



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**El razonamiento mecanístico sobre el equilibrio químico  
de los estudiantes de Química General II**

**ALUMNA**

**Ortega Sánchez Dafne Berenice**

**ASESORA**

**Dra. Kira Padilla Martínez**



**CDMX., 2021**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## Índice de contenidos

Índice de contenidos	2
Índice de Figuras	4
Índice de tablas	5
Introducción	6
Marco Teórico	8
Equilibrio Químico	8
La justificación como herramienta de aprendizaje.	10
Razonamiento causal.	12
Razonamiento mecanístico.	14
Razonamiento Mecanístico en Química	16
Objetivos	19
Objetivos particulares.	19
Pregunta de investigación.	20
Metodología	20
Resultados y Análisis de Resultados.	26
Equilibrio I. Amoniacó	26
a) Expresa la constante de reacción e indica hacia dónde está desplazado el equilibrio.	26
b) Se aumenta la presión.	28
c) Se disminuye la temperatura.	33
d) Se aumenta el volumen.	38
e) Se añade un x de amoniacó.	42
f) Se retira un x de nitrógeno.	47
Equilibrio II. Cloruro de plata (I).	52
a) Expresa la constante de reacción e indica hacia dónde está desplazado el equilibrio.	52
b) Se añade un x de $\text{Ag}^+(\text{ac})$ .	53
c) Se retira un x de $\text{Cl}^-(\text{ac})$	58
d) Se retira un x de $\text{AgCl}(\text{s})$	62
Equilibrio III. Hidróxido de Cobre (II).	67
a) Expresa la constante de reacción e indica hacia dónde está desplazado el equilibrio.	67
b) Se añade un x de $\text{Cu}^{2+}(\text{ac})$	68

c) Se retira un x de $\text{OH}^-$ (ac).	73
d) Se retira un x de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (s)	77
e) Se retira un x de $\text{H}^+$ (ac)	80
Conclusiones.	84
Bibliografía.	89

## Índice de Figuras

Ilustración 1. Diagrama de relación causa-efecto.	14
Ilustración 2. Formato de tabla de porcentajes.	26
Gráfica 1. Porcentaje de uso de los modelos.	32
Gráfica 2. Porcentaje de uso de los modelos.	37
Gráfica 3. Porcentaje de uso de los modelos.	41
Gráfica 4. Porcentaje de uso de los modelos.	46
Gráfica 5. Porcentaje de uso de los modelos.	50
Gráfica 6. Porcentaje de uso de los modelos.	57
Gráfica 7. Porcentaje de uso de los modelos.	61
Gráfica 8. Porcentaje de uso de los modelos.	65
Gráfica 9. Porcentaje de uso de los modelos.	71
Gráfica 10. Porcentaje de uso de los modelos.	75
Gráfica 11. Porcentaje de uso de los modelos.	79
Gráfica 12. Porcentaje de uso de los modelos.	82

## Índice de tablas

Tabla 1. Número de alumnos por grupo. _____	22
Tabla 2. Descripción de las características del RM. _____	23
Tabla 3. Rúbrica de evaluación con descripción en cada nivel _____	25
Tabla 4. Porcentaje de expresión de la constante de equilibrio. _____	26
Tabla 5. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel. _____	28
Tabla 6. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel. _____	34
Tabla 7. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel. _____	38
Tabla 8. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel. _____	43
Tabla 9. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel. _____	48
Tabla 10. Porcentaje de expresión de la constante de equilibrio. _____	52
Tabla 11. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel. _____	54
Tabla 12. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel. _____	58
Tabla 13. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel. _____	62
Tabla 14. Porcentaje de expresión de la constante de equilibrio. _____	67
Tabla 15. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel. _____	68
Tabla 16. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel. _____	73
Tabla 17. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel. _____	77
Tabla 18. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel. _____	80

## Introducción

Muchos de los temas que se enseñan en química presentan un gran reto de comprensión para los estudiantes; entre ellos se encuentra el equilibrio químico. Algunos autores comentan que, cuando se inicia el estudio del tema equilibrio químico (EQ) generalmente los estudiantes no presentan concepciones alternativas sobre el tópico; sin embargo, durante el transcurso del proceso de enseñanza-aprendizaje se ha observado que aparecen una serie de dificultades de aprendizaje y de errores de comprensión que guardan relación con los siguientes aspectos (Pozo, 1982): Incorrecta interpretación de la doble flecha, errores relacionados con el carácter dinámico del equilibrio, compartimentación del equilibrio, uso de modelos de perturbación, etc.

Para Hernando (2003), otro aspecto importante que se debe considerar es que los docentes se enfocan en las operaciones como una forma de evaluar la comprensión de los estudiantes, lo que conlleva a que éstos no razonen en términos lógicos. De tal forma que, cuando se introduce el Principio de Le Chatelier, los alumnos hacen uso del razonamiento de sentido común cuando se les proponen cuestiones cualitativas sobre perturbación del equilibrio, dejando de lado el análisis científico que puede tener la perturbación del equilibrio.

Cuando un científico construye una justificación causal acerca de un fenómeno, ésta es encaminada hacia un entendimiento del sistema en múltiples partes, donde las interacciones pueden ocurrir en subsistemas. Por otro lado, cuando un estudiante construye una justificación causal acerca de un fenómeno a macroescala, puede ignorar procesos más pequeños a favor de aquellas partes que pueden observar directamente (Anderson, 2018).

Las justificaciones mecánicas son caracterizadas por el detalle de descripción de los procesos involucrados detrás del sistema de interés (Grotzer, 2003). Dentro de este tipo de explicaciones/justificaciones es posible encontrar un tipo de razonamiento, el cual está sumamente relacionado con la forma en la que se construye la explicación: **el razonamiento mecánico**.

Russ (2008) menciona que no existe una definición total de razonamiento mecanístico, sin embargo, la atribución de diferentes autores permite desarrollar las características que tiene, así como la manera de identificarlo. Pero propone algunas características para identificarlas: Descripción del fenómeno estudiado (DFE), Identificación de las condiciones (IC), Entidades involucradas (EI), Actividades (A), Propiedades de las entidades (PI), Organización de las entidades (OI), correlación de conceptos (RC), Analogías (AG) y Modelos representados (MR).

Estas características se pueden identificar dentro de una justificación en un tema en concreto. Para este trabajo de tesis, se realizarán preguntas abiertas enfocadas en el tema de equilibrio químico donde se pedirá una justificación de cada respuesta, esto para identificar las partes del razonamiento mecanístico y reconocer el nivel de razonamiento de los alumnos respecto a éste tema. Existen estudios previos en temas distintos, por lo que será de manera parecida a los estudios realizados por Russ (2008) y Marzabal (2018).



## **Marco Teórico**

Dentro de la enseñanza de las ciencias se busca que el alumno pueda utilizar los conceptos y conocimientos adquiridos en la resolución de problemas. Esto, en principio, permite que se lleve a cabo un razonamiento y de la mano de éste un aprendizaje.

Para Colvin (2019) el uso de argumentos y justificaciones dentro de la comunidad científica permite la construcción de aprendizaje. Por lo tanto, es sumamente importante la implementación de las justificaciones como herramienta para un aprendizaje. Por lo que, sin importar el tópico científico, se busca que el estudiante pueda decir cómo y porqué suceden las cosas, utilizando como medio una justificación. Siendo esta justificación un argumento integral de todos los conocimientos que tenga el estudiante.

Por otro lado, la necesidad de una justificación dentro del desarrollo de un tema se vuelve fundamental para apreciar el nivel de entendimiento y aprendizaje. Sin embargo, muchos docentes dejan de lado la justificación en muchos de los temas. Ejemplo de ello es el equilibrio químico, donde pocas veces se pide a los estudiantes una justificación para la predicción de cómo se comportará el sistema.

### **Equilibrio Químico**

Uno de los retos más grandes en la educación es cómo resolver el problema de aprendizaje generado por las concepciones alternativas y el aprendizaje de un tema en su totalidad. El aprendizaje del equilibrio químico (EQ) requiere el conocimiento previo de un gran número de conceptos relacionados con él. Ello unido a la naturaleza abstracta del mismo, hace que sea uno de los tópicos más difíciles de enseñar. (Finley et al. 1982)

En la actualidad el aprendizaje de éste concepto es de gran importancia para el ámbito científico. Siendo uno de los tópicos de enseñanza a nivel medio superior y superior. De acuerdo con Pozo, et al. (1982), al iniciar el estudio de este tema, los alumnos no presentan ideas definidas sobre el equilibrio químico; sin embargo, se observa que, durante el proceso de enseñanza aparecen una serie de

concepciones alternativas, sobre conceptos previos, que se repiten frecuentemente y que son difíciles de modificar; por lo que los estudiantes generan concepciones alternativas de las que hacen uso al aplicar su conocimiento en la resolución de problemas. La aparición de estas concepciones alternativas hacen más difícil el desarrollo conceptual del alumno, lo que influye de manera negativa en conocimientos posteriores. Esta influencia también afecta la capacidad de sustento científico, dejando a los alumnos como única opción la memorización de los conceptos sin un análisis y razonamiento debajo de ellos. El deficiente sustento científico dado por un alumno, muestra los huecos conceptuales que tiene. Es aquí donde se puede comenzar a obstaculizar el aprendizaje. Quílez & Solaz (1995) y Quílez & Sanjosé (1995) indican que el aprendizaje del EQ requiere del conocimiento previo de un gran número de conceptos base, y la mala comprensión de éstos genera concepciones alternativas importantes en conceptos específicos. Algunas de ellas están relacionadas con las siguientes partes:

- I. Incorrecta interpretación de la doble flecha (reversibilidad).
- II. Concepción del término “equilibrio”.
- III. Concepto de cantidad de sustancia<sup>1</sup> y cálculos de concentración.
- IV. Confusiones debidas a la estequiometría.
- V. Compartimentación del equilibrio.
- VI. Errores en el estudio de equilibrios heterogéneos: dificultades masa-concentración.
- VII. Dificultades con la constante de equilibrio.
- VIII. Errores acerca del efecto de los catalizadores sobre el equilibrio.
- IX. Errores en la predicción de la evolución de un sistema en equilibrio por una perturbación en el sistema.

Muchas de estas dificultades surgen por una mala comprensión en los conceptos básicos de química (cantidad de sustancia y estequiometría) y la deficiente

---

<sup>1</sup> El autor hace uso del término mol, pero ya se ha estudiado es la “cantidad de sustancia” lo que se debe enseñar y comprender.

resolución de problemas. Dentro de las dificultades mencionadas, las más persistentes y difíciles de cambiar son:

- I. El principio de LeChatelier como principio infalible y sin limitaciones, en la predicción de la evolución de un sistema en equilibrio frente a una perturbación.
- II. Dificultad de relacionar los principios del equilibrio químico a nuevas situaciones.

Se puede observar que existe una relación de las dificultades del tema con los conceptos previos. Quílez & Solaz (1995) proponen que para evitar la generación de estas concepciones alternativas, las preguntas y problemas a resolver por un estudiante deben tener un enfoque de análisis y razonamiento. Usando como principio los conceptos que se tienen para justificar la resolución del problema. Esta va a permitir visualizar el nivel de comprensión del tema y las concepciones alternativas que tienen respecto al EQ, ya que el estudiante tendrá que involucrar conceptos específicos relacionados con el tema.

### **La justificación como herramienta de aprendizaje.**

La habilidad de construir justificaciones científicas acerca de las propiedades y comportamiento de un fenómeno natural es considerado un aspecto central en la enseñanza de la ciencia. Al construir justificaciones se espera que ayude al estudiante a encontrar el sentido de los fenómenos naturales, expresar su entendimiento y generar argumentos más persuasivos. (Talanquer, 2010) Durante éste proceso, el estudiante puede hacer un análisis introspectivo de sus conocimientos, así como de su aprendizaje del tema. Dándole herramientas para reforzar aquellos temas que no domina y utilizar los que sí para sustentar los mismos.

Lo llamativo de la construcción de una justificación es que el estudiante pueda crear oportunidades para organizar sus ideas y construir relaciones entre el fenómeno y otros conceptos que dan sentido al sistema. Las conexiones o relaciones específicas que establece el estudiante entre los conceptos y las ideas son indicativo de un nivel de sofisticación de razonamiento. (Marzabal, 2019) Esto

quiere decir, mientras sea mayor el número de conceptos e ideas correlacionados dentro de la justificación, el nivel de razonamiento será mucho mayor. Lo que, en principio, permitiría evaluar si el estudiante tiene la capacidad de relacionarlos con el sistema, dándoles una importancia dentro del fenómeno y a su vez apreciar la capacidad de aplicación de éstos.

Una justificación envuelve el uso de conocimiento científico para razonar acerca de un fenómeno. Por otro lado, es utilizado para sustentar conclusiones con una reclamación y evidencia. Las partes esenciales de una justificación son: a) reclamo, es la conclusión o aquello que va a sustentar la justificación, b) evidencia, los principios o conceptos científicos que se utilizan y c) **razonamiento**, la parte del argumento que conecta el reclamo con la evidencia (Colvin, 2019). El uso de este conocimiento como parte del sustento de una justificación, muestra que el alumno comprende conceptualmente y logra hacer conexiones entre conceptos que muchas veces se muestran aislados; lo que habla de un nivel de razonamiento mayor, que puede aplicar en la resolución de problemas en ámbitos diferentes al colegial. Éstos problemas deben requerir tanto de una justificación como de un desarrollo analítico para su resolución.

Dentro de todo, el rol de una justificación que permita el aprendizaje de ciencias es potencialmente importante, ya que su finalidad es explicar, además de entender cómo y porqué suceden las cosas, siendo uno de los objetivos más relevantes en la ciencia. (Chin, 2000) Es importante resaltar que de manera central las justificaciones están presentes en muchos ámbitos de la ciencia. Estas presentan un sustento y dan paso al entendimiento tanto de fenómenos sencillos como de fenómenos muy complejos. El sustento da una base estructural para el aprendizaje de nuevos conceptos, que posteriormente pueden ser utilizados.

Existen muchos tipos de justificaciones que se emplean en ciencias para comunicar las ideas, una de ella es la mecánica donde se utilizan patrones para elucidar el mecanismo a seguir que ocurrirá en el sistema. Éste tipo de justificación tienen un nivel alto de explicación, ya que demuestra un entendimiento profundo de cómo y porqué suceden fenómenos científicos (Anderson, 2018). Por lo tanto,

esta justificación asegurará una comprensión amplia del tema, y permite reconocer el nivel de razonamiento del mismo será profundo. Siendo así que podemos encontrar partes claves que pueden mostrar la existencia de un razonamiento. Cada razonamiento tendrá características particulares para identificarlos.

Las justificaciones mecanísticas tienen características que permiten distinguirlas de otras. Algunas de ellas son: descripción detallada, análisis espaciotemporal del fenómeno y la organización que tienen los componentes dentro del fenómeno (Marzabal, 2018), siendo así, partes importantes en cada justificación analizada. Para las justificaciones, el nivel de sofisticación o complejidad es caracterizado bajo un análisis de modelo causal que se desarrolla a lo largo de diferentes dimensiones, como: el tipo de temática, la interacción de patrones, el nivel de certeza en las conexiones causales y el mecanismo al que se avocan (Grotzer, 2003; Perkins & Grotzer, 2005, citado por Marzabal, 2018). Al conjuntar ambas características importantes dentro de ese tipo de justificaciones podemos llegar a decir que existirá un razonamiento (Colvin, 2019) que relacione ambas partes entre sí, por lo que el tipo de razonamiento que tendrá la función de unir las será el: **mecanístico**.

### **Razonamiento causal.**

Para Ionas (2008), el razonamiento causal es uno de los procesos cognitivos más importantes y básicos en el aprendizaje de nuevos conceptos, además de la resolución de problemas. Éste se basa en proposiciones causales, donde proveen un fundamento más complejo para el razonamiento y desarrollo conceptual en diferentes tópicos. El sustento que permite dar el razonamiento causal, tanto a la resolución de problemas como en la descripción del fenómeno, es de gran peso ya que hay una base lógica entre la relación causa-efecto.

El razonamiento causal tiene características identificables que lo hacen distinto de otros razonamientos, las cuales también le otorgan un sustento a la justificación que se pueda dar. Ionas (2008) enlista dichas características:

- I. Predicción: razonamiento basado en la descripción de una o varias condiciones que dan paso a un posible efecto.
- II. Implicaciones: condiciones necesarias para que se lleve a cabo el fenómeno causa-efecto.
- III. Inferencia: permite obtener un posible efecto cuando se tiene una relación causal desconocida.
- IV. Explicación: capacidad de desarrollar la descripción del fenómeno.

Es de suma importancia decir que la explicación de cualquier entidad requiere un conocimiento profundo, no solamente el conocimiento básico de ésta. Al mismo tiempo, la explicación de un fenómeno no puede darse sin las habilidades de *predicción, implicación e inferencia*.

Existe una relación muy estrecha entre el razonamiento causal y la justificación. Wesley (1978) indica que tanto una justificación científica como el modelo de razonamiento causal tienen dos componentes base:

i) El primero hace inferencia a la localización e identificación de la causa. Es decir, cuando se va a proponer el porqué del fenómeno primero se busca la causa de éste para comenzar a realizar conexiones entre los efectos y los acontecimientos previos a éstos. Estas conexiones se van mostrando conforme avanza la investigación hacia causa, esto es porque se busca el sustento científico, tomando en cuenta la lógica, de la relación entre ambas partes. Siendo éste sustento el segundo componente.

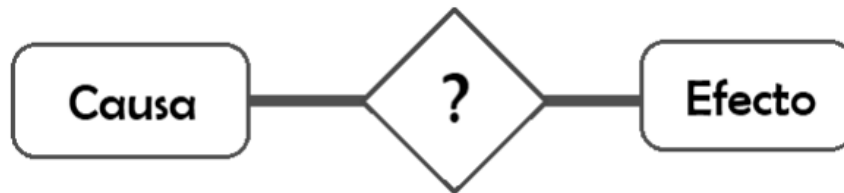
ii) El segundo componente es relevante ya que permite definir el nivel de profundidad que éste sustento pueda dar, dependiendo del fenómeno y la explicación de éste. Todo esto siguiendo una lógica de conexión entre los efectos y la causa, permitiendo que la justificación científica de cómo y porqué tengan una validez.

