a la número 6 (pregunta 6 minuto 32:09). Esta pregunta es distinta ehh aquí nosotros le vamos a pedir que nos indique ¿cual es el átomo más básico de esta molécula? y que nos diga por qué

Profesor: (pausa extensa y audio poco inteligible) Estoy... mm ¿Cuál es el átomo más básico de esta molécula? Ese no (indica NH_2), ese no (indica oxígeno que está al lado del anillo aromático) se comporta como base, los alcoholes son ácidos también básicos (indica OH) no, no deja (audio poco inteligible, pensamiento en voz alta)

Entrevistadora: o márkelo con un número

Profesor: si, no si está bien

Entrevistadora: ya

Profesor: si al final ... estoy viendo

Entrevistadora: ya

Profesor: a ver cual es más básico (audio poco inteligible). Base , este no es base. Tenemos amida, aquí este no (indica NH₂) porque está comprometido en una resonancia, ese no. Podría ser ese (NH), o ese (OH) o ese (oxígeno que está al lado del anillo aromático), este se comporta como base porque puede atraer un par de electrones (oxígeno que está al lado del ciclo aromático). Este también (OH) puede comportarse como un alcohol y los alcoholes se comportan como base. Estoy analizando , denme tiempo

Entrevistadora: si no se preocupe

Profesor: (audio poco inteligible y pausa extensa para repasa átomos probablemente básicos de la molécula) Está difícil (risas), estoy mirando porque todos tienen comportamiento ácido y base. Ya esta es una base, esa es una base, esa es una base y esa es una base (indica NH₂, OH, NH y oxígeno que está al lado del anillo aromático) comportamiento básico... el menos básico sería este (NH₂) porque por resonancia este par de electrones puede estar comprometido, es una base más débil en el caso de las amidas

Entrevistadora: ya

Profesor: en el caso de los éteres también se comportan como bases, por lo tanto... por los dos pares de electrones ahh alcoholes tienen comportamiento ácido-base pero aquí estaría comportándose como ácido, porque podría liberar su protón, pero también se pueden comportar como base porque pueden llevar un protón y se produce la deshidratación y aquí se puede protonar este (indica NH) y también podría quedar como un NH⁺. Ya ahora cual de estos tres es el más básico

Entrevistadora: claro, esa es la pregunta

Profesor: bueno yo estoy diciendo esos tres, porque este lo deje afuera por la resonancia (indica NH₂)

Entrevistadora: ya

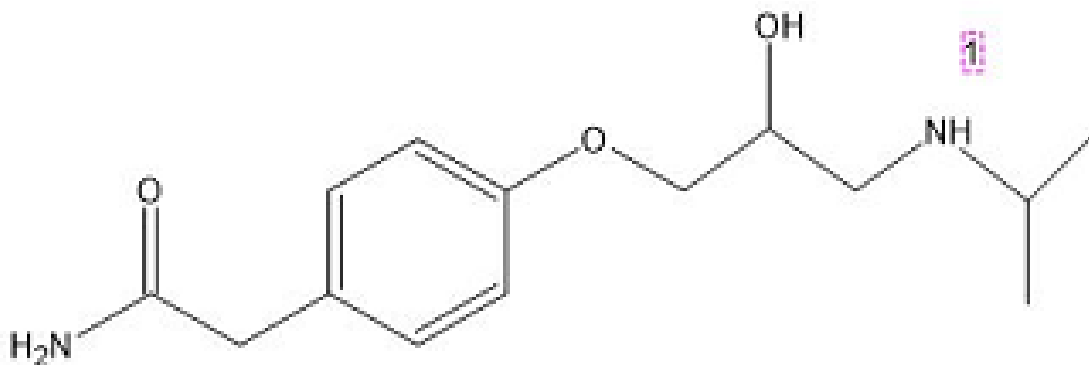
Profesor: implicada por el grupo... por la amida que son bases más débiles que las aminas

Entrevistadora: ya

Profesor: (pausa extensa) Dejaría esta amina

Entrevistadora: ya

Profesor: esa la dejaría como el uno



Entrevistadora: ya ¿Por qué profesor?