Es importante mencionar que el razonamiento causal es la base de muchos otros razonamientos, debido a la capacidad de relación y sustento que proporciona. El razonamiento mecanístico utiliza como base el razonamiento causal ya que ambos

establecen una relación entre causa y efecto, sin embargo, el razonamiento mecanístico propicia una relación entre conceptos externos. La relación entre estos conceptos y los centrales permite dar un sustento más amplio, completo y profundo, asegurando así el aprendizaje. Esto no significa que el distinguir entre el razonamiento mecanístico y otro tipo de razonamiento causal no sea un reto, ya que comparten muchas características, pero presentan enfoques distintos.

### **Razonamiento mecanístico.**

Russ (2008) menciona que no existe una definición total de razonamiento mecanístico, sin embargo, la atribución de diferentes autores permite desarrollar las características que tiene, así como la manera de identificarlo. Por otro lado, Howkin (2010) menciona que el razonamiento mecanístico es el hecho de ver la parte de en medio entre causa y efecto.



*Ilustración 1. Diagrama de relación causa-efecto.*

El problema con la definición de Howkin es que este tipo de razonamiento se compone a su vez de pequeñas partes que no muchas veces interfieren (p. 435). Es decir que, a pesar de tener pequeños pasos lógicos, no todos tienen una relevancia dentro del fenómeno estudiado. Por eso con la contribución de varios autores es posible definir características en concreto.

Según Russ (2008) para identificar este tipo de razonamiento en una explicación, se debe de tener las siguientes características:

- I.Descripción del fenómeno estudiado (DFE): cuando un alumno manifiesta o demuestran de manera clara el fenómeno particular.
- II.Identificación de las condiciones (IC): cuando un alumno identifica condiciones particulares en las cuales existe el fenómeno.

- III. Entidades involucradas (EI): reconocimiento de las características que definen al fenómeno.
- IV. Actividades de los componentes (AE): un estudiante que relaciona las acciones que llevan a cabo las entidades.
- V. Propiedades de los componentes (PE): identificar y distinguir las propiedades de las entidades que permitan el fenómeno científico.
- VI. Organización de las entidades (OE): capacidad de describir el acomodo de las entidades que causan el fenómeno.
- VII. Correlación de conceptos (RC): capacidad de relacionar los conceptos, tanto antes como después del fenómeno.
- VIII. Analogías (AG): es una clave que los estudiantes utilizan para comprar el fenómeno con otra situación.
- IX. Modelos representados (MR): la representación gráfica del fenómeno.

Es importante mencionar que no todas las características se pueden ver reflejadas dentro de las justificaciones; éstas pueden ser adaptadas o eliminadas según el análisis y la temática. Es decir, si el tema no requiere de analogías para su justificación, este apartado no se considera. De la misma manera, muchos de ellos pueden ser visualizados en representaciones gráficas (OE) tales como dibujos, gráficos y bocetos del fenómeno, por lo que si un tema en específico es difícil realizar en un dibujo éste tópico no podrá verse de manera completa o se observará de manera parcial.

Es importante mencionar que dentro de la literatura sobre las justificaciones mecánicas, Glennan (2002) hace un especial énfasis en que el alumno pueda reconocer todas las entidades que se involucran. Esto con la finalidad de que al momento de dar una justificación sea capaz de relacionar las entidades con el fenómeno, así como su relevancia dentro del mismo. Aquí es donde se hace una diferencia entre el razonamiento causal y el mecánico, ya que el causal solamente relacionará la causa-efecto del fenómeno sin una identificación de las entidades que lo componen, así como sus relevancias y características del



sistema en conjunto; logrando que el aprendizaje y entendimiento del fenómeno sea mayor para el alumno.

Para un entendimiento más profundo de como los estudiantes conectan ideas y construyen explicaciones en las áreas centrales de la química, es necesario idear estrategias que mejoren el sostén de las explicaciones de los alumnos, así como sus habilidades argumentativas (Talanquer, 2016). Las estrategias deben tener un enfoque en el desarrollo de esas habilidades específicas. De la misma manera una buena opción es desarrollar problemas con necesidades argumentativas, esto es, el alumno lejos de realizar operaciones matemáticas deberá plantear y desarrollar una estrategia de resolución. Donde él mismo indique el porqué y cómo de cada decisión, permitiendo ver el nivel de comprensión y aplicación de los conceptos del tópico en específico.

### **Razonamiento Mecanístico en Química**

El desarrollo de múltiples estudios basados en el razonamiento mecanístico en química permite observar la amplia gama de temas que pueden ser analizados. En los más relevantes se encuentran:

Bhattacharyya et al. (2013), su estudio se enfoca en la investigación de la existencia del razonamiento mecanístico en el movimiento de electrones en un mecanismo de reacción. Éste estudio se enfoca en 44 profesores de química orgánica. Consiste en tres fases de estudio. En la primera fase se les realizaron tres preguntas desarrollando su conocimiento acerca del RM. Estas preguntas van desde cuál es la definición de RM en el movimiento de electrones, qué problemas o ejercicios permiten el uso del RM para su resolución y qué conceptos se deben desarrollar para interpretar el movimiento de electrones.

En la segunda fase se les pide que expliquen la relación entre el RM con el movimiento de electrones y cómo es que se conjuntan. En esta fase se puede observar que los profesores hacen una gran énfasis en la predicción de las reacciones y en el planteamiento de hipótesis.

En la tercera fase se hace una revisión de conceptos base para el tópico de movimiento de electrones. Éste estudio permite ver un panorama amplio del RM desde la perspectiva de los profesores, donde el enfoque orgánico muestra la importancia de predicción de productos y planteamiento de hipótesis en los mecanismos de reacción.

En el estudio realizado por Robertson et al. (2015), se presenta un enfoque del RM de los profesores con base en una premisa “las colisiones de partículas generan calor”. Aquí se les muestra una simulación de un gas que se comprime y genera un cambio de temperatura. Se les pide a los profesores que expliquen el fenómeno que se les mostró. Durante el desarrollo de la explicación, se lleva a cabo una serie de intercambio de ideas entre profesores, es decir la discusión contribuye múltiples ideas donde es apreciable la presencia del RM. Los profesores proponen una serie de ideas donde sustentan el hecho de que las colisiones entre las partículas del gas generan el aumento de la temperatura, por otro lado también proponen ideas para explicar porqué la temperatura se estabiliza. Estas ideas son analizadas y se reportan muchas de las características existentes del RM, tales como *componentes* y *actividades de los componentes*.

En otro estudio realizado por Langbeheim et al. (2015), se analiza la predicción del movimiento de partículas dependiendo del estado de agregación. Comienza por mostrar una imagen de un material en estado sólido donde una de las partículas tiene un color distinto. Se les pide a los estudiantes indiquen dónde se encontrará la partícula coloreada si el material cambiara de estado de agregación a líquido y posteriormente regresara a ser sólido. Es importante resaltar que los alumnos predicen si habrá un desplazamiento o no y lo sustentan con base en lo que saben, encontrando que el RM permite que cada estudiante indique dónde y porqué tiene esa ubicación dicha partícula.

Talanquer et al. (2016) presenta como los estudiantes relacionan los conceptos para justificar y predecir el producto en una reacción. Durante el desarrollo del estudio se les presentan a los estudiantes preguntas de opción múltiple, donde ellos tienen que elegir una y sustentar porqué esa sería la respuesta correcta.

Éste estudio muestra no sólo la existencia del RM, sino también la existencia de otros razonamientos los cuales aparecen dependiendo del estilo de pregunta, ya que alguno será más funcional que otro.

Cooper et al. (2016), analiza la capacidad de los alumnos para explicar cómo suceden las reacciones ácido-base. Ya que según ellos en los modelos ácido-base es apreciable el RM para plantear y predecir el cómo se llevan a cabo éstas. En éste estudio encuentran que los alumnos son capaces de relacionar el modelo de Lewis con el mecanismo de reacción, teniendo una explicación mecanística acerca de cómo suceden.

Becker et al. (2016), por otro lado se enfoca en la explicación de los estudiantes sobre cómo interactúan ciertas sustancias, en específico en relación con las fuerzas de dispersión de London. Los alumnos realizan dibujos para acompañar sus explicaciones acerca de cómo se lleva a cabo esta interacción. Se encontraron niveles de razonamiento de acuerdo a cómo explicaron la interacción, también mostrando la existencia del RM dentro de del tema.

Caspari et al. (2018), hizo un estudio sobre el RM enfocado en orgánica, ya que para ellos tiene un gran poder para la naturaleza de la materia, donde el mecanismo de reacción requiere la conexión de múltiples conceptos para la predicción del producto. Los alumnos tenían que predecir cuál era el mecanismo donde la energía de activación fuera la menor y a su vez sustentar esto con sus conocimientos. Encontrándose que todos mostraban una relación entre estructura del compuesto y energía de activación con la explicación acerca de lo que sucedía en la reacción con características del RM y otros niveles de razonamiento.

Colvin et al. (2019), se enfocaron en cómo preguntas escalonadas permiten que el estudiante desarrolle y relacione sus conceptos con las propiedades físicas de la materia. Al estudiante se le va proporcionando información donde, utilizando ésta, deben indicar qué información sobre propiedades físicas les puede proporcionar. El estudio permite ver la capacidad de relación que tienen los alumnos con la información que se les da acerca del fenómeno y también el nivel

de argumentación puedes tener los estudiantes, así como la relación que ellos pueden plantear entre los conceptos que utilizan.

Con la realización de múltiples estudios alrededor de diferentes temas de química, podemos decir que el razonamiento mecanístico es un punto importante para el desarrollo de conocimiento en esta ciencia. Porque debido a la abstracción de esta ciencia, cuando un estudiante es capaz de proporcionar una justificación válida sobre cómo y porqué suceden los fenómenos, es posible afirmar que existe un aprendizaje y un nivel de razonamiento mayor. Por lo que la exploración de la existencia del razonamiento mecanístico utilizando una justificación como medio, se vuelve un estudio importante para el tema de equilibrio químico. Ya que no existen estudios previos que permitan identificarlo en éste tema.

## **Objetivos**

Identificar sí los estudiantes de Química General II elaboran justificaciones, en el tema de Equilibrio Químico, en donde se observe un razonamiento mecanístico. Se utilizará como herramienta un cuestionario enfocado en el tema, donde será necesario la justificación del desplazamiento de equilibrio frente a una perturbación en tres equilibrios determinados.

### **Objetivos particulares.**

1. Delimitar los equilibrios a utilizar dentro del cuestionario.
2. Diseñar el cuestionario con tres preguntas específicas, que permitan identificar el razonamiento mecanístico, así como otros razonamientos, deficiencias de aprendizaje y el modelo utilizado para explicar el fenómeno.
3. Diseñar una rúbrica de evaluación, utilizando como base los razonamientos encontrados en las respuestas, así como las características del RM.
4. Lograr identificar la existencia del razonamiento mecanístico para sustentar sus respuestas.

## Pregunta de investigación.

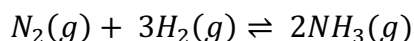
¿Cuál es el nivel de razonamiento mecanístico que tienen los estudiantes de Química General II sobre el tema de equilibrio químico?

## Metodología

Con la finalidad de identificar el tipo de razonamiento mecanístico en torno al tema del equilibrio químico, se desarrollaron una serie de cuestionamientos en donde se tomaron en cuenta las concepciones alternativas más frecuentes. Cada equilibrio está determinado de manera específica para que el estudiante proporcione una justificación y así determinar la existencia del razonamiento mecanístico. El cuestionario consta de tres equilibrios dos heterogéneos y uno homogéneo. Los equilibrios utilizados no son de frecuente visualización en el laboratorio, por lo que la percepción de estos desde el punto de vista de los estudiantes se vuelve un factor importante.

El cuestionario se muestra a continuación:

Partiendo del siguiente sistema en equilibrio:



Cuyas condiciones son:

$P_T = 10 \text{ atm}$        $\Delta H = -92,4 \text{ kJ}$      $V_T = 10 \text{ L}$

$T = 500 \text{ }^\circ\text{C}$        $K_p = 0.21$     y     $K_c = 0.33$

Expresa la constante de reacción e indica hacia dónde está desplazado el equilibrio.

¿Qué le pasaría al sistema si se aplica alguna de las modificaciones siguientes?, en cada caso justifica tu respuesta.

Se aumenta la presión.

Se disminuye la temperatura.

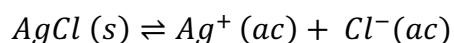
Se aumenta el volumen.

Se añade un x de amoníaco.

Se retira un x de nitrógeno.

Recuerda que cada modificación es independiente y va sobre el equilibrio principal, **justifica** con base en tus conocimientos de química general y además anexa un dibujo que represente el equilibrio propuesto.

Partiendo del siguiente sistema en equilibrio heterogéneo:



Cuyas condiciones son:

$$T = 20\text{ }^\circ\text{C}$$

$$K = 1.6 \times 10^{-10}$$

Expresa la constante de reacción e indica hacia dónde está desplazado el equilibrio.

¿Qué le pasaría al sistema si se aplica alguna de las modificaciones siguientes?, en cada caso justifica tu respuesta.

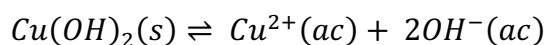
Se añade un x de  $Ag^+(ac)$ .

Se retira un x de  $Cl^-(ac)$ .

Se añade un x de  $AgCl(s)$ .

Recuerda que cada modificación es independiente y va sobre el equilibrio principal, **justifica** con base en tus conocimientos de química general y además anexa un dibujo que represente el equilibrio propuesto.

Partiendo del siguiente sistema en equilibrio heterogéneo:



Cuyas condiciones son:

$$T = 20\text{ }^\circ\text{C}$$

$$K = 2.2 \times 10^{-20}$$

Expresa la constante de reacción e indica hacia dónde está desplazado el equilibrio.

¿Qué le pasaría al sistema si se aplica alguna de las modificaciones siguientes?, en cada caso justifica tu respuesta.

Se añade un x de  $Cu^{2+}(ac)$ .

Se retira un x de  $OH^-(ac)$ .

Se añade un x de  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  (s).

Se le agrega un x de  $\text{H}^+$ (s).

Recuerda que cada modificación es independiente y va sobre el equilibrio principal, **justifica** con base en tus conocimientos de química general y además anexa un dibujo que represente el equilibrio propuesto.

Éste cuestionario fue aplicado utilizando la plataforma Google Cuestionarios ® a un total de 145 alumnos, los cuales pertenecen a tres grupos distintos de diferentes profesores. Todos los alumnos cursaban el segundo semestre. A continuación, se muestra la relación de alumnos por grupo:

Grupo	No. de alumnos
1 (G1)	49
2 (G2)	44
3 (G3)	52

*Tabla 1. Número de alumnos por grupo.*

Adicional a esto, se les pidió que realizaran un dibujo acerca de cómo ellos visualizaban el sistema. Utilizando como referencia el artículo de Marzabal (2019), se utilizará una rúbrica de evaluación, enfocada al tema. Ésta permitirá asignar un nivel de razonamiento de acuerdo con cada tópico del razonamiento mecanístico.

Es pertinente mencionar que las respuestas válidas para esta investigación tendrán ciertas características específicas para llevar a cabo su análisis. Donde en las respuestas se puede identificar que hay un equilibrio, se describe qué sucede con él frente a una perturbación, cuál es el desplazamiento que ocurre y porqué.

En la siguiente tabla se describen los parámetros del RM y cómo se verían identificados en las respuestas de éste tema.

Tabla 2. Descripción de las características del RM.

Característica del RM	Descripción
Descripción del fenómeno estudiado (DFE)	La descripción del fenómeno estudiado, como lo indica es una descripción tratando de explicar qué es lo que sucede en el fenómeno. Para este tema, no se hace una descripción directa. Sin embargo, sí hace una mención del sistema como un equilibrio. Ejemplo: "El <b>equilibrio</b> favorece a los productos. Ya que la parte de reactivos es muy dependiente de las colisiones entre ellos, y al aumentar la presión aumenta la incidencia de las colisiones"
Identificación de condiciones (IC)	La condición temporal se verá escrita como una secuencia lógica entre una causa y efecto. Mencionará el estado inicial y el cambio de éste con el efecto causado. Ejemplo: " <b>Cuando aumenta la concentración</b> de una sustancia que se encuentra en <b>un sistema en equilibrio, el sistema se desplazará</b> de modo que utiliza parcialmente la sustancia que se adicionó (reactivos)". La condición espacial no se verá representada en éste tema, ya que no se ve reflejada en las respuestas obtenidas. Sumado a que es requerida una representación gráfica para llevar a cabo el análisis de ésta.
Entidades involucradas (EI)	Menciona compuestos/sustancias que se involucran en la perturbación, se encuentran dentro de DFE, en especial aquellos que son cruciales para el fenómeno. Las entidades se ven afectadas para dar paso al fenómeno, para éste caso las entidades son las sustancias. Dependerá de la perturbación que se realice. Para éste tema, el sistema será el conjunto de entidades. Es decir, <u>el sistema será el equilibrio químico</u> y las <b>entidades</b> que lo componen serán <b>las sustancias</b> . Ejemplo: "El <u>sistema</u> se desplaza a <b>productos</b> , formando más <b>amoníaco</b> debido a que es una reacción exotérmica."
Actividades de las entidades (AE)	La entidad tiene una acción necesaria para el fenómeno, esto es toda aquella acción que realiza con las entidades son las actividades, tanto únicas de cada una y una general del sistema. Pueden ser mencionadas de manera directa o indirecta en relación con la descripción de la causa. Ejemplo: "El equilibrio <b>se desplaza</b> hacia reactivos ya que habría un exceso de productos"
Propiedades de las entidades (PE)	Las propiedades son características específicas de cada entidad y en general como sistema. Para el sistema, las propiedades serán T, V y entalpía. Por otro lado, para el caso de reactivos o productos, éstos tienen un estado de agregación, concentración y presión parcial que es importante para el sistema. Ejemplo: "No sucede nada porque es un <b>sólido</b> ".