Profesor: porque tiende a... ehh bueno en el caso de los alcoholes son ácidos o bases débiles

Entrevistadora: ya

Profesor: de hecho más ácidos, ácidos débiles pKa de 16. Los éteres se pueden comportar como bases y pueden atraer electrones, perdón, pueden compartir un par de electrones pero son bases débiles y en el caso de este (NH), las aminas de por sí son bases, entonces aquí ella se comporta como base más fuerte que todos los otros

Entrevistadora: ya, o sea básicamente lo que hizo ahí fue ehh descartar la amida por su resonancia y el éter y el OH porque son bases débiles, me dijo usted

Profesor: si

Entrevistadora: y la amina sería una base más fuerte

Profesor: más fuerte que los otros

Entrevistadora: ya ehh ¿Cómo... por qué se atribuye ehh la fuerza de cada uno de esas bases? ¿Por qué el éter y el OH es más débil que la amina?

Profesor: los alcoholes son ácidos débiles por lo tanto tienden a comportarse más como ácido que como base

Entrevistadora: ya

Profesor: igual se comportan como base porque pueden recibir un protón y después se liberan como agua pero es mas debil, mas inestable

Entrevistadora: ya

Profesor: en el caso del éter el hecho de estar unido a dos carbonos lo hace que sea más débil igual a formar un enlace, más inestable

Entrevistadora: ya

Profesor: no así la disponibilidad de los par de electrones de la... del nitrógeno en este caso de la amina secundaria

Entrevistadora: ya, perfecto. Profesor usted me habló ahí en el OH de estabilidad ¿Cómo afecta la estabilidad a la basicidad de ese átomo, del oxígeno?

Profesor: mientras más estable menos básico

Entrevistadora: ya

Profesor: y tiende a no formar enlace

Entrevistadora: ya, perfecto

Profesor: porque él tendría más a liberar un protón que a recibir otro protón (indica OH)

Entrevistadora: ya. Ya y en el éter me habló de los carbonos con lo que formaba enlace, ¿como...?

Profesor: por impedimento estérico

Entrevistadora: a ya, por impedimento estérico

Profesor: si por impedimento estérico

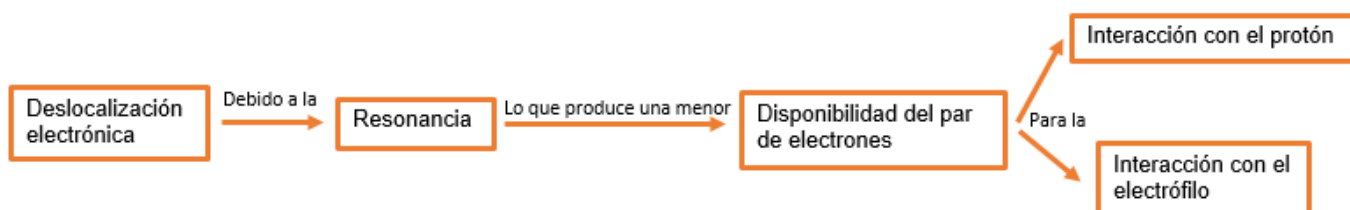
Anexo 3 “Ejemplo de Elaboración Representación Visual”

Luego del resumen del discurso descriptivo de cada profesor experto se elaboró la representación visual, para así poder registrar con mayor facilidad la relación y secuenciación de los conceptos sobre teoría química de la Categoría 1. Para lo anterior, se destacaron los conceptos utilizados sobre teoría química en el Resumen Descriptivo del Discurso de cada profesor experto y luego se realizó la representación visual.