Organización de las entidades (OE)	<p>Se menciona la estructura que tiene el fenómeno descrito, es decir un acomodo (no espacial necesariamente) que tiene cada entidad. Esto dentro de la justificación También se puede ver de manera gráfica en los equilibrios heterogéneos, mediante la representación de las fases el orden espacial con el que se acomoda.</p> <p><b>NOTA:</b> Para dicho rubro es necesario una representación gráfica, sin embargo, debido a la abstracción del tema no es posible obtenerla.</p>
Correlación de conceptos (RC)	<p>Menciona conceptos anteriores o dentro de la información dada, los cuales se utilizan para explicar el fenómeno. Así mismo incluyen conceptos de otras materias, tales como termodinámica, estructura, etc. Ejemplo: "La <b>entalpía</b> de reacción indica que es un proceso <b>exotérmico</b>. Por lo tanto, al disminuir la temperatura, se favorece a productos"</p>
Modelos (M)	<p>La mención directa del modelo o las entidades de cada uno dentro de la explicación:</p> <p>&gt;<b>LeChatelier</b>, se puede identificar si existe una descripción como: "Si hay una perturbación en... habrá un desplazamiento hacia...", así como los cambios de concentración de cada uno.</p> <p>&gt;<b>Cinético Químico</b>, "el cambio en la velocidad de reacción", así como la mención de cada velocidad de reacción con un sentido en concreto ya sea hacia reactivos o productos, así como la comparación entre "tamaños" de cada una.</p> <p>&gt;<b>Cocientes de reacción</b>, "el cambio en el cociente de reacción", menciona un factor Q y el cambio entre la relación de concentraciones indicando una relación matemática entre las mismas.</p> <p><b>NOTA:</b> Para la descripción de Russ et al. (2008), éste rubro está orientado a una representación gráfica, sin embargo, debido a la abstracción del tema éste se enfocará en los modelos de EQ que existen.</p>

La rúbrica que se utilizará para clasificar las características del razonamiento mecanístico se anexa en la siguiente página:

Característica del RM	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Descripción del fenómeno estudiado (DFE)	No menciona el fenómeno estudiado y da el efecto de perturbación.	Menciona el fenómeno, pero no da una explicación ni indica el efecto de perturbación. Puede haber una explicación pero superficial o general.	Menciona, describe y relaciona el efecto con el fenómeno integrando los conceptos del equilibrio químico, así como las entidades necesarias de mismo. También describe la relación causa y efecto.
Identificación de condiciones (IC)	Menciona sólo la condición temporal de efecto.	Menciona ambas condiciones temporales de causa-efecto, pero no las relaciona con el fenómeno. Menciona una de las condiciones temporales relacionada con el fenómeno.	Menciona ambas condiciones, las relaciona con el fenómeno y se ve una secuencia lógica entre ellas.
Entidades involucradas (EI)	No menciona las entidades.	Menciona las entidades, pero no las relaciona con fenómeno alguno.	Menciona las entidades (reactivos y productos) y relaciona la entidad con el fenómeno.
Actividades de las entidades (AE)	No menciona la acción de cada entidad.	Menciona la existencia de una acción de alguna entidad, pero no describe la acción. Menciona la acción del sistema, pero no de las entidades.	Menciona que la entidad realiza una acción y describe cómo es que se relaciona con el fenómeno.
Propiedades de las entidades (PE)	No menciona las propiedades de las entidades.	Menciona una propiedad por cada entidad pero no la relaciona con el fenómeno. Menciona la propiedad del sistema.	Menciona las propiedades de cada entidad, así como las propiedades generales del sistema, la relación con el fenómeno y si existe una modificación de ellas.
Organización de las entidades (OE)	No hay justificación.	No hay una estructura lógico-temporal y no hay una descripción del sistema antes y después.	Se identifica una organización temporal dentro de la explicación, donde se hace uso de las entidades y su relación con cada actividad. Así como la descripción del sistema antes y después de la perturbación.
Correlación de conceptos (RC)	No relaciona otros conceptos con el fenómeno.	Menciona conceptos, pero no los relaciona con el fenómeno.	Menciona conceptos diferentes y los relaciona con el fenómeno, así como la importancia de éste en el mismo.
Modelos (M)	No menciona un modelo.	Menciona directa o indirectamente el modelo pero lo utiliza como justificación del fenómeno.	Menciona directa o indirectamente el modelo, las partes que lo componen y los cambios que tienen a lo largo del fenómeno. Apelan a él como una representación y no como una justificación de éste.

Tabla 3. Rúbrica de evaluación con descripción en cada nivel

## Resultados y Análisis de Resultados.

Los resultados se mostrarán por pregunta, ya que cada una se enfoca en distintas perturbaciones del equilibrio. Se mostrará una tabla que indique el porcentaje de cada nivel encontrado por característica. El porcentaje es obtenido con base en la repetición del nivel por característica sobre un total de 145 respuestas. Ejemplo: Para la primera respuesta el nivel I de DFE se repite 80 veces, por lo que el porcentaje que le corresponde será de 55.17%.

Las tablas de porcentajes con características constan de tres partes:

- Característica, son los componentes del RM. Los cuales serán representados por sus siglas para mayor comodidad, tanto en la tabla como en el análisis de resultados.
- Nivel, es el nivel asignado respecto a la rúbrica que anteriormente se mostró.
- Porcentaje, es la relación de la repetición de ese nivel sobre un total de 145 respuestas.

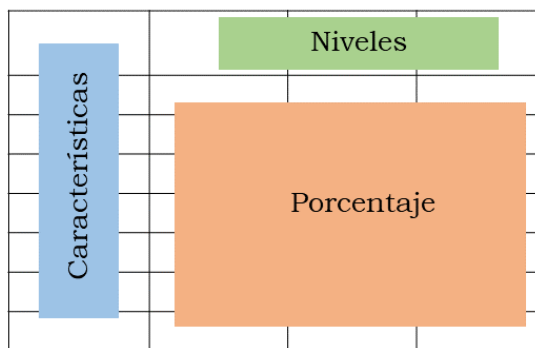


Ilustración 2. Formato de tabla de porcentajes.

### Equilibrio I. Amoniaco

- Expresa la constante de reacción e indica hacia dónde está desplazado el equilibrio.

Constante	Porcentaje
Expresada	75.17 %
No expresada/Incorrecta	24.83 %
Total	100 %

Tabla 4. Porcentaje de expresión de la constante de equilibrio.

En éstos resultados es importante resaltar que dentro del porcentaje de incorrecta existían respuestas donde no había relación entre el equilibrio proporcionado y la constante.

Ejemplo:

$$K = \frac{[NH_3]^2}{[NH_2][H^+]}$$

La escritura de la constante de reacción permite identificar los componentes de ésta, así mismo la relación entre reactivos y productos, así mismo su función en el sistema.

Esta respuesta en específico muestra que no se establece una relación entre el sistema y la constante de reacción, ya que disocia el producto y no conserva la estequiometría.

Por otro lado, en el restante de la escritura correcta de la reacción, un 3 % de los alumnos logran identificar que es un sistema gaseoso, por lo que se escriben  $K_c$  y  $K_p$ .

Dentro de esta misma pregunta, se les indica que escriban si existe un favorecimiento hacia alguna de las especies del sistema. Esta sección se dividió en dos partes, aquellos que escribieron la constante y aquellos que no.

Para aquellos que escribieron la constante, un 71.56 % indicaba que el desplazamiento del sistema era hacia reactivos, argumentando que el valor numérico de la constante indicaba éste favorecimiento.

Ejemplo:

*“Debido a que el valor de la constante es menor a 1, la reacción es poco cuantitativa, por lo que se puede argumentar que se desplaza hacia la formación de reactivos.”*

En éste tipo de respuesta, indica que el valor menor a uno es determinante para que la reacción sea o no cuantitativa, tomando el número uno como una referencia

de mayor o menor numéricamente hablando. Siendo el mismo determinante del favorecimiento de la reacción.

Por otro lado, el 17.43% indica el favorecimiento contrario, es decir hacia productos, pero ninguno argumenta el porqué. Además de que el 9.17% no mencionaba nada al respecto y el 1.84% restante menciona que el sistema ya está en equilibrio y no existe un favorecimiento hacia ninguna parte. Sin embargo, estas últimas respuestas no estaban acompañadas de ningún argumento que las sustentase.

De la misma manera aquellos estudiantes que no indicaron la constante o estuvo incorrecta, un 58.33% indicaron un favorecimiento a reactivos, otro 30.56% hacia productos, el 2.78% dice que está en equilibrio y el restante 8.33% no responde. Todas estas respuestas sin un argumento y solamente indicando en una palabra el favorecimiento. Esto puede ser debido a la falta de reconocimiento del sistema así como su relación con la constante de reacción.

b) Se aumenta la presión.

Esta pregunta se basa en la perturbación de una de las propiedades del sistema. La relevancia de ésta y las subsecuentes preguntas recae en que la visualización de la perturbación es hacia el sistema en conjunto. Haciendo que el estudiante lo piense como el conjunto de entidades que componen al sistema con una relación entre ellos y no de forma aislada.

En la siguiente tabla se muestra la relación de niveles con la característica del RM y con el porcentaje de aparición en las respuestas.

Característica	Nivel I (%)	Nivel II (%)	Nivel III (%)
DFE	55.17	38.62	6.21
IC	44.14	47.59	8.28
EI	20.69	42.07	37.24
AE	35.86	58.62	5.52
PE	77.93	21.38	0.69
RC	85.52	11.72	2.76
M	48.28	44.14	7.59

Tabla 5. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel.

De manera general, se puede observar que existe una mayor población en el Nivel I y II. Donde básicamente el nivel de RM es bajo o nulo. El único nivel que tiene el Nivel III mayor es EI, lo cual indica que los alumnos sí integran el RM para ésta parte.

Para comenzar en la característica de DFE de manera general se busca una pequeña descripción del sistema. Para esta parte, el mayor porcentaje se encuentra en el Nivel I. Esto es debido a que la mayoría de estudiantes no brindaban una descripción del sistema y únicamente se limitaban a mencionar cuál sería el efecto de la perturbación, sin justificación que acompañe dicha afirmación. Caso contrario del Nivel III, donde los alumnos lograron una descripción del sistema. Integrando una relación entre el comportamiento del fenómeno frente a la perturbación. La mayoría de ellos describía cómo es que esta perturbación se realizaría. Ya que, al modificar la presión interviene un cambio en el volumen y temperatura, por lo que ellos resaltaban cómo es que la perturbación podría influir tanto en el sistema como en otras propiedades.

Lo anterior va de la mano con el IC. Ya que el planteamiento de las condiciones temporales resulta relevante para describir al sistema. Ya que era necesario establecer un antes y después del equilibrio. Así mismo, se establecería una relación causa-efecto. Para el Nivel I de esta característica, de nuevo los estudiantes solamente se limitaban a mencionar cuál sería el efecto. Encontrando respuestas del tipo “reactivos” o “izquierda”. Por lo que en el Nivel III, el planteamiento de antes y después es fundamental. Logrando respuestas donde se relaciona el equilibrio inicial con el desplazamiento final. En esta parte se hace una descripción de cómo se comportaría el fenómeno después de la perturbación, pero antes de llegar al equilibrio final. Obteniendo respuestas cómo: *“Al aumentar la presión, disminuye el volumen. De esta manera, las colisiones entre los reactivos de la izquierda aumenta (dado mayor número de mol). Por lo tanto se favorecen productos”* Donde es apreciable que al momento de realizar la perturbación el sistema se comporta de cierta forma hasta llegar al equilibrio de nuevo.

De la misma manera, parte fundamental del sistema son las entidades que lo componen. Para todos los equilibrios presentados en éste trabajo las entidades son los reactivos y productos. Para esta respuesta en específico, el Nivel III resulta un poco difícil de alcanzar. Esto es debido a que la perturbación realizada no está directamente relacionada con ellos, por lo que el mismo estudiante debe plantear esa relación. Siendo así que el momento de aumentar la presión ellos indican que alguna de las entidades se verá mayormente afectada. Planteando explicaciones donde involucran la cantidad de sustancia como un factor importante. Ese 37.24% logra establecer que al momento de realizar la perturbación, las entidades se ven afectadas ya que éstas forman parte del sistema y el comportamiento de las mismas tiene influencia en el desplazamiento del sistema. Teniendo respuestas donde se establece una relación entidad-fenómeno.

Ejemplo:

*“Si aumenta la presión, el volumen disminuye, por lo tanto las colisiones entre el hidrógeno y nitrógeno molecular aumentan, haciendo que el equilibrio se desplace hacia los productos y aumenten.”*

En relación con la característica anterior estas entidades tienen una actividad que realizan al momento de llevarse a cabo la perturbación. Por lo que estas actividades en conjunto hacen que el sistema tenga un comportamiento frente a la perturbación. Como se puede observar en los resultados es difícil llegar al Nivel III en esta característica. Esto se debe a que, como se mencionó anteriormente, al no estar relacionada de manera directa la perturbación le es difícil relacionar ésta con el comportamiento que tendrán las entidades. Sin embargo, aquellos que lo lograron, integran la actividad de cada entidad a una actividad general del sistema. Estableciendo así que las entidades son componentes fundamentales del sistema.

De la misma manera sucede con las propiedades, ya que estas propiedades son fundamentales para que el equilibrio se lleve a cabo. Muchas veces estas propiedades son las que se ven afectadas al momento de hacer la perturbación.

En éste caso la propiedad fundamental de las entidades es el estado de agregación. Ya que es necesario que todas las especies estén en estado gaseoso para que se lleve a cabo. De la misma manera el conjunto de propiedades de cada entidad da propiedades al sistema. Sin embargo, el 77.93% no identifica las propiedades tanto de las entidades como del sistema. En cambio, el 0.69 % hace uso de estas propiedades para explicar el comportamiento del fenómeno frente a la perturbación.

Al momento de dar una justificación del comportamiento del sistema, muchas veces se necesita el uso de otros conceptos para relacionar el efecto con la perturbación. Cuando un estudiante logra involucrar conceptos en su justificación y que éstos aporten una base o medio para la predicción del sistema. Indica que el razonamiento sobre el problema que está teniendo el estudiante es muchísimo mayor. Ya que el estudiante puede ampliar su panorama acerca de la resolución de éste. El 2.76% integra varios conceptos permitiendo que su explicación sea más integral y amplia que solamente indicar el desplazamiento. En éste caso uno de los conceptos mayormente usados fue el de “colisiones” donde indicaban que el aumento de éstas favorecía la formación de alguna de las entidades. Haciendo énfasis en que el aumento de presión favorecía estas colisiones ya que el espacio entre cada molécula de las sustancias era menor.

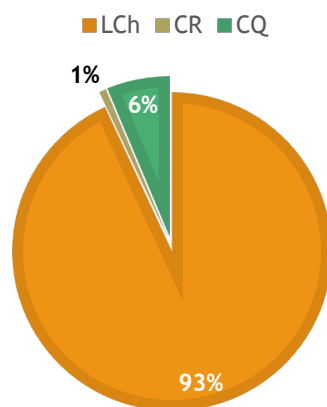
Así mismo como la integración de conceptos es fundamental el uso de un modelo de equilibrio químico como herramienta también lo es. Sin embargo, muchos estudiantes utilizan éstos modelos como justificación del comportamiento de un sistema. Generando problemas en el análisis y predicción e incluso el mal razonamiento del modelo. En éste caso el 7.59% de los estudiantes logran, sí utilizar un modelo, pero como una herramienta para sustentar su predicción y no como una justificación. Ya que el 44.14% de los alumnos indicaban que el modelo predecía que así el desplazamiento, dejando esta respuesta como una memorización de las posibles respuestas y no como un análisis de un sistema en particular.



Por otro lado, existen múltiples modelos de equilibrio químico, éste trabajo se enfocará en tres de ellos. Los cuales son: LeChatelier (LCh), Cinético Químico (CQ) y Cocientes de reacción (CR).

Para esta pregunta, el modelo mayormente utilizado es el modelo de LeChatelier

### MODELOS UTILIZADOS



Gráfica 1. Porcentaje de uso de los modelos.

con un 93% de frecuencia. Esto puede ser debido a que es el modelo más famoso y comúnmente usado. Particularmente las respuestas donde se ve reflejado éste modelo, tienen como característica un planteamiento causal entre la perturbación y el desplazamiento. Resaltando que dependiendo de en dónde se realice la perturbación será el desplazamiento al lado contrario. La desventaja de

esto es que se aprecia la memorización del principio y no con un análisis. Seguido de éste se encuentra el Cinético Químico, donde al momento de plantear éste modelo todos los estudiantes al mismo tiempo relacionaban el cambio en las velocidades de reacción. Haciendo un énfasis en la relación entre velocidad de reacción y concentración. El último, pero no menos importante es el modelo de Cocientes de Reacción. Sólo un 1% de los alumnos indicaron la comparación entre constante de reacción y Q, llevando a cabo un breve análisis del cambio de las concentraciones con la perturbación.

Como las respuestas son integrales respecto a todas las características del RM, a continuación se mostrará el análisis de una de las respuestas indicando el nivel de cada característica y su relación entre ellas.

Respuesta:

*“Al aumentarse la presión, el sistema se verá favorecido hacia los productos, esto porque al ver la relación estequiométrica, podemos determinar que en los*

*reactivos existe mayor presión, es así que se parte de los reactivos para saber cómo se afecta al aumentar la presión.”*

Como primera instancia se hace mención del DFE nivel 3, esto es debido a que describe el fenómeno haciendo una relación con la respuesta del fenómeno. Logra IC nivel 3 ya que menciona ambas condiciones para que se lleve a cabo, tanto la causa (aumento de presión) como el efecto que es el desplazamiento. Sumando esto también integra las entidades llegando a un EI nivel 3, menciona la relación del fenómeno con las entidades.

Sin embargo, menciona una actividad general del sistema y no de las entidades quedando en un AE nivel 2. Ya que tampoco hace una descripción de la actividad del mismo sistema solamente la menciona. Así mismo, solamente menciona una de las entidades, pero no las propiedades que debe de tener llegando a un PE nivel 1.

De la misma manera, al leer la justificación, menciona algunos conceptos que relaciona con el fenómeno. Uno de ellos es la estequiometría que la relaciona con el efecto frente a la perturbación. Esto le da un nivel RC nivel 3, ya que menciona y relaciona la importancia de éste concepto.

Por último, la forma de reacción indica que el modelo que utiliza es LCh, en un nivel 3, ya que lo utiliza como herramienta para justificar el desarrollo del fenómeno y no como justificación del porqué del efecto descrito.

Esto es importante para el estudiante ya que, como se mencionó anteriormente, la capacidad de construir la justificación respecto al fenómeno con herramientas que se le han brindado muestra un nivel de aprendizaje mayor.

c) Se disminuye la temperatura.

Esta pregunta como la anterior modifica las propiedades del sistema, al mismo tiempo modifica la constante de equilibrio y permite relacionar uno de los conceptos termodinámicos como lo es la entalpía.

En la siguiente tabla se muestran los resultados que obtuvo esta pregunta con respecto a cada característica del RM y su nivel respectivamente.

Característica	Nivel I (%)	Nivel II (%)	Nivel III (%)
DFE	51.72	44.14	4.14
IC	54.48	37.93	7.59
EI	11.03	48.28	40.69
AE	40	59.31	0.69
PE	46.9	52.41	0.69
RC	86.21	4.83	8.97
M	57.24	37.93	4.83

*Tabla 6. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel.*

Igual que el caso anterior, el nivel con mayor población sigue estando en el nivel I. De la misma forma se exceptúa el caso de EI, donde hay un aumento de población. Lo cual indica que el RM es bajo en éstos estudiantes.

Debido a la perturbación y la característica de la reacción (exoenergética), el cambio en la temperatura sería una parte importante que mencionar. Para el DFE de esta pregunta, en específico se buscaba que mencionaran el cambio dentro de la constante de reacción. Así mismo se esperaba que, en la descripción que se diera, se mencionaran las características de la reacción y su relación con el cambio de temperatura. El 51.72% de los estudiantes presentaron definiciones del Nivel I, no lograban describir ni el fenómeno de equilibrio ni la relación con la temperatura. Por lo que, el cambio de la constante de reacción tampoco era mencionada. Para los estudiantes del Nivel III, se encontró que hacían una descripción basada en el carácter de la reacción y su relación con el cambio de temperatura. Resaltando que **al ser exotérmica** una disminución de temperatura favorecía cierto desplazamiento. También hacían una mención de que al cambiar la temperatura, la constante de reacción cambiaría ya que ésta está dada para ciertas condiciones.

En el caso de IC, la mitad no establecía esa cronología de antes y después. El 54.48% (Nivel I) se limitaba a solamente mencionar el después de la perturbación,

sin hacer una relación causa-efecto. De la misma manera el 7.59% (Nivel III) sí hacía una diferencia entre el equilibrio correspondiente a antes del cambio de temperatura. Indicaban que después de que el sistema regresara al equilibrio de nuevo, también habría un antes y después de la constante de reacción. Siendo importante ya que los estudiantes lograban establecer esa relación causal y temporal del sistema respecto a la perturbación.

Inmerso dentro de la primera característica se encontraba EI. Para la cual aparte de reactivos y productos una tercera entidad que los alumnos integraron fue el “calor”. Ya que 40.69% mencionaba que el cambio de temperatura relacionaba al calor como otra parte de la reacción. Mencionando que éste se consideraría como un producto debido a que la reacción es exotérmica. Por lo tanto, era necesario incluirlo como entidad ya que ésta también se ve afectada de manera directa con la perturbación.

Para el caso de las actividades, dichas entidades se veían afectadas de manera directa. El 40% no logró identificar ninguna actividad, únicamente se mencionaba cuál entidad sería la favorecida más no qué actividad realizaría para favorecerse. Así mismo el 0.69% sí mencionaba la actividad de cada entidad, haciendo énfasis en el conjunto de actividades darían la actividad del sistema. Esto era mencionando la liberación de energía y su relación con el cambio de cada entidad.

Así mismo para la característica de PE, el 46.9% no mencionaba ninguna de las propiedades. Para el 52.41% la propiedad mayormente resaltada era el carácter exoenergético de la reacción. Sin embargo, ninguno hacía relación de cómo esta propiedad tendría influencia con el desplazamiento del sistema dejando de lado a las entidades. El 0.69% restante planteaba una relación entre las propiedades de cada entidad. Así mismo, incluía como propiedad el cambio en las concentraciones de cada entidad con relación al cambio de temperatura.

Esta pregunta, en particular, pedía incluir como conceptos la **entalpía**, **calor** y **energía**. El incluirlos mostraba que no solamente se enfocaba en el fenómeno de equilibrio desde la parte química sino también desde el panorama termodinámico.

El 86.21% no incluyó ninguno de los conceptos anteriores. Únicamente enfocándose en mencionar un cambio, pero sin añadir conceptos para explicarlos. Por otro lado, el 8.97% integró estos conceptos y los utilizó para argumentar el comportamiento del sistema. Teniendo respuestas de este estilo:

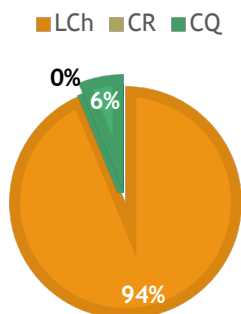
*“Como la reacción es exotérmica, al reducir la temperatura el  $\text{NH}_3$  ya no podrá "alcanzar" la energía necesaria que requiere para "saltar" o sobrepasar su energía de activación; de manera que en el equilibrio habrá una mayor concentración de  $\text{NH}_3$ , es decir, el equilibrio se desplaza hacia productos.”*

Esta respuesta puede mostrar el uso de conceptos para explicar el comportamiento del sistema. Ejemplo de eso es mencionar el concepto de **energía de activación**, usa éste concepto para mostrar que la disminución de temperatura favorecerá una de las partes del sistema. Así mismo lo relaciona con la característica de la reacción y la concentración del sistema. Esto es importante ya que el concepto no queda ambiguo.

Por otro lado, en la parte de modelos (M) el 57.24% no utiliza algún modelo. Esto es debido a que las respuestas son sumamente cortas y enfocadas a indicar únicamente el desplazamiento. Sin embargo, el 4.83% logra utilizar las partes del modelo para explicar cómo es que el sistema se desplaza. Esto es como una herramienta y no como justificación. Lo que se aprecia ya que utilizan pequeñas partes que componen al mismo modelo, ejemplo de eso es el modelo CQ donde los estudiantes utilizan las velocidades para complementar el cambio en las concentraciones, diciendo que el cambio en las concentraciones cambiará las velocidades.

Al contrario de las respuestas anteriores en ésta no hay ninguna que utilice el modelo Cocientes de Reacción. Existe una gran mayoría del uso de LeChatelier y una pequeña minoría con Cinética Química. Algo importante de mencionar es que casi todos los que usaron el modelo de LeChatelier no indican que el cambio de temperatura también involucra un cambio en la constante de reacción. Dando como resultado un sistema completamente distinto.

## MODELOS UTILIZADOS



Gráfica 2. Porcentaje de uso de los modelos.

Esto puede ser porque es difícil de apreciar la relación del cambio de temperatura con el modelo de Cocientes de Reacción. Sin embargo, una alternativa de éste es el modelo de Van't Hoff para poder encontrar la relación entre el cambio de temperatura y la constante de reacción.

Para finalizar con esta pregunta, se llevará a cabo el análisis de la siguiente respuesta.

Ejemplo:

*“Al ser una reacción exotérmica, la temperatura se encuentra del lado de productos, por lo que al disminuir la temperatura, este equilibrio se desplazará hacia la formación de productos, y al haber otra temperatura cambia totalmente, el valor de la constante de equilibrio.”*

Para esta respuesta comenzamos definiendo que el nivel de DFE es 3, esto es porque hace una pequeña descripción de cómo es la reacción y con base en esto el comportamiento que tendría el sistema. En el caso de IC también tiene un nivel 3, ya que menciona ambas condiciones causales. Parte de indicar la causa, que es la disminución de la temperatura, y posteriormente el efecto, que es el desplazamiento. Cuando se establecen estas condiciones es normal encontrar las EI, esta respuesta tiene un nivel 3. En esta parte menciona la entidad de productos además de su relación con el sistema en la perturbación. Permite ver que esta entidad es componente del mismo y el comportamiento que tenga a lo largo del fenómeno lo afectará de manera directa. Sin embargo el AE que tiene llega a ser de nivel 2, ya que la explicación que tiene del comportamiento es poco profunda y no describe la acción misma. De la misma manera sucede con las PE, el nivel 2 se caracteriza por mencionar las características de las entidades o del sistema, pero sin relacionarla con el fenómeno. En esta respuesta llega a mencionar una

de las características de la reacción, pero no de las entidades dejando de manera superficial su conexión con el efecto.

En el caso de la RC queda en un nivel 2, logra mencionar un concepto (reacción exotérmica). Sin embargo, no plantea una relación entre ese concepto y el sistema, asumiendo solamente como un hecho sin sustento.

Por último, se encuentra la parte de los modelos, esta respuesta tiene un M nivel 3 ya que no utiliza el modelo como una justificación. Utiliza el modelo de LeChatelier como una herramienta para explicar el cómo se comportará el sistema, ya que no sólo predice el efecto sino que lo explica brevemente.

d) Se aumenta el volumen.

Para esta pregunta se continúa con la modificación de las características del sistema. Pero, ahora se ve un cambio de manera indirecta en las propiedades del sistema. Además de que se puede relacionar éste cambio con la modificación de otras características.

Característica	Nivel I (%)	Nivel II (%)	Nivel III (%)
DFE	55.86	42.76	1.38
IC	53.79	36.55	9.66
EI	11.72	48.28	40
AE	37.24	59.31	3.45
PE	86.21	13.79	0
RC	66.21	32.41	1.38
M	55.86	39.31	4.83

Tabla 7. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel.

Nuevamente se puede observar el bajo nivel de razonamiento mecanístico que presentan los estudiantes de QGII. Resaltando que en el caso de EI sigue en porcentajes parecidos a los anteriores.

Dentro de la primera característica del RM, el 55.86% de los estudiantes no describen el fenómeno ni la perturbación. En cambio, el 1.38% lograron describir

el sistema y su comportamiento respecto a la perturbación. Además, dentro de ésta, incluyen cómo es que podría esta perturbación podría no sólo modificar al sistema sino también sus otras características.

Ejemplo:

*“Al aumentar el volumen disminuye la presión y por ende la concentración se disminuye  $NH_3$  debido a que los choques de las moléculas de  $H_2$  y  $N_2$  disminuyen. La reacción se desplaza a la izquierda, hacia reactivos.”*

En el caso de IC, el 53.79% solamente se centra en mencionar el efecto sin aportar alguna relación con la causa. Es decir, no se plantea ningún tipo de condición temporal entre el sistema y la perturbación. En cambio, el 9.66% establece ambas condiciones temporales. Partiendo del planteamiento de antes de la perturbación, indicando la presencia de un equilibrio inicial. Posterior a eso mencionan cómo es que se lleva a cabo la perturbación y el comportamiento del sistema posterior a esa. Finalizando con indicar hacia donde sería el desplazamiento hasta llegar al equilibrio final. El lograr plantear esto en cualquier respuesta es de suma importancia. Demuestra que el estudiante es capaz de identificar un antes y después del mismo sistema, pero sin que deje de ser un equilibrio. Además, al momento de describir el comportamiento del sistema apela a la reversibilidad de éste.

Por otro lado, para las EI el 11.72% no logra identificar ninguna de ellas. Totalmente contrario al 40% que logra identificarlas y al mismo tiempo establecer una relación con el fenómeno. En éste nivel, los estudiantes mencionan cómo es que las entidades se ven afectadas frente a la perturbación. Así mismo indican cómo es que ellas se ven involucradas en el regreso al equilibrio del sistema, lo que es importante para la pregunta, ya que al no ser una perturbación directa de las entidades se logra indicar que se ven afectadas con el cambio de volumen. Esto último va de la mano con AE, ya que el 37.24% no menciona la existencia de actividades realizadas. Además, la actividad de desplazamiento como sistema también está ausente. En el EI no se lograr identificar estas actividades frente a



una perturbación, puede complicar la predicción del efecto. Ya sea de manera total, donde no se prediga nada o predecir de manera incorrecta. Para el 3.45% las actividades que se mencionan hacen una relación con el fenómeno, indicando desde cambios de concentración en cada entidad como cambios de presión en el sistema. Esto se vio reflejado en que las respuestas indicaban que el cambio de volumen cambiaría la concentración de todas las especies haciendo que alguna de estas se favorezcan. De la misma forma se planteaba que el cambio de volumen estaba directamente relacionado con el cambio de presión. Se resaltaba que al momento de aumentar el volumen se disminuía la presión, haciendo que los reactivos se vieran favorecidos ya que había “más espacio” entre ellos, haciendo más lenta su reacción.

De la misma forma, muchas veces las propiedades de las entidades son la que se ven afectadas cuando se realiza la perturbación. Por lo que la PE sigue estrechamente relacionada con la característica anterior. El 86.21% de los estudiantes no mencionan ninguna de las propiedades de las entidades o mencionan una propiedad muy general del sistema. Para el 13.79% restante, mencionaban características de las entidades y del sistema; sin embargo, solamente era de manera descriptiva sin hacer relación alguna con lo que sucedía con el fenómeno mismo. Esto es importante, ya que a pesar de mencionar las propiedades estas no ayudan a explicar el fenómeno y solamente lo describen, dejando en algunos casos, muy ambigua la respuesta a la pregunta.

En esta pregunta había pocos conceptos a involucrar ya que está estrechamente relacionada con la primera. El 66.21% no usa conceptos para relacionar el fenómeno con su comportamiento. Por otro lado, el 1.38% utiliza conceptos para relacionar el comportamiento de cada entidad y el comportamiento general del sistema. Entre los mayormente mencionados resaltan el concepto de concentración, que es utilizado para relacionar cómo afecta el cambio de volumen con las entidades que componen al sistema. También se encuentra el concepto de presión que a su vez lo relacionan con el de colisiones. Mencionando que la disminución de presión da como resultado una minoría de colisiones, afectando a

los reactivos y su concentración. De esta manera determina que la concentración de reactivos aumenta y se desplaza hacia reactivos. Éste tipo de relaciones son bastante comunes en las respuestas. Indicando no solamente un buen uso de los conceptos, si no que la cantidad de relaciones entre ellos demuestra un nivel alto de razonamiento.

Para finalizar en el uso del modelo (M) sigue persistiendo el enfoque como justificación del comportamiento del sistema con un 55.86%. Aunque el 4.83% sí logra usar las partes del modelo como herramienta de explicación. No solamente explican el cómo es que se comporta el fenómeno sino también la estrecha relación que tendría éste con las entidades, planteando una influencia de estas últimas.

Para finalizar el 89% sigue utilizando el modelo de LeChatelier para elaborar sus respuestas, dejando con una minoría del 1% al modelo de Cocientes de Reacción. Aunque éste último podría haber mostrado la relación entre el cambio de volumen con el cambio de concentraciones.

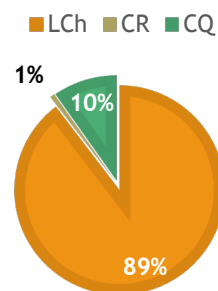
Por otro lado, el modelo de Cinética Química, aunque en menor medida, pero no deja de ser utilizado.

Ejemplo:

*“El numero de colisiones disminuye, como la constante de equilibrio es menor a 1, las posibilidades de que se descomponga*

*la molécula aumenta, por lo tanto se desplaza hacia reactivos.”*

### MODELOS UTILIZADOS



Gráfica 3. Porcentaje de uso de los modelos.

Para esta respuesta el DFE tiene un nivel 2 ya que describe de manera general el fenómeno, enfocado en la perturbación. Posterior a eso el IC también tiene un nivel 2, esto es debido a que solamente menciona una de las condiciones

temporales que es el efecto, no menciona la causa por lo que la lógica temporal no está establecida en ese argumento.

Menciona las entidades teniendo un EI de 3, donde identifica las entidades que lo componen y establece una relación con el sistema. Dentro de las entidades la AE tiene un nivel 2, ya que sí dice la actividad del sistema, pero no menciona la actividad particular de cada una. Esto hace que sea más difícil de sustentar, ya que no indica cómo es que esa actividad es la que se genera. De la misma manera la PE tiene un nivel 1, ya que no menciona en ningún momento alguna de sus propiedades tanto de la entidad y del sistema.

Ahora, sí existe una RC de nivel 2 ya que menciona el concepto de colisiones. Sin embargo, no logra relacionarlo de manera directa al sistema quedando muy al azar la mención de éste. En el caso del modelo el nivel es 3, donde a pesar de ser una explicación poco profunda lo utiliza como herramienta y no como una justificación del desplazamiento. De la misma manera, es fácil de identificar por el tipo de justificación que el modelo utilizado es LeChatelier, ya que no hay una mención ni de las velocidades de reacción o la relación de  $Q$  con la constante de equilibrio.

e) Se añade un  $x$  de amoníaco.

Al contrario de las preguntas anteriores, esta pregunta en específico se enfoca en la perturbación de uno de los componentes del sistema. Esto va a permitir observar cómo predicen y relacionan el comportamiento del sistema con la perturbación que se hace. De la misma manera permite que el estudiante plantee la situación con perturbaciones que son más conocidas para ellos.

En éste caso, se siguen conservando los mismos porcentajes con favorecimiento hacia el nivel I. Pero se logra observar que incluso en el PE prácticamente toda la población se encuentra en el nivel I, resaltando que para el análisis de éste sistema no hay RM.

Característica	Nivel I (%)	Nivel II (%)	Nivel III (%)
DFE	46.21	51.03	2.76
IC	41.38	48.97	9.66
EI	5.52	48.28	46.21
AE	35.86	58.62	5.52
PE	97.93	2.07	0
RC	77.93	18.62	3.45
M	62.76	31.72	5.52

*Tabla 8. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel.*

Como se mencionó con anterioridad al perturbar una de las entidades del sistema el DFE que se encontró está basado en describir cómo esta entidad se ve afectada. El 46.21% de los estudiantes plantea una descripción bastante ambigua. Ya que no describe de ninguna forma cómo es que el sistema se ve afectado o cómo es que la entidad cambia sus propiedades. Por el contrario, sólo el 2.76% sí hace una descripción de cómo la entidad cambia. Todos éstos hacen un énfasis en que la concentración es la que cambia al hacer esta perturbación. Siendo relevante ya que esto les permite establecer una relación entre las concentraciones de todas las entidades. Así mismo cuando establecen esta relación también menciona que es necesario un aumento en las otras concentraciones por medio de una reacción. Describiendo así el comportamiento del fenómeno.