Para una mayor comprensión de cómo se construyeron las representaciones visuales, a continuación, se presenta un ejemplo de los profesores expertos F y G de la pregunta 2:

Profesor experto F

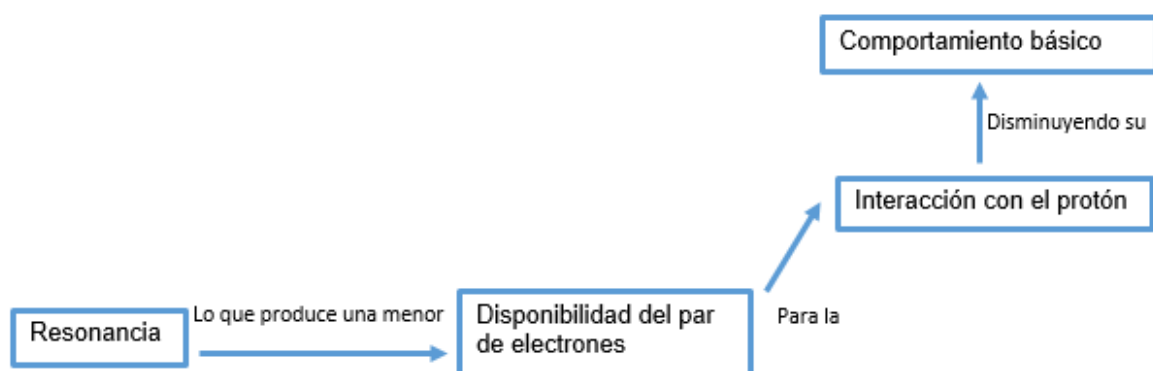
Inicialmente identifica que ambas moléculas son básicas, siendo más básica la ciclohexilamina y la menos básica la anilina. Señala que los electrones de la anilina están deslocalizados porque forman parte de las estructuras resonantes del anillo aromático, lo que produce que el par de electrones esté menos disponible para interactuar con un protón o alguna especie electrofílica. Mientras que en el caso de la ciclohexilamina no hay deslocalización de los electrones dentro de ningún sistema conjugado, por lo que están completamente localizados y disponibles para interactuar con un protón o cualquier tipo de electrófilo.



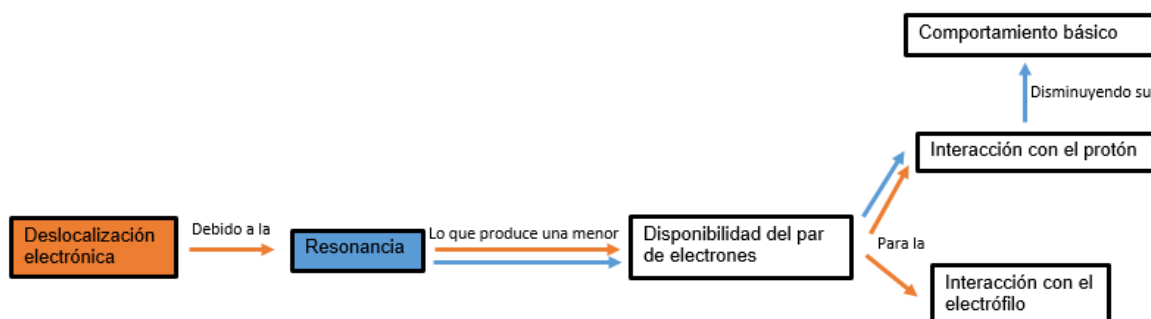
Profesor experto G

Inicialmente identifica que ambas moléculas son básicas y que el comportamiento básico va a ser atribuido por los pares de electrones que están sobre el nitrógeno, que se protona comportándose como una base. Comienza comparando ambas

moléculas realizando un orden de mayor a menor basicidad donde primero están las aminas alifáticas, luego el amoníaco y finalmente las aminas con anillos aromáticos como la anilina. Identifica la estructura de la ciclohexilamina como una amina alifática de R común y corriente. Luego dibuja la reacción de protonación de las aminas indicando la base y el ácido conjugado. A su vez define la teoría de Lewis como la capacidad de una molécula de donar electrones, y define la teoría de Bronsted-Lowry como la capacidad de captar un protón generando un catión. Prosigue con la comparación entre ambas moléculas mencionando que hay una clasificación que dice que las aminas alifáticas (ciclohexilamina) de R común y corriente, poseen su par de electrones disponibles para poder captar un protón y por eso es la más básica de las dos. Mientras que los electrones del nitrógeno de la anilina están en conjugación con el sistema aromático o sistema pi conjugado, obteniéndose varias estructuras resonantes, haciendo a los electrones menos disponibles para ser protonados, por lo tanto su basicidad es menor en comparación con las aminas alifáticas.