De la misma forma el IC se ve inmerso dentro de la descripción. Esto es, el 41.38% involucra únicamente el efecto como condición temporal. Dejando de lado esa relación causa-efecto. Muchas veces el solamente indicar el efecto puede ser debido a comodidad de respuesta. Sin embargo, para éste estudio resulta relevante esa capacidad de relación tanto lógica como temporal. Esta relación es visible en el 9.66% de la población que establece el desarrollo del sistema partiendo de un tiempo inicial donde se tiene un equilibrio. Siendo éste el antes de la perturbación, donde posteriormente se hace énfasis en el después. Aquí es donde indican el cómo se realiza la perturbación, cómo el sistema responde y la forma en la que llega el tiempo final con un equilibrio de nuevo. Estas respuestas muestran que el estudiante relaciona todas las etapas del fenómeno mediante un

análisis temporal. Lo que es importante para lograr predecir cuál será el comportamiento y no solamente “predecir” de manera memorística o al azar.

Al ser una pregunta donde una de las entidades se ve afectada de manera directa, es importante que se identifiquen. Esto es visible en el EI, ya que el Nivel I tiene únicamente un 5.52%. Mostrando que pocos alumnos no son logran identificar las entidades que se ven afectadas o relacionadas con el fenómeno. Esto es curioso ya que, en preguntas anteriores se observaba un porcentaje muchísimo mayor. Sumado a que las perturbaciones realizadas con anterioridad no afectaban de manera directa a la entidad, si no a las características del sistema. Esto puede reflejar en que sí la perturbación no está relacionada de manera cercana con la entidad, será mucho más difícil para el estudiante el identificarlas y por lo tanto no se verán reflejadas en sus respuestas.

Ejemplo de esto es que el Nivel III cuenta con un 46.21%. Siendo un porcentaje bastante alto, ya que no solamente identifican las entidades si no que las relacionan con el fenómeno. Mostrando que, cuando se establece esa relación, ellos comprenden que las entidades son componentes cruciales del sistema. Esto es importante ya que de igual forma pueden relacionar el comportamiento de estas entidades con el comportamiento general del sistema. Observando como un conjunto y no como casos aislados.

Lo anterior se ve reflejado en la AE ya que el 35.86% no identifica ninguna de las actividades. En el caso del Nivel II con un 58.62%, sí menciona las actividades. Pero, no hay relación con el fenómeno solamente se indican de manera descriptiva cómo sucede la perturbación. La gran diferencia entre el Nivel II y III radica en un pequeño, pero importante detalle, al momento de mencionar esta actividad desarrolla una serie de relaciones entre las actividades de cada entidad restantes. Finalizando con indicar cuál sería el comportamiento del fenómeno como un sistema en conjunto. Es de suma importancia el relacionar estas actividades con el fenómeno y su comportamiento. Cuando se hace esa relación, el estudiante

está llevando a cabo un razonamiento lógico para dar la predicción y no solamente de manera memorística.

En relación con la característica anterior se encuentra el PE. Ya que muchas veces estas propiedades son las que se ven afectadas de manera directa por la perturbación. Por lo que una vez afectadas, las entidades realizan actividades para regresar al equilibrio inicial. El mencionar las propiedades permite que el estudiante relacione las propiedades generales del sistema con las particulares de cada entidad. El 97.93% no menciona ninguna de las propiedades del sistema. Esto es importante, ya que no se está mostrando la capacidad de identificar estas propiedades como parte importante del sistema. Ya que las propiedades permiten describir más a fondo las características del sistema y cómo éstas se modifican para regresar al equilibrio. El 2.07 % restante, menciona las propiedades como descripción de las entidades sin establecer una relación con el fenómeno. Ningún estudiante logró relacionar las propiedades con el fenómeno. Extrañamente se esperaba que esta pregunta permitiera que se mencionaran las propiedades de las entidades en relación con el fenómeno.

De igual forma el RC se puede presentar de manera amplia en esta pregunta. Ya que puede incluir conceptos como concentración, cantidad de sustancia y reacción. El 77.93 % no relaciona otros conceptos con el fenómeno y tampoco utiliza algunos otros para describir el sistema. Así mismo el 18.62% sí utiliza conceptos, pero para describir el sistema y no para explicarlo. En cambio, el 3.45 % utiliza éstos conceptos para explicar el sistema. Esta relación de conceptos muestra que el estudiante está analizando de manera profunda el fenómeno y su comportamiento frente a la perturbación. El concepto mayormente utilizado es el de concentración. Los estudiantes hacen relación con el cambio que tendrá cada entidad para regresar al sistema. Plantean una relación entre las concentraciones y cómo es que éstas cambian para dar el desplazamiento del sistema. Así mismo, mencionan que el  $x$  añadido es cantidad de sustancia y ésta modificará la concentración.

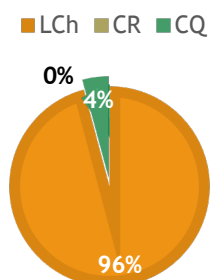
En el caso de M, el 62.76% no utiliza un modelo para ayudarse a explicar el sistema. El 31.72 % sí utiliza un modelo, pero como justificación del sistema y no como una herramienta. Siendo así un término más memorístico acerca de lo que sucede con el sistema. En cambio, el 5.52% utiliza como herramienta cualquiera de los tres modelos. La ventaja de utilizar el modelo como una herramienta, es que no se predice de manera memorística, sino que se explica con algunas de las características del modelo ya con base en el análisis previo de cómo se modifica.

A pesar de que esta pregunta sí permitía de manera más fácil el análisis con el modelo de Cocientes de Reacción ese modelo no fue utilizado en ninguna de las respuestas.

Por otro lado, el modelo más predominante sigue siendo el de LeChatelier, siendo inclusive mencionado de manera directa como justificación del sistema.

□

#### MODELOS UTILIZADOS



Gráfica 4. Porcentaje de uso de los modelos.

El modelo de Cinético Químico sigue presente, pero en menor medida respecto a las preguntas anteriores. Sin embargo, aquellos que lo utilizaron mencionan la existencia de un cambio en las velocidades de reacción.

Ahora se llevará a cabo un análisis general de la siguiente respuesta.

Ejemplo:

*“Se favorecen a reactivos porque el amoniaco ahora está en exceso y la velocidad 2 debe aumentar para gastar lo añadido y llegar nuevamente al equilibrio.”*

Dentro de esta respuesta el nivel de DFE es 2, esto es porque lleva a cabo la descripción del comportamiento del sistema después de la perturbación. Pero describe de manera superficial la perturbación solamente mencionando el

aumento del amoniaco. Por el contrario del sistema antes de la perturbación, ya que solamente menciona que es un equilibrio más no lo describe. Lo mismo sucede con las condiciones temporales, el IC es nivel 2 ya que la única condición temporal mencionada es el efecto y logra hacer una pequeña relación con el fenómeno.

En el caso de las entidades (EI) el nivel es 3, éste nivel se asignó ya que menciona ambas entidades que lo componen. Además de relacionarlo con el fenómeno indicando que el cambio de éstos afecta el equilibrio. Logrando que el nivel de AE es 2, ya que solamente una de las entidades es la que realiza alguna actividad. Además de que no indica la actividad general del sistema. Por otro lado, la PE queda en un nivel 1, ya que no menciona nada acerca de las propiedades que tienen las entidades mencionadas.

En el caso de la relación de conceptos RC se queda en un nivel 1, ya que no utiliza algún concepto extra para explicar el desarrollo del sistema.

En el caso de la sección de Modelo, el nivel es 2 ya que a pesar de que utiliza una de las partes del modelo de Cinética Química. Sigue siendo usado como justificación y no como herramienta. El cambio de la velocidad de la reacción hace que el sistema cambie, no que la perturbación sea la que modifique la velocidad. Dejando la justificación muy superficial y sin profundizar en explicar cómo es que el sistema se desenvuelve. De la misma manera, la redacción temporal no está en orden, ya que menciona primero el efecto que lleva a cabo el fenómeno. Después la perturbación y al final la transición que realiza el sistema para regresar al equilibrio.

f) Se retira un  $x$  de nitrógeno.

En esta pregunta, al igual que la anterior, se perturba a las entidades que componen al sistema. En cambio, los porcentajes son distintos a pesar de que el carácter de la pregunta es el mismo.



Característica	Nivel I (%)	Nivel II (%)	Nivel III (%)
DFE	44.83	53.79	1.38
IC	42.07	52.41	5.52
EI	4.83	48.97	46.21
AE	45.52	53.1	1.38
PE	97.93	1.38	0.69
RC	77.24	19.31	3.45
M	62.76	29.66	7.59

*Tabla 9. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel.*

De nuevo se presenta un nivel I favorecido por casi todas las características, donde EI sigue siendo la excepción. Para ésta pregunta del primer equilibrio, se puede indicar que no hay RM en el análisis.

Dentro de DFE el 44.83% no describe el fenómeno ni el efecto de la perturbación. En cambio el 1.38% presenta una descripción detallada donde al tratarse de retirar una de las entidades, los estudiantes hacen un énfasis en la descomposición de los productos. Esto resulta interesante porque hacen la relación entre ambas partes del sistema para regresar de nuevo al equilibrio. Así mismo observan al sistema como una conjunción de los componentes en un mismo contenedor donde ambas especies (reactivos y productos) están al mismo tiempo. Que es algo crucial para la comprensión de éste tema.

En relación con el IC los porcentajes son bastante parecidos a los anteriores. El 42.07% sigue conservando solamente el indicar al efecto como condición temporal, lo cual se puede asumir por cuestión de comodidad, ya que es mucho más fácil solamente contestar con el efecto que describir el sistema. Por otro lado, el 5.52%, sí hace una relación temporal entre la perturbación y el fenómeno. Algo curioso de resaltar en esta característica es que, muchos estudiantes mencionaban primero el efecto indicando que sería el equilibrio final. Posteriormente, hacían esa conexión del comportamiento temporal después de la perturbación, pero antes de llegar al equilibrio final. Culminando con indicar que el sistema ya era un equilibrio antes de ser modificado. Es decir, los estudiantes plantean a modo de retroceso temporal el cómo se comporta el sistema. Lo cual

puede indicar que se hace un proceso mental de análisis antes de determinar el desplazamiento final. Por lo que, al momento de decidir el desplazamiento éste se escribe y es donde inician el planteamiento temporal que anteriormente hicieron.

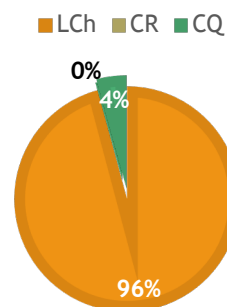
Por otro lado, en EI, el 4.83% no identifica las entidades que se involucran en el sistema. Sigue siendo un porcentaje bajo, ya que las mismas entidades son las que se perturban de manera directa. Al ser éstas las que se ven afectadas, el 46.21% menciona todas las entidades involucradas y al mismo tiempo las relaciona con el fenómeno. Donde sucede lo mismo que en la pregunta anterior, mencionan la entidad que se ve perturbada directamente y se relaciona con los cambios que tienen las otras entidades. Relacionado con esto el AE debería tener porcentajes parecidos, pero no. El 45.52% no menciona que las entidades tengan alguna actividad después de la perturbación ni se relaciona con el cambio del sistema. En cambio, el 1.38% indica que la actividad se da posterior a la perturbación y por causa de éste. Los estudiantes logran establecer que estas actividades se dan porque el sistema busca regresar al equilibrio. De lo contrario no habría una presencia de estas actividades, teniendo así una relación con el concepto de equilibrio químico. Es difícil establecer estas actividades con una relación al sistema. Ya que primero se tienen que mencionar las actividades que éstos realizarían de manera particular dando paso a una actividad general del sistema la cual sería el desplazamiento. Por lo que muy pocos alumnos logran establecerla.

En otra parte para estas entidades, sus propiedades se ven modificadas cuando se realiza la perturbación. Por lo que el PE presenta porcentajes variados. El 97.93% no identifica ninguna de las propiedades que podría tener alguna de las entidades. Esto es sumamente importante de mencionar, ya que el cambio de estas propiedades permite que el sistema se modifique para regresar al equilibrio. De la misma forma, estas propiedades particulares son las que le dan la propiedad general al sistema. Para el 0.69% sí hay una mención de las propiedades y al mismo tiempo relaciona el cambio de estas con el desplazamiento general del

sistema. Teniendo una relación de cambios particulares para la entidad y un cambio general para el sistema.

El 77.24% no logra relacionar otros conceptos con el sistema, dejando su justificación bajo los términos de las entidades o del modelo. En cambio, el 3.45% establece conceptos que le ayudan a explicar cómo es el desplazamiento del sistema. En éste caso los conceptos mayormente utilizados son los de concentración y reacción. Éstos se vuelven cruciales para la explicación de estas respuestas. Ya que, al modificar con un retiro de alguna de las entidades, el cambio se verá reflejado en la concentración de cada uno. De igual forma cuando se retira, hay un enfoque en que la otra entidad reaccionará para compensar la pérdida. Siendo así que los estudiantes relacionan de manera multidireccional los conceptos con el sistema y el comportamiento de éste.

### MODELOS UTILIZADOS



Gráfica 5. Porcentaje de uso de los modelos.

En el caso de M el 62.76% no utiliza ningún modelo para desarrollar una explicación del sistema. El 29.66% sí utiliza un modelo, pero como justificación de cómo se comporta el sistema. En algunas de estas respuestas incluso mencionaban que el sistema tendría ese desplazamiento porque “el modelo” lo indicaba. Sin hacer un análisis de sí el sistema seguiría el modelo o no. Caso contrario del 7.59%, donde a pesar de sí utilizar un modelo, éste se veía como una herramienta para ayudarse a explicar porqué ese desplazamiento. Donde estas respuestas llevan, al principio, un análisis con base en sus conocimientos y después utilizan ciertas partes del modelo para ayudarse a explicar lo anterior mencionado.

El modelo más utilizado sigue siendo el modelo de LeChatelier, seguido del Cinético Químico. Esto es apreciable en las respuestas por el tipo de descripción

que dan o por la mención directa del uso del modelo. También suelen encontrarse las partes que lo componen dentro de las justificaciones. Donde el modelo de LeChatelier se enfoca únicamente en el cambio de las concentraciones sin indicar nada más.

De igual forma el modelo de Cinético Químico hace referencia a las velocidades de reacción y cómo es que cambian éstas al modificar el sistema.

Para finalizar, se tomará una respuesta al azar y se colocará un análisis completo de la pregunta.

Ejemplo:

*“Al retirar una cantidad de nitrógeno de la reacción, como es una reacción reversible, se tiene que reponer esa cantidad perdida, el equilibrio de la reacción tiende hacia los reactivos.”*

Lo primero a notar es que en esta respuesta en específico no hay una descripción del fenómeno. Solamente describe el proceso que tendrá el sistema después de la perturbación, esto dando un nivel de DFE de nivel 2. En relación con esta descripción, se busca que las condiciones temporales estén indicadas. Aquí se plantea primero la perturbación a realizar, después el comportamiento del sistema antes de llegar al después que es el efecto. Por lo que hay un nivel de IC de nivel 3, ya que hay una relación temporal entre las acciones que lleva a cabo el sistema.

Ahora se espera que el estudiante relacione las entidades involucradas en el sistema. Esta respuesta integra las entidades del sistema y establece una relación de ellos con el fenómeno, dando un EI de nivel 3. En relación con las entidades también está presente la actividad de cada uno. Aquí no menciona ninguna actividad de las entidades y deja de la manera superficial la actividad del sistema, siendo un AE de nivel 1. Pasa de la misma manera con las propiedades, ya que no menciona ninguna propiedad de ellas ni del sistema, llegando a PE nivel 1.

Para finalizar, menciona un concepto nuevo “reacción reversible”. Esto indica que reconoce al sistema como uno, pero no lo relaciona como un equilibrio al principio. La ventaja es que utiliza éste concepto como herramienta para determinar que la perturbación realizada hace que el sistema se comporte de cierta forma. Después indica que también es un equilibrio y es importante de mencionar porque no todos los sistemas reversibles son equilibrio. Siendo así que el RC está en un nivel 2. Dentro de la misma relación de conceptos para explicar el comportamiento, también está el uso del modelo. Aquí es apreciable que el modelo utilizado es el modelo de LeChatelier, esto es debido a que involucra el cambio en la cantidad de alguna de las sustancias para después desplazarse hacia alguno de los “lados”. No plantea una relación entre concentraciones y tampoco un cambio en las velocidades de reacción. Además de eso, no lo utiliza como una justificación de cómo se modifica el sistema si no como herramienta para explicar el desarrollo del fenómeno, dando como resultado un M nivel 3.

### Equilibrio II. Cloruro de plata (I).

a) Expresa la constante de reacción e indica hacia dónde está desplazado el equilibrio.

Constante	%
Expresada	57.9
No expresada/Incorrecta	42.0
Total	10

Tabla 10. Porcentaje de expresión de la constante de equilibrio.

Para esta pregunta estos resultados son bastante relevantes. Al ser un equilibrio heterogéneo, la escritura de la constante de reacción solamente involucra ciertas especies. De la misma manera la relación entre anión-catión es 1 a 1 por lo que no habría visualización de exponentes diferentes a uno en la constante de reacción.

Ejemplo:



Para la escritura de esta constante se espera que se puedan identificar ambas sustancias que la componen. En éste caso las fases condensadas (líquidos y sólidos) no intervienen, por lo que aquellas especies en medio acuoso y gases serían las únicas que intervienen en la constante.

Así mismo ese 42.7% donde no se expresa la constante o se expresa de manera incorrecta, logra mostrar que los estudiantes incluyen la fase sólida. Esto puede ser debido a la memorización de “productos sobre reactivos” que se escribe en muchas constantes. Pero se debe tomar a consideración que cuando se coloca una constante de reacción esta debe estar en función de las concentraciones o presiones, parciales según sea el caso y un sólido no tiene concentración.

De la misma manera se pide el estudiante prediga hacia donde habrá un desplazamiento del sistema con base en el valor de la constante.

Ejemplo:

*“Esta desplazada hacia los reactivos por tener una constante menor a 1.”*

Es muy común encontrar éste tipo de comparaciones numéricas. Donde el estudiante toma como referencia el número uno para determinar si el sistema está favorecido hacia alguna de las partes. La mayoría de veces se cumple esta referencia, pero de todos modos se tiene que ser cuidadoso.

b) Se añade un x de  $\text{Ag}^+(\text{ac})$ .

Tal como ejemplos anteriores, esta pregunta está enfocada a la perturbación de una de las entidades. Ciertamente éste sistema es completamente diferente al anterior por lo que reflejaría si el estudiante dará un tratamiento diferente o no.

Como en el sistema anterior la mayor población está dirigida hacia el nivel I. Al ser un equilibrio distinto, se esperaría que el tratamiento sea diferente. Sin

embargo, la única característica con un porcentaje alto en nivel III sigue siendo EI.

Característica	Nivel I (%)	Nivel II (%)	Nivel III (%)
DFE	53.1	44.83	2.07
IC	61.38	34.48	4.14
EI	19.31	48.97	31.72
AE	68.28	28.97	2.76
PE	84.14	13.1	2.76
RC	76.55	20.69	2.76
M	76.55	18.62	4.83

*Tabla 11. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel.*

Este equilibrio consta de dos fases, una en disolución y la otra sólida. Lo interesante al momento de analizar el DFE es que la mayoría (53.1%) no logra describir éste tipo de equilibrios. Siendo el 2.07% los que describen la presencia de ambas fases como componentes del sistema, así mismo reflejan en la descripción la importancia del sólido presente. Indicando cuando éste se forma por la adición de plata. Ahora, es relevante mencionar que, para sistemas heterogéneos, el hecho de describir el sistema resulta crucial para su análisis. En estas respuestas se aprecia como se identifica como un sistema al conjunto de dos fases aunque en la constante solamente se escriba la fase acuosa.

En el caso de las condiciones temporales el 61.38% se centra en únicamente mencionar el efecto como condición temporal. No hay una relación de cómo ese sería el efecto ni un sustento. Muchas veces el solamente mencionar el efecto como respuesta se debe a una memorización acerca de la perturbación de un sistema en equilibrio. Donde sí añades en alguna de las partes éste se desplazará al lado contrario. Por lo que se puede indicar que no hay un análisis del fenómeno y esto puede ser negativo en el aprendizaje. Ya que, al ser dos fases puede ser que para algunos la predicción sea incorrecta. En el caso contrario el 4.14% sí establece una relación temporal causa-efecto y sumado a eso interviene el comportamiento del sistema después de la perturbación, pero antes del

desplazamiento para regresar al equilibrio. Donde cómo anteriormente se mencionaba, esto ya conlleva un análisis previo del sistema.

De la misma forma, en esta pregunta se ve afectada de manera directa a la entidad. El 19.31% no logra identificar las entidades del sistema. Esto aplica tanto al sólido como a la fase acuosa. Muchas de estas respuestas se enfocan en mencionar una **izquierda** o **derecha** como desplazamiento. Esto es incorrecto, debido a que el sistema mismo no cuenta con ambos lados ya que ambas especies coexisten dentro del mismo espacio. Por lo que referirse de manera correcta a las entidades es importante. Por otro lado, el 31.72% sí menciona las entidades de manera correcta y de la misma forma los relaciona con el fenómeno. Indicando que son parte del sistema llamado equilibrio.

De la mano con esta característica se encuentra el AE. Como se lleva resaltando desde preguntas anteriores, la mención de la actividad de cada entidad es importante para desarrollar el análisis del sistema. El 68.28% no identifica las actividades de ninguna de las entidades que lleguen a mencionar. Siendo relevante para el estudio general, porque desde la misma pregunta se les indica una de las actividades de cierta entidad. Al no mencionarla, aunque ya la conocieran, apela a que el estudiante no está llevando un razonamiento del fenómeno y por lo tanto tampoco del comportamiento del sistema. En cambio, el 2.76%, sí menciona las actividades que lleva a cabo cada una de las entidades. Tanto la actividad de ambas entidades en fase acuosa como en fase sólida. Siendo esto importante ya que no solamente se ve afectada la parte acuosa, sino que también interviene el sólido en el equilibrio. Resulta importante esto porque relaciona el sólido, aunque no intervenga en la constante.

De la misma forma sucede con PE, aquí el 84.14% no identifica estas propiedades. Ni siquiera mencionando la propiedad general del sistema que es la presencia de ambas fases. En cambio, el 2.76% sí menciona estas propiedades y hace énfasis en ellas. Especialmente en este equilibrio, se hace mucho énfasis en el cambio de concentraciones que tienen las especies en estado acuoso y de la misma forma



el hecho de que sea un sólido la otra parte que lo compone. Esto es importante, ya que los estudiantes están llevando a cabo un análisis del fenómeno como un equilibrio heterogéneo y no generalizando como solamente un equilibrio.

En el caso de RC para éste sistema se pueden relacionar muchos conceptos. El 76.55% no logra añadir conceptos que se relacionen con el equilibrio y tampoco con la perturbación. Para el 2.76% que sí relaciona conceptos nuevos, entre los que más resaltan son **solubilidad**, **iones**, **concentración**, etc. El incorporar el concepto de solubilidad resulta bastante interesante ya que no solamente se aprecia el sistema de manera microscópica si no de manera macroscópica. Lo cual muestra que el alumno es capaz de proyectar lo que sucede dentro del sistema a cómo se vería de manera experimental. Lo mismo sucede con el concepto de iones, donde se aprecia de manera microscópica, ya que hace referencia a la carga de las partículas liberadas al medio acuoso.

Para la característica de M, el 76.55% no logra utilizar algún modelo para explicar el desplazamiento. El 4.83%, sí utiliza un modelo para ayudarse a explicar el sistema. Para éste caso, los modelos siguen apelando a la existencia de dos fases sin evidenciar que los sólidos no tienen concentración. Además, los estudiantes hacen un énfasis en el modelo como herramienta y no como una justificación. Ya que lo utilizan después de hacer la predicción y el análisis de cómo se llevó a cabo el desplazamiento.

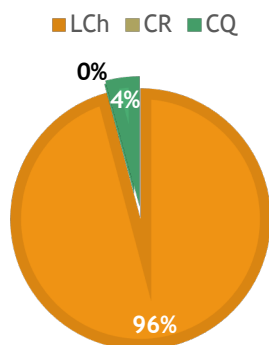
Como en casos anteriores el modelo mayormente utilizado es el modelo de LeChatelier. Posiblemente el uso de este modelo se deba a la costumbre y a la popularidad de éste. Donde el tipo de pregunta influye en la frecuencia con la que se utiliza. Ejemplo de ello es cuando la interrogante se enfoca en la perturbación de las concentraciones o cantidades de sustancia de los sistemas en equilibrio. Recurriendo fielmente al principio de LeChatelier como una regla general de predicción de desplazamiento.

Por otro lado, la ausencia total de Cocientes de Reacción puede ser debido al poco uso que se da al momento de enseñar este tema. Incluso podría decirse que

es poco conocido. Aunque éste sistema podría servir como una herramienta mejor que el modelo de LeChatelier por el tipo de análisis que realiza al modificar las concentraciones.

□

## MODELOS UTILIZADOS



Gráfica 6. Porcentaje de uso de los modelos.

Para finalizar se tomará una respuesta al azar para realizar su análisis.

Ejemplo:

*“Aumentarían el sólido ya que al aumentar los iones comunes, el equilibrio se desplazará hacia el sólido porque reaccionará, porque la solubilidad disminuye”*

Para esta respuesta el nivel de DFE es 2, esto es debido a que da una descripción poco profunda con relación al fenómeno y la perturbación. También para el IC el nivel es 2, ya que solamente menciona la condición de efecto. No da esa relación temporal de antes-durante-después, pero sí logra relacionar el después con la perturbación.

Por otro lado, no logra identificar las entidades del sistema quedando EI en 1, ya que no menciona ni a los reactivos ni productos. De la misma manera sí no se identifican las entidades, tampoco se menciona las actividades que tienen estando en un AE nivel 1. Así mismo con las propiedades, estando en un PE nivel 1.

En la parte de Correlación de conceptos, sí hay la mención de algunos conceptos dando un nivel RC nivel 2 pero no logra relacionarlos de todo con el fenómeno. Tampoco hace uso de ellos para seguir explicando cómo es el desarrollo del sistema. Sucede con lo mismo con el Modelo, esto es porque no hace uso del modelo como una herramienta para explicar si no justifica con éste. Dando un M nivel 2, con el modelo de LeChatelier donde es fácil de apreciar porque se hace

referencia a la perturbación de una de las partes o lados y el sistema se desplaza al lado contrario (para el caso de adición).

c) Se retira un  $x$  de  $Cl^-$  (ac)

Esta pregunta contrariamente de la anterior se retira una parte de la entidad. Por lo que de igual manera se espera que el estudiante pueda hacer un análisis del comportamiento de éste sistema.

Característica	Nivel I (%)	Nivel II (%)	Nivel III (%)
DFE	52.41	46.21	1.38
IC	57.24	40	2.76
EI	11.72	53.1	35.17
AE	64.83	34.48	0.69
PE	77.24	20.69	2.07
RC	79.31	18.62	2.07
M	80.69	16.55	2.76

*Tabla 12. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel.*

Como se observa, los porcentajes no cambian mucho a comparación con las tablas anteriores. Es importante mencionar que la única característica con un porcentaje más o menos igual, sigue siendo EI. Dejando muy claro que hasta ésta tabla, el RM es básicamente nulo en la población.

Para éste sistema el DFE sigue buscando una descripción del sistema como parte fundamental. El 52.41% no logra describir cómo es que el sistema se desarrolla después de la perturbación. Parte importante de esta descripción es que el estudiante pueda relacionar el fenómeno con la perturbación y su efecto. En cambio, el 1.38% sí hace una descripción profunda de cómo se desarrolla el sistema. En éste porcentaje se resalta mucho la existencia del sólido reaccionando cómo efecto de la perturbación. Es aquí donde el fenómeno tiene un desarrollo posterior a la perturbación y el estudiante es capaz de describir cómo, además de porqué, sucede el desplazamiento.

Así mismo en IC se establecen una serie de condiciones temporales donde el estudiante establece un equilibrio inicial y otro final. El 57.24% solamente logra

mencionar el efecto, limitándose a mencionar el efecto son otra descripción, con frases cortas como: “productos”. Este establecimiento de la condición de efecto únicamente, puede llevar a predicciones incorrectas donde éstas son dadas por memorización y no por un análisis. En el caso del 2.76%, sí se establece esta relación temporal de un equilibrio inicial, seguido de la perturbación y el comportamiento del sistema antes del equilibrio final. En estas respuestas se hace énfasis en “regresar a un equilibrio”, esto muestra que a pesar de que el sistema sea un equilibrio en sí, los estudiantes relacionan un cambio después de la perturbación. Marcando un inicio temporal dentro de sus justificaciones.

Inmerso dentro de las justificaciones se encuentran las entidades, EI. Para éste tipo de preguntas donde la entidad se ve afectada de manera directa se espera que las entidades sean fáciles de identificar. Así mismo el 11.72% muestra que los estudiantes no logran identificar las entidades dentro del sistema. Esto es importante de recalcar, porque es necesario que los estudiantes logren identificarlos para poder comprender cómo estos forman parte del mismo sistema y su importancia al momento de llevarse a cabo el fenómeno. Por otro lado, el 35.17% sí identifica a las entidades y las logra relacionar con el fenómeno. Aquí es crucial establecer esta relación ya que para sistemas heterogéneos es necesarios que se tomen en cuenta las fases condensadas aunque éstas no formen parte de la constante.

Cuando las entidades se ven perturbadas realizan cierto tipo de actividades para que el sistema se desarrolle de cierta manera. El 64.83% no llega a relacionar ningún tipo de actividad para las entidades. En cambio, el 34.48% sí menciona alguna actividad de las entidades, pero sí hacer relación con el sistema. Es decir, en particular para estas respuestas los estudiantes mencionaban que reaccionaba el sólido, pero sin indicar que la causa de esa reacción es que el mismo sistema busca regresar al equilibrio. Cosa que es relevante y hace la diferencia entre ambos porcentajes. Ya que el 0.69% sí relaciona estas actividades con el sistema. Indicando de manera directa que éste equilibrio tiene las entidades y realizan ciertas actividades. Particularmente en éste sistema, las respuestas de este nivel

indicaban que la entidad cloruro de plata tendría que reaccionar para equilibrar las concentraciones de nuevo. Cosa que relaciona ambas partes que es actividad y sistema.

De igual forma al modificar a las entidades, las propiedades de éstas se vuelven relevantes para su desarrollo del sistema. Por lo que en PE, el 77.24% no relaciona estas propiedades con el sistema. En el caso del 20.69% hacen mención de estas propiedades pero de manera descriptiva. Esto acompañado de frases muy cortas que no hacen contexto de explicar el fenómeno. Ejemplo:

*“disminuye la concentración de Cl<sup>-</sup>“*

Como se puede apreciar en la respuesta sí menciona la propiedad de la entidad (concentración). Sin embargo, solamente indica cuál sería el cambio, pero no relaciona con el fenómeno ni con un porqué este cambio es el que se llevaría a cabo. En el caso del 2.07%, sí hay una relación entre estas propiedades con el fenómeno. Haciendo referencia a que este cambio es el que se da por la perturbación y así mismo el desplazamiento del sistema. Es importante cuando el estudiante logra relacionar las propiedades particulares de cada entidad. En este caso, al mencionar al sólido y los iones del sistema plantea la existencia de un sistema heterogéneo.

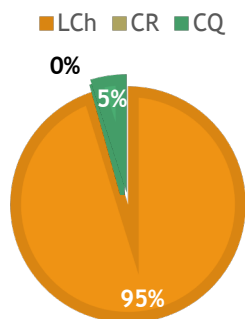
En esta pregunta, como la anterior, los conceptos mayormente utilizados son **solubilidad, concentración y iones**. Para el 2.07%, se utiliza el concepto de solubilidad para mencionar que al momento de realizar la perturbación, macroscópicamente el sólido se verá más solubilizado. Aquí es donde el estudiante plantea también una relación entre concentración, ya que al solubilizarse este sólido modificará las concentraciones de las otras entidades. De igual forma al indicar que las entidades son iones, hace referencia a la carga que podría tener cada uno y no solamente a esto se enfoca, ya que igual puede hacer relación con la estequiometría. Cosa que se aprecia tanto en la constante como en la escritura de reacción.

En el caso de los modelos M, el 80.69 % de los estudiantes no utilizan ninguno de los modelos para explicar el fenómeno. En cambio, el 2.76 % logra utilizar como herramienta el modelo, ya sea parcial o totalmente. Teniendo respuestas donde después del análisis menciona, con ayuda del modelo porqué éste desplazamiento sería el correcto.

Como se puede apreciar la mayoría sigue utilizando el modelo de LeChatelier para justificar. Sin embargo, el uso de éste modelo limita un poco las respuestas. Esto es debido a que, al tener un sistema heterogéneo, los estudiantes siguen dándole un tratamiento como sistema homogéneo. Resaltando frases como “concentración del sólido aumenta”. Por otro lado, aún hay presencia del modelo Cinético Químico, aunque en menor cantidad que las preguntas anteriores, donde es apreciable la descripción de las velocidades y el cambio de éstas con relación al desplazamiento.

□

### MODELOS UTILIZADOS



Gráfica 7. Porcentaje de uso de los modelos.

Para finalizar se tomará una respuesta al azar y se realizará el análisis completo de la misma.

Ejemplo:

*“La reacción deja de estar en equilibrio, sin embargo, no se forma más precipitado porque ya están solubilizados la mayor cantidad posible de iones y ahora no se rebasa ese límite”*

Para esta respuesta, la descripción se enfoca mayormente en el efecto. Se tiene un nivel de DFE 2 ya que la descripción es bastante superficial, indica cómo es que el sistema se ve perturbado. De la misma manera el nivel de IC es 2 ya que solamente se enfoca en la condición de efecto, menciona la existencia del equilibrio más no de la manera temporal.

Como se concreta en el efecto, se espera que mencione las entidades involucradas en el equilibrio. Sin embargo, no menciona ninguna de las entidades del sistema como reactivos/productos. Por lo tanto, el nivel de EI es 1. De la mano con identificar las entidades cada una de éstas lleva a cabo una actividad frente a la perturbación, por lo que al no haber entidades mencionadas tampoco hay actividades. Entonces el nivel para AE es 1. Por otro lado, menciona una pequeña propiedad del sistema la cual dice que el sistema está en equilibrio, por lo que esa sería la única propiedad que se podría resaltar en la explicación. Así que el nivel de PE sería 2.

Por otro lado, llega a utilizar conceptos que se relacionan con el sistema, como lo es solubilidad y los iones, no logra relacionarlos del todo con el fenómeno además de ser utilizados como descriptivos. Por lo que el nivel de RC sería de 2.

Para finalizar, no utiliza un modelo de equilibrio, ya que menciona que se altera éste pero no hay un desplazamiento. Por lo que el nivel para M sería 1.

d) Se retira un  $x$  de  $\text{AgCl}(s)$

Al contrario de las preguntas anteriores ésta lleva a cabo la perturbación de una entidad no relacionada con la constante de reacción. Por lo que se busca cómo es que los estudiantes justifican el cambio en esta entidad y su influencia sobre el fenómeno.

Característica	Nivel I (%)	Nivel II (%)	Nivel III (%)
DFE	51.72	47.59	0.69
IC	52.41	45.52	2.07
EI	33.79	38.62	27.59
AE	74.48	25.52	0
PE	76.55	20.69	2.76
RC	79.31	18.62	2.07
M	81.38	18.62	0

Tabla 13. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel.

A comparación con la tabla anterior, se observa como los porcentajes caen drásticamente. Incluso el porcentaje de EI que se mantenía constante. Lográndose ver incluso 0% en más de una característica.

Para el DFE de esta pregunta se encuentran porcentajes variados a comparación de la anterior. El 51.72% no describe en absoluto ni el comportamiento del sistema ni de la perturbación. Para el 0.69% la descripción proporcionada menciona que a pesar de no estar involucrado dentro de la constante de reacción, si se retira sí tendrá un efecto en el sistema. Esto es importante ya que se toma en cuenta a la fase condensada dentro del sistema. Aquí me gustaría mencionar que la mayoría de las respuestas se limitaban a mencionar que el equilibrio no se perturbaba a menos que se retirara todo el sólido. Ya que sin éste entonces de lo que se hablaría sería de otro sistema.

En la IC el 52.41% volvía únicamente a mencionar el efecto, sin establecer una relación acerca de cómo el sistema se comportaría. El 2.07%, sí menciona ambas condiciones temporales del comportamiento del sistema. Para esta pregunta de manera particular existe un orden donde se menciona la perturbación primero, seguido de indicar que se necesita volver al equilibrio. Después hace la relación con el comportamiento de la fase condensada y predice el desplazamiento. El hacer éste énfasis con la fase condensada resulta de gran importancia debido a que permite integrarlo como parte del sistema.