Una vez construida la secuenciación de los conceptos de cada académico se elaboró una representación visual única por pregunta, fusionando los conceptos que eran idénticos. A continuación la representación visual producto de la fusión de las secuenciaciones de los conceptos del profesor experto F (naranja) y G experto (celeste).



Anexo 4 “¿Cómo leer las representaciones visuales?”

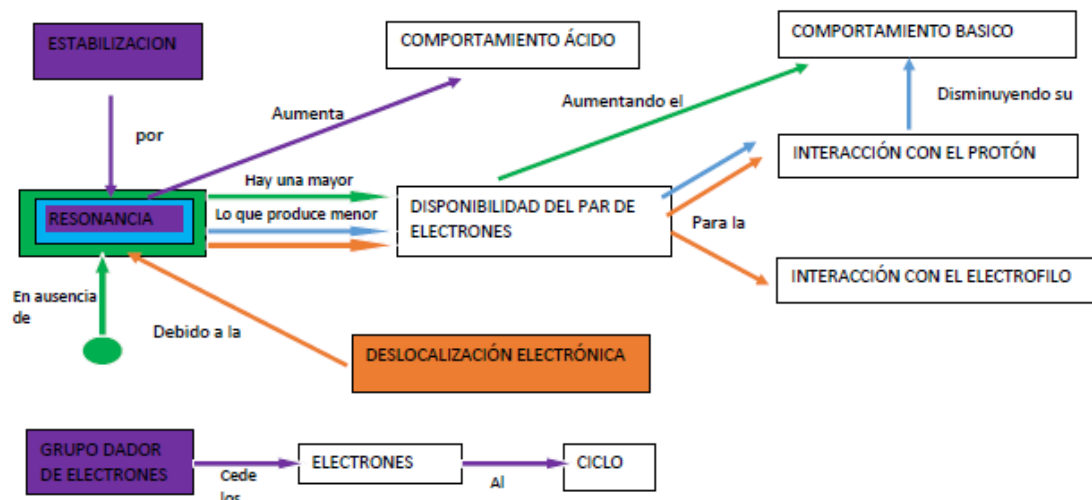
Para facilitar la comprensión del lector en las representaciones visuales se presentaron las siguientes indicaciones, que también pueden ser utilizadas para el resto de las preguntas:

1. Las representaciones visuales son por pregunta, donde a veces un concepto es utilizado por más de un profesor, sin embargo en la pregunta 5 para una mayor comprensión se elaboraron representaciones visuales para cada profesor experto.
2. Cada profesor experto posee un color distinto
3. El punto de partida de una ruta puede estar dado por un círculo o por una casilla teñida del color correspondiente al profesor experto.
4. Como pueden haber distintas rutas dentro del discurso de un profesor experto y algunos conceptos coinciden, estas se diferenciaron a través del tipo de flecha.

Para poder entender las Representaciones Visuales desarrollaremos un ejemplo donde se describe la secuenciación de los conceptos utilizados en la justificaciones de cada uno de los profesores expertos de la pregunta 2, designados por los siguientes colores:

- Profesor experto F: naranja
- Profesor experto G: celeste
- Profesor experto H: morado

- Profesor experto I: verde



El profesor experto F comienza su discurso mencionando que hay una deslocalización electrónica debido a la resonancia que hay en la molécula, lo que produce una menor disponibilidad del par de electrones para poder interactuar con un protón o alguna especie electrofílica.

El profesor experto G inicia su discurso diciendo que la resonancia produce una menor deslocalización del par de electrones para poder interactuar con un protón lo que causa una disminución del comportamiento básico de la molécula.

En el caso del profesor experto H podemos ver que su discurso consta de 2 partes, la primera menciona que la estabilización por resonancia aumenta el comportamiento ácido y en la segunda señala que el grupo dador de electrones cede los electrones al ciclo.

Y por último el profesor experto I indica que en ausencia de resonancia hay una mayor disponibilidad del par de electrones y con esto aumenta el comportamiento básico de la molécula.