Por lo que en EI, la mención del sólido se vuelve importante. El 33.79%, no menciona ninguna de las entidades. Este sigue siendo un porcentaje alto de estudiantes que no reconocen las entidades, lo cual puede deberse a la forma de responder la pregunta en específico. Ya que de nuevo aparecían las respuestas del tipo **izquierda** y **derecha**. Por otro lado, el 2.07% sí menciona las entidades. Donde se relaciona con el sistema y el desarrollo de la perturbación. Indicando cómo es que se ven involucradas en el cambio que tiene el equilibrio y el cambio que éstas tendrían a la par.

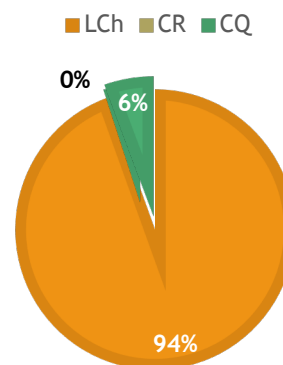


Es aquí donde las AE se integran en las respuestas. Para el 74.48% no se realizan actividades. Muchas de estas respuestas solamente mencionaban a la entidad, pero sin indicar nada más o no mencionaban las entidades en ningún momento. En el caso del Nivel III, el porcentaje es 0%. Esto puede ser debido a que dentro de los modelos del EQ, se indica que la entidades condensadas no se escriben en la constante. Por lo que el estudiante solamente considera a las especies que se presentan en la constante de equilibrio como aquellas involucradas en el equilibrio. Sin embargo, en la reacción escrita están indicadas estas fases condensadas porque son parte del sistema y a la par influyen en éste. Es aquí donde una de las alternativas para retirar esta concepción es trabajar sobre el sistema de la reacción con perturbaciones y después introducir el concepto de constante, haciendo énfasis en que aunque no esté escrita en la constante sigue siendo parte del sistema.

Lo mismo sucede con PE, donde el 76.55% no identifica ninguna de las propiedades del sistema. Esto es preocupante, ya que al igual que la anterior característica, identificar estas propiedades da paso a un análisis más profundo del fenómeno. De igual forma, estas propiedades se ven afectadas cuando se realiza una perturbación. Así que el 2.76% sí identifica estas propiedades. De las cuales, las principales son el estado de agregación y la concentración de los iones. Esto se ve mayormente reflejado debido al carácter del sistema. Ya que estas propiedades son necesarias para que se desarrolle el fenómeno. Este tipo de características particulares son las que en conjunto dan sus propiedades al sistema. Así que, cuando un estudiante es capaz de identificar estas propiedades muestra que reconoce el sistema y sus componentes. Cuando se reconoce es capaz de predecir el desplazamiento teniendo en cuenta estas propiedades.

Por otro lado, la introducción de conceptos para justificar demuestra que el nivel de razonamiento es mayor. Por lo que el RC es otra característica importante de la investigación. El 79.31% no introduce ningún otro concepto que permita explicar el comportamiento del sistema y cómo es que éste se desarrolla después de la perturbación. En cambio, el 2.07% sí logra introducir conceptos. Entre los que mayormente se integran son **solubilidad**, **iones** y **concentración**. Particularmente en esta pregunta, el concepto de solubilidad está mayormente presente. Indicando que el hecho de retirar al sólido del sistema hará que los iones presentes en el sistema reaccionen y se forme el sólido retirado. Por lo que se verá que la solubilidad disminuye. Éste tipo de conceptos donde relacionan el ámbito químico a nivel microscópico con el nivel macroscópico de lo que se apreciaría experimentalmente muestra un nivel de razonamiento alto. Es aquí donde no solamente el estudiante analiza en lápiz y papel lo que sucede, si no que también desarrolla mentalmente lo que se observaría en el laboratorio.

## MODELOS UTILIZADOS



Gráfica 8. Porcentaje de uso de los modelos.

En el caso de los modelos M, el 81.38% no utiliza ningún modelo para explicar cómo es que el sistema se ve afectado. Como se aprecia es una gran mayoría de los estudiantes, ya que también el 18.62% menciona el uso de un modelo, pero como justificación. Ninguno alcanza el Nivel III, esto puede ser a que este tipo de perturbaciones no son analizados comúnmente bajo el criterio de ningún modelo. Siendo así que a los estudiantes se les complica aún el cómo desarrollar éste tipo de respuestas utilizando los mismos como herramienta.

Por otro lado, de aquellos que sí utilizaron el modelo. La gran mayoría sigue utilizando el modelo de LeChatelier. Esto se veía reflejado ya que la mayoría de las respuestas únicamente se centraban en el cambio de concentraciones incluso para el sólido. Sin añadir otro tipo de análisis.

En cambio para los que utilizaron Cinética Química, sigue habiendo un planteamiento del cambio de las velocidades de reacción en relación con la perturbación.

Para cerrar con esta pregunta se llevará a cabo el análisis de una de las respuestas al azar.

Ejemplo:

*“El equilibrio se desplaza reactivos ya que la cantidad de productos es mayor a la de reactivos, por lo que para tener un equilibrio es necesario que aumente la velocidad hacia reactivos para que permita la formación de reactivos”*

Esta respuesta parte de describir el comportamiento del sistema después de la perturbación. Así mismo, da una pequeña explicación del porqué ese sería el desplazamiento. Sin embargo, no profundiza más, quedando en un DFE nivel 2. Mientras da esa pequeña explicación se pueden apreciar las condiciones temporales que se plantean. En éste caso solamente se plantea el después de la perturbación, pero lo relaciona con el fenómeno. Por lo que el nivel de IC sería 2.

Por otro lado, también son apreciable las entidades que componen al sistema. Para esta respuesta el nivel de EI es 3, ya que menciona las entidades que componen al sistema (reactivos/productos). Así mismo establece la relación con el sistema, ya que indica que al perturbar alguna de ellas hace que el sistema cambie de la misma manera. Pero no lo describe a profundidad dejando un poco de lado el porqué estas entidades realizan ciertas actividades, en cambio si logra mencionar cuál será el comportamiento general del sistema. Esto da como resultado AE nivel 2.

Sobre la misma línea de las actividades, las propiedades son las que se ven modificadas en algunas ocasiones después de la perturbación. En éste caso no menciona ninguna de las propiedades que se ven modificadas. Ni al momento de

realizar la perturbación ni después de la misma. Siendo así que el nivel de PE es 1.

De la misma manera no introduce ningún otro concepto para explicar cómo es desplazamiento del sistema. Así que el nivel de RC queda en 1. En la característica de modelo (M), el nivel es 2. Esto se debe a que, a pesar de dar la explicación del desarrollo del sistema, el uso del modelo es de una justificación acerca del comportamiento. Ya que menciona que será necesario el aumento de la velocidad para que el sistema se desplace y no de manera contraria. Ya que el sistema establece la velocidad en función de las concentraciones y en esta respuesta se da a entender que la velocidad ya está establecida para ese sistema. El modelo utilizado es el Cinético Químico.

### Equilibrio III. Hidróxido de Cobre (II).

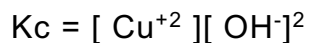
a) Expresa la constante de reacción e indica hacia dónde está desplazado el equilibrio.

Constante	Porcentaje
Expresada	48.28 %
No expresada/Incorrecta	51.72 %
Total	100 %

Tabla 14. Porcentaje de expresión de la constante de equilibrio.

Nuevamente, para este equilibrio al igual que el anterior, el planteamiento de la constante se vuelve (en algunos casos) un problema. Ya que algunos estudiantes consideran una “concentración” del sólido.

Ejemplo:



Para este ejemplo hay dos cosas importantes para resaltar. La primera es la presencia de la estequiometría de la reacción, esto se ve con la relación de exponentes. De la misma manera no coloca al sólido, dando a entender que el estudiante comprende que las fases condensadas no forman parte de la constante

de reacción. Sin embargo, eso no quiere decir que no forme parte del sistema y no sea importante.

Así mismo se les pide indiquen hacia donde sería el desplazamiento de la reacción. Ejemplo:

*“el equilibrio está desplazado hacia el reactivo porque la constante de equilibrio es demasiado pequeña.”*

Esta respuesta indica el desplazamiento del equilibrio en relación con el valor numérico de la constante. Siendo así, que el estudiante establece una comparación numérica de nuevo para decidir cuál sería el desplazamiento. Como en casos anteriores aquí no se compara con el número 1, pero sí menciona que el valor sigue siendo bastante pequeño.

b) Se añade un x de  $\text{Cu}^{2+}(\text{ac})$

Al igual que preguntas anteriores en otros sistemas, esta pregunta se basa en el cambio que tiene una de las entidades específicas del sistema.

Característica	Nivel I (%)	Nivel II (%)	Nivel III (%)
DFE	52.41	45.52	2.07
IC	55.86	40	4.14
EI	20.69	46.9	32.41
AE	67.59	31.03	1.38
PE	68.97	26.9	4.14
RC	63.45	32.41	4.14
M	85.52	10.34	4.14

Tabla 15. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel.

Nuevamente los porcentajes se ven favorecidos hacia el nivel I con excepción de EI. Pero al contrario de casos anteriores, se ve un pequeño aumento hacia nivel III.

Para esta opción de pregunta los porcentajes de DFE son variados, al igual que casos anteriores y se espera una descripción parecida a la del sistema de cloruro

de plata. El 52.41% no describe el fenómeno ni tampoco al sistema. Sumado a esto, el tipo de respuesta indicada es donde se hace únicamente referencia a la entidad la cual será favorecido el desplazamiento. En cambio, el 2.07% sí lleva a cabo esta descripción haciendo relación de cómo el sistema se ve afectado y la relación de cambios con el fenómeno. Esto es resaltando la presencia del sólido como parte del sistema y así mismo llevando a cabo una descripción del comportamiento antes, durante y después de la perturbación.

Aquí es donde se introduce el IC para el sistema. Donde el 55.86% únicamente menciona al efecto después de la perturbación. No hay una relación lógica y temporal con la perturbación. Por otro lado, el 4.14% sí establece una relación entre ambas partes. Para estas respuestas hay una descripción partiendo de la adición de la perturbación, siendo ésta la primera condición temporal (causa). Posterior a eso se plantea que al aumentar esta entidad habría una modificación, por lo que el sistema tendrá que cambiar para regresar al estado de equilibrio (efecto). Éste tipo de respuestas, no solamente logran predecir el efecto sino, que también muestran el razonamiento temporal que el alumno hace en su mente para definir esta predicción.

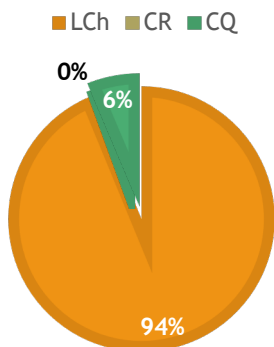
Así mismo se identifican las entidades que componen al sistema. En el EI de Nivel I el 20.69% no identifica las entidades. Regresando de nuevo a los términos de **izquierda/derecha**. Es importante mencionar esto dentro del análisis, ya que esto puede generar concepciones alternativas donde en vez de ser un equilibrio donde ambas especies coexisten, la interpretación errónea sería que tanto reactivos como productos son sistemas aislados. Esto generando una percepción donde ambas especies no se encuentran en contacto unas con otras. Incluso haciendo relación con un “balancín”, que sería un equilibrio estático y no dinámico, como es en realidad. En el caso del 32.41% sí identifica las entidades, mencionándolas en relación con el sistema. Indicando que ambas especies coexisten entre sí y por eso se refiere a ellas como reactivos o productos, no como una dirección.

Así mismo una vez mencionadas las entidades, las actividades que realizan se vuelven importantes. En las AE, el 67.59% no menciona ningún tipo de actividad en relación con las entidades. Ni siquiera el desplazamiento del sistema, ya que como se viene resaltando estas actividades definen también la actividad que realiza el sistema completo. En cambio, el 1.38% sí relaciona estas actividades con cada identidad. Describiendo el comportamiento que ellas tendrían después de la perturbación. Hacen énfasis en la reacción de los iones presentes en la disolución. Donde se resalta que por el efecto de adición habría en primera instancia un cambio en las concentraciones y posterior a eso la reacción.

Ahora, cuando se resalta este cambio en las concentraciones también se hace referencia al cambio de propiedades de cada entidad. Por lo que el PE tendría que ir de la mano con la característica anterior. Así que el 68.97% no escribe ningún tipo de propiedad para las entidades ni para el sistema. Siendo un porcentaje bastante parecido al que no identifica las propiedades. Por otra parte, el 4.14% de los estudiantes, sí hacen mención de las propiedades y su comportamiento. De igual forma, relacionan estas propiedades con la propiedad general del sistema. Estableciendo una conexión entre las propiedades particulares de las entidades con la propiedad general del sistema. Logrando entender que el sistema es la composición del conjunto de todas estas entidades. Por lo que, sí una se ve modificada todo el sistema cambiará.

En el caso de RC, muchos de los conceptos involucrados en la pregunta anterior se repiten. El 63.45% no relaciona ningún concepto para ayudarse a explicar el desarrollo del sistema. En cambio, el 4.14% utiliza otros conceptos para ayudarse a explicar cómo es el desplazamiento del sistema. Entre los más utilizados son **solubilidad** y **concentración**. Estableciendo la relación entre el cambio de concentración de la entidad con el cambio de solubilidad de la sal. Esto parece curioso, ya que desde el sistema anterior apelan a el comportamiento macroscópico del sistema. Mostrando que no solamente habría un cambio en las concentraciones si no que, sería apreciable el cambio en el sólido debido a la disminución de la solubilidad.

## MODELOS UTILIZADOS



Gráfica 9. Porcentaje de uso de los modelos.

En el caso de M, el 85.52% no utilizan un modelo. El 4.14% en cambio, no solamente utiliza el modelo si no que es una herramienta para explicar a mayor profundidad. Lo particular de este caso es que primero se derivaba una explicación acerca de cómo el cambio afectaría al sistema y después con ayuda del modelo demostraban que esa predicción sería la que se llevaría a cabo.

Sumado a eso el modelo de LeChatelier sigue siendo utilizado con gran frecuencia. Por el contrario, el menos utilizado en todos los casos ha sido el modelo de Cocientes de Reacción, ya que no se ha presentado más desde el primer sistema. En cambio, el modelo Cinético Químico sigue conservando porcentajes parecidos con los anteriores.

Ahora se tomará una respuesta al azar para realizar su análisis de manera integral.

Ejemplo:

*“Al añadir una cantidad de  $\text{Cu}^{2+}$  a la reacción provocará que haya una mayor concentración en los productos de la reacción, para compensar esto, el equilibrio de la reacción tiende hacia los reactivos. Dado que el equilibrio tiende hacia los reactivos la solubilidad disminuye.”*

Para comenzar el estudiante hace una descripción del sistema después de la perturbación. Indicando cómo es que, al añadir esa especie, el equilibrio tendería hacia alguno de los lados. El establecer esta relación entre la perturbación con el comportamiento del sistema muestra que el nivel de DFE es 3. Ya que, no solamente describe el comportamiento si no que, también hace relación de éste con el fenómeno. Para el caso de IC, el nivel también sería de 3. Parte de



establecer el efecto, seguido de cómo sería el sistema una vez realizada la perturbación, pero antes de proporcionar el efecto. Posterior a establecer ambas relaciones estas dos condiciones, da el efecto que es el desplazamiento final del sistema.

Ahora para el caso de EI, sí logra identificar las entidades. La primera aparece en forma de ión cobre(II), donde después hace referencia a ambas especies que son productos. Después mencionando a la otra entidad que son los reactivos. Generando así un nivel 3 en esta característica. De la mano de ésta, se tiene AE, cuyo nivel sería 2, ya que menciona la actividad de las entidades, pero no las relaciona con el desplazamiento final del sistema. Sí, logra mencionar la actividad general del equilibrio, pero sin establecer una relación entre actividades particulares y actividad general.

De igual forma, es crucial la mención de las propiedades de estas entidades. Por lo que, el PE tendría un nivel 3 ya que sí menciona las propiedades de las entidades. Que en este caso son la de concentración, al añadir el cobre (II), y el cambio de la solubilidad para los reactivos. Donde ambas propiedades se ven estrechamente relacionadas con el fenómeno de equilibrio y con la forma en la que se perturbó el sistema.

Sumado a esto el RC que se tiene es igual 3. Ya que los conceptos que incluye, en este caso concentración y solubilidad, sí se utilizan para explicar el comportamiento del fenómeno y no sólo como una descripción. Ya que menciona que el cambio en la concentración de productos afectará en el desplazamiento hacia reactivos, generando una disminución de la solubilidad ya que se forma un sólido.

En el caso del modelo M, alcanza un 3. Siendo el modelo de LeChatelier el que utiliza. Tiene éste nivel ya que no hace referencia a que únicamente por perturbar en productos se desplazará a reactivos. Si no que menciona que el cambio en la concentración hace que el mismo sistema se vea perturbado y necesite compensar

para regresar a un equilibrio. Usando como herramienta el modelo, no de manera arbitraria y memorística.

c) Se retira un  $x$  de  $\text{OH}^-(\text{ac})$ .

En esta perturbación de la misma manera, una de las entidades se ve involucrada de manera directa. Por lo que se esperan resultados parecidos a los obtenidos en la perturbación anterior.

Característica	Nivel I (%)	Nivel II (%)	Nivel III (%)
DFE	57.24	40.69	2.07
IC	54.48	43.45	2.07
EI	17.93	48.97	33.1
AE	61.38	37.24	1.38
PE	71.03	26.9	2.07
RC	68.28	30.34	1.38
M	83.45	13.79	2.76

Tabla 16. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel.

A pesar de que la perturbación anterior y ésta sean bastante parecidas, los porcentajes distan de ser iguales. Donde nuevamente se aprecia un descenso del nivel III con excepción de EI. Llevando a un aumento del nivel I, de nuevo mostrando que el RM no se hace presente.

Para esta perturbación los niveles de DFE son bastante parecidos al anterior. El 57.24% no describe el sistema, limitándose a frases cortas del mismo margen de **izquierda/derecha**. Por otro lado, el 2.07%, establece la descripción acerca de cómo se ve modificado el sistema después de la perturbación. Así mismo, resalta la existencia del equilibrio, buscando regresar a este estado. Es importante cuando se describe el comportamiento del fenómeno, ya que les permite desarrollar un análisis más profundo para poder predecir correctamente el desplazamiento.

En el caso de las IC, el 54.48% establece únicamente el efecto del sistema. Al momento de explicar cómo es que un sistema se modifica, el uso de condiciones

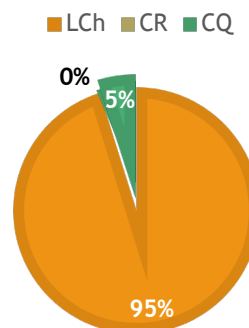
temporales no solamente habla de un antes y después del sistema. Sino que también establece ese tiempo que existe entre causa y efecto. Siendo éste el que determina cuál sería la relación entre ambos. Así mismo, da un sustento de porqué ese sería el efecto o viceversa porqué esa sería la causa. Éste tipo de condiciones solamente las planteó el 2.07%. Teniendo respuestas que involucran las tres partes causa-durante-efecto.

Sobre el mismo análisis la inclusión de EI resulta fundamental para llevarlo a cabo y la predicción del comportamiento del sistema. Muestra de eso es que el 17.93% no involucra ninguna de las entidades. A pesar de que una de ellas está directamente mencionada en la pregunta. Siendo así que el 33.1% sí las menciona. La particularidad de estas entidades es que los estudiantes hacen un énfasis en cómo es que ambas fases se ven involucradas en el sistema. Relacionando a los iones presentes en la disolución con el sólido. De la mano de las entidades, se encuentran las actividades que éstas realizan. El 61.38% de AE, no menciona ninguna actividad. Es decir, sí integra a la entidad pero no lo acompaña con nada más dejando bastante antiguo el comportamiento de ésta en el sistema. En cambio, el 1.38% hace referencia a la actividad de estas entidades como cambios importantes para el desplazamiento. Una de las actividades mencionadas con mayor énfasis es el cambio de concentración que ocurre al hacer la perturbación. Donde este cambio da paso a la entidad general del sistema que es el desplazamiento hacia alguno de los lados.

Lo mismo sucede con PE, ya que estas propiedades son las que se ven afectadas de manera directa con la perturbación. Dentro del 2.07%, la propiedad mayormente resaltada es la de concentración. Ya que como la misma pregunta lo indica, se retira una de las entidades. Por lo tanto, las concentraciones de ambas especies se verán afectadas, cambiando al inicio y al final. De igual forma pasa para el sólido, sólo que éste ve una modificación en su solubilidad. Por el contrario del 71.03% que no relaciona ninguna propiedad.

De la misma manera, en el caso de RC los conceptos que mayormente se mencionan son **concentración** y **solubilidad**. Pero se añade un concepto nuevo, no tan mencionado como los anteriores pero presente. Se hace referencia a un cambio de **pH**. La relación de éstos conceptos está dentro del 1.38%. El último concepto muestra que los estudiantes son capaces de analizar el sistema integrando diferentes equilibrios. Ya que muchas veces al enseñarse éste tema, los equilibrio se analizan de manera independiente y pocas veces se integran. Por lo que, cuando se es capaz de reconocer que un equilibrio puede describirse bajo dos modelos, debido a su comportamiento, indica que el estudiante comprendió el tema.

## MODELOS UTILIZADOS



Gráfica 10. Porcentaje de uso de los modelos.

Para el modelo M, el 83.45% no utiliza un modelo. En cambio, del 2.76% toma al modelo como una herramienta explicativa acerca del comportamiento del sistema. Para éstos últimos, no se utiliza el modelo para describir el sistema, por el contrario, los estudiantes utilizaban algunas partes para seguir con su explicación y pocas veces hacían referencia directa con el nombre del sistema. Dentro de esta misma parte, el modelo mayormente usado sigue siendo el modelo de LeChatelier, relacionando los cambios de concentraciones, pero sin establecer el cociente de reacción. El modelo de Cinética Química sigue presente en casi el mismo porcentaje que anteriormente, al igual que el de Cocientes de Reacción con 0 %.

Ejemplo:

*“Al retirar una cantidad de  $\text{OH}^-$  de la reacción, se tiene que reponer dicha pérdida, por lo cual el equilibrio de la reacción tiende hacia los productos. Dado que el equilibrio tiende hacia los productos, la solubilidad aumenta.”*

En esta respuesta, la descripción comienza indicando la perturbación que se va a realizar. Después menciona cuál sería el comportamiento del sistema una vez realizado el cambio, así mismo hace una pequeña descripción de cómo se vería modificado el sistema de manera macroscópica. Por lo que el nivel de DFE es 3. De igual forma pasa con IC, ya que indica la causa y el efecto con base en que el sistema tiene que compensar esa pérdida de concentración. Esto sin dejar de lado cómo es que se repone dicha pérdida que es con el desplazamiento del sistema. Así que el nivel es 3.

Por otro lado, menciona las entidades que intervienen en el sistema. Teniendo un nivel 3, lo que comienza con la mención de hidroxilos como ión que se retira. Posteriormente menciona a los productos, no sólo interviniendo los hidroxilos sino ambas especies que se encuentran como productos. En cambio, para AE solamente menciona la actividad general del sistema y no establece actividad de otras entidades mencionadas. Teniendo así un nivel 2.

De la mano con las actividades, se encuentran las PE. De la misma manera solamente menciona una propiedad que es el cambio en la solubilidad del sólido. Sin mencionar cuál propiedad se verá afectada al momento de retirar dicha sustancia del sistema. Dejando así solamente un nivel 2.

En RC, el nivel sigue en 2. Ya que menciona conceptos como la **solubilidad**, pero no establece una relación amplia acerca de porqué ésta se ve modificada después de la perturbación quedando más como un término descriptivo del sistema más que un concepto que permita relacionar el comportamiento del sistema con la perturbación.

En el caso de M, sí utiliza un modelo que es el de LeChatelier. Aunque no es mencionado directamente, sí hace énfasis en un cambio del sistema con relación a retirar un x de alguna especie, prediciendo con base en ello. Por lo que el nivel sería 3 ya que sí lo utiliza como herramienta y no como una justificación.

d) Se retira un x de  $\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s})$

Esta pregunta es bastante parecida a la que se realizó en el sistema anterior. Esto es para mostrar la importancia del sólido en éstos sistemas.

Característica	Nivel I (%)	Nivel II (%)	Nivel III (%)
DFE	59.31	39.31	1.38
IC	57.93	39.31	2.76
EI	33.1	35.86	31.03
AE	66.9	28.97	4.14
PE	77.24	18.62	4.14
RC	77.24	22.07	0.69
M	88.28	10.34	1.38

*Tabla 17. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel.*

Igual que la tabla anterior, el porcentaje en nivel III vuelve a descender de manera drástica. El porcentaje en nivel I sigue siendo bastante alto, con la excepción de EI. De nuevo, se observa que el RM está poco presente por no decir ausente.

Caso contrario al sistema anterior el 59.31% de DFE está caracterizado por respuestas donde se indicaba que no le sucedía nada al sistema mientras el sólido no se retirara completamente. Esto puede ser ya que sí, esta fase no tiene una concentración por lo que el cambio en el sólido no afectaría al sistema siempre y cuando haya presencia de este. Lo malo es que no se argumenta éste tipo de respuestas por lo que quedan en un nivel I en todas las categorías. Para el 1.38% sí hacen una descripción del comportamiento del sistema con esa perturbación. Aquí cabe mencionar que algunos apelaban al cambio de concentración del sólido al momento de describir el sistema. Mostrando una concepción alternativa relacionada con concentración.

Para el caso de IC, el 2.76% hace buenas relaciones temporales entre la perturbación y el desplazamiento. Describiendo incluso cómo es que el sistema se desarrolla antes de realizar el desplazamiento general a modo de recuperar lo retirado. En cambio, el 57.93% de nuevo solamente mencionan el efecto. Algo que es apreciable en esta pregunta es que el planteamiento de las condiciones

temporales se ve mayormente afectado para éste tipo de perturbaciones. Ya que muchos de los estudiantes consideran que el sólido no tiene importancia en el equilibrio. Esto puede ser debido a que, como no aparece en la constante, entonces no se considera para el equilibrio.

En el caso de las entidades mencionadas, el 31.03% integra las entidades al comportamiento del fenómeno. Mencionando al sólido como parte de ellas al igual que los iones que se encuentran en disolución. Ya sea como productos/reactivos, iones o la escritura de ellos como iones. De igual forma relaciona estas entidades con el fenómeno. En cambio, el 33.1% no menciona ninguna de las entidades, regresando de nuevo a los términos de izquierda/derecha.

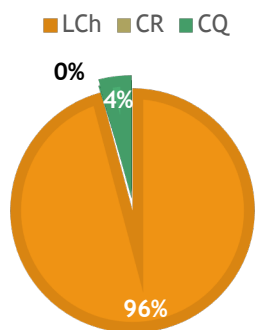
De la mano de las entidades entra AE, donde el 66.9% no menciona ninguna actividad tanto de las entidades como del sistema. Retomando lo anteriormente mencionado, donde se dice que al no retirar todo el sólido el sistema no tendría por qué modificarse de ninguna forma. Por otro lado, el 4.14% sí menciona las actividades. Cuando se relaciona las actividades en estas preguntas, el estudiante hace un énfasis en que el sólido sigue siendo parte del equilibrio aunque no esté relacionado con la constante. Por lo que las otras entidades reaccionaran como actividad para compensar esta pérdida.

Al igual que la pregunta anterior, cuando las entidades realizan ciertas actividades, las PE se ven afectadas. Siendo así que el 4.14% sí menciona las propiedades; las mayormente mencionadas son la concentración de los iones y la solubilidad del sólido. Estas propiedades reflejan que a pesar de no estar reflejado el sólido como parte de la constante de reacción, sí es parte del sistema. Siendo así que el estudiante lo considere y asigna una importancia, aunque no sea un caso de análisis muy común. Tanto que algunos mencionan que sí se retira de manera total el sólido el sistema cambiaría completamente. Pasando de un sistema en equilibrio a una disolución saturada.

Esto conlleva a la RC, donde se integran varios conceptos tanto para explicar como para describir el fenómeno. El 0.69 % integra conceptos que se relacionan

con el fenómeno y ayuda de la misma forma a explicar el desplazamiento. Siendo los conceptos mayormente integrados **concentración, solubilidad y iones**. Cabe mencionar que en las respuestas donde se mencionan éstos conceptos, son utilizados para describir el comportamiento de dicho fenómeno. Particularmente cuando se menciona el concepto de solubilidad, el estudiante también es capaz de describir al sistema de manera macroscópica. Muestra de esto es que se tiene un razonamiento aún más profundo del sistema y una visualización más allá de la teórica.

### MODELOS UTILIZADOS



Gráfica 11. Porcentaje de uso de los modelos.

Para el modelo M de esta pregunta, el 88.28% no utiliza ningún modelo para ayudarse a explicar su sistema. En cambio, el 1.38% sí utiliza el fenómeno como una herramienta. Cabe mencionar que para no se mencionó el modelo de manera directa para explicar el sistema.

Por otro lado, el modelo que sigue con mayor frecuencia es el modelo de LeChatelier. De igual forma sigue presente casi al mismo porcentaje que en los demás casos.

Ejemplo:

*“Se desplaza a la formación del compuesto. Disminuye la concentración de iones debido a que reaccionan en el sentido inverso de la disociación para compensar la falta del hidróxido.”*

La descripción del sistema, que hace el estudiante, solamente se basa en mencionar el cambio que tendría el fenómeno después de la perturbación. No profundiza más allá en el comportamiento ni en porqué éste sería el desplazamiento del sistema. Por lo que el DFE sería de nivel 2. En el caso de IC el nivel sería 1, ya que solamente menciona el efecto sin decir nada del sistema



antes de la perturbación ni de la perturbación. Enfocándose únicamente en el efecto.

Por otro lado, en el caso de EI el nivel es 1. Esto es porque no hace mención directa de ninguna entidad. Sí incluye a los iones, pero es necesario que el estudiante identifique a qué sustancia pertenecen esos iones. De lo contrario será difícil llevar a cabo la predicción del desplazamiento del sistema. Por lo tanto, al no tener entidades, AE y PE tendrían un nivel 1. Pero PE sí logra mencionar el cambio de concentración, pero sin relacionar con el fenómeno, por lo que el nivel es 2.

Por otro lado, el RC igual es de nivel 2, ya que los conceptos que integran solamente son utilizados de manera descriptiva y no para explicar el sistema. Para el M el nivel sería de 2, apela a la reacción inversa de cuando cambia la concentración de iones. Esto es claro para el modelo de LeChatelier y al mismo tiempo solamente con esta frase justifica el desplazamiento.

e) Se retira un x de  $H^+(ac)$

Al contrario de preguntas anteriores ésta en particular cuestiona sobre el cambio en una entidad que no aparece directamente en el sistema. Por lo que se necesita que el estudiante establezca una relación aún más profunda para analizar el caso.

Característica	Nivel I (%)	Nivel II (%)	Nivel III (%)	No hay respuesta (%)
DFE	68.97	24.83	1.38	4.82
IC	58.62	31.03	4.14	6.21
EI	33.79	36.55	24.83	4.83
AE	70.34	22.07	2.76	4.83
PE	52.41	39.31	3.45	4.83
RC	77.93	14.48	2.76	4.83
M	85.52	9.66	4.83	0

Tabla 18. Relación de porcentaje entre característica de RM y su nivel.

Es importante mencionar que para éste caso, no se cuenta con un 100 % en la suma de porcentajes de los niveles. Esto es debido a que las respuestas restantes no contestaban nada o con frases del estilo “Hay H<sup>+</sup>???” , “-“, etc. Por lo que se omitieron esas respuestas para las propiedades del RM, ya que ni siquiera entrarían en Nivel I. Por otro lado. Los porcentajes que se muestran siguen siendo en su mayoría hacia el nivel I con excepción de EI.

Para el DFE se buscaba que estableciesen una relación entre esta entidad que no está mencionada y el sistema. Desarrollando cómo es que afectaría la perturbación. El 68.97% no describe de ninguna forma el fenómeno ni su relación con dicha entidad. En cambio, el 1.38% sí establece la relación donde el H<sup>+</sup> afecta al sistema por medio de la relación establecida. La descripción de esta relación resulta bastante relevante ya que el estudiante es capaz de relacionar los distintos equilibrios entre sí. Que en éste caso es el equilibrio ácido-base con el de solubilidad.

Para las condiciones sucede lo mismo que en sistemas anteriores. El 4.14% sí relaciona ambas condiciones temporales. Partiendo de la perturbación, posterior a eso indicando el comportamiento de la perturbación y finalizando con el desplazamiento. Resaltando la importancia de establecer las condiciones, para predecir y de la misma forma comprender cómo es el comportamiento del fenómeno.

En el caso de las entidades (EI), el 24.83% sí logra relacionar las entidades con el fenómeno. Incluso relacionando las entidades entre sí, como es el caso de los protones con el hidroxilo. Lo cual añade un nivel mayor de razonamiento al estudiante ya que no lo ve como casos aislados, sino que es capaz de establecer una conexión entre ambos. De igual forma sucede con las AE, ya que dicha entidad al realizar cierta actividad, las actividades de otras especies también se verán afectadas. Por lo que el 24.83% establece dichas actividades, no solamente relacionadas con el fenómeno sino también relacionadas con otras entidades.

Teniendo respuestas donde plantean la influencia del protón en las actividades de otras entidades después de la perturbación.

Lo mismo sucede para PE, ya que al plantear las propiedades de cada una de las entidades permite desarrollar las propiedades generales del sistema. Así que el 3.45% plantea estas propiedades, con base en la concentración o las mismas propiedades ácido-base del sistema. Donde relaciona cómo el cambio de concentración de hidroxilos está directamente relacionado con el cambio de concentración de protones. Indicando un nivel de conexión de conceptos.

Por lo que en el RC el 2.76 % sí integra conceptos como **pH**, **Kw** e incluso **solubilidad**. Donde se demuestra que el desarrollo de éstos conceptos para explicar, relaciona múltiples cuestiones como lo es el carácter del fenómeno y las propiedades de cada especie.

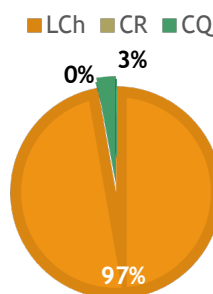
En el caso de M, el 4.83% sí utiliza el modelo como herramienta. Para esta pregunta en específico ese porcentaje utiliza solamente algunas partes para explicar el sistema. Es decir, menciona algunas de las componentes de modelo y se apoya en el mismo para relacionar la predicción con la descripción hecha.

El modelo de LeChatelier sigue siendo el mayormente utilizado. Sin embargo, aquellos que utilizaron éste modelo sin establecer la relación entre entidades dan una predicción incorrecta. Caso contrario para aquellos que utilizaron el modelo Cinético Químico ya que la mayoría de ellos establecieron primero la relación.

Ejemplo:

*“Al quitar  $H^+$  el pH aumenta y por ende aumenta la concentración de  $OH^-$  los cuales generan que se desplace hacia reactivos ya que necesita aumentarlos para mantener el equilibrio ante el aumento en los productos”*

### MODELOS UTILIZADOS



Gráfica 12. Porcentaje de uso de los modelos.

En este ejemplo el DFE es nivel 2, ya que a pesar de describir el comportamiento del sistema la descripción queda muy ambigua ya que no justifica a profundidad. Sin embargo, en el caso de IC sí establece ambas condiciones temporales partiendo de la causa indicando el cambio en protón. Después da el desplazamiento del con una relación establecida de cómo es que se comporta el sistema antes del efecto. Por lo tanto, el nivel es 3.

En el caso de las EI, sí menciona las entidades que están relacionadas con el sistema. De igual forma establece la relación entre las entidades, ya que indica cómo es que el cambio de protones tiene influencia en la concentración de hidroxilos. Siendo así que el nivel es 3. De la mano con esta característica están las actividades que realizan. Aquí las actividades se muestran primero mencionando el aumento de la concentración de hidróxido. Posterior a eso relaciona el desplazamiento general del sistema con la actividad inicial. Teniendo un nivel 3.

## **Conclusiones.**

Con base en los resultados obtenidos, se puede determinar que sí existe el Razonamiento Mecanístico en las justificaciones sobre el tema de Equilibrio Químico. Sin embargo, la población en la que se presenta el RM no dista más allá de 3 o 4 estudiantes. En algunos alumnos, la capacidad de justificación se encuentra mayormente desarrollada que en otros. Siendo éste determinante para identificar el RM, ya que dentro de una buena justificación es la que permite mostrar, no sólo el entendimiento del tema si no la capacidad de razonamiento que presenta el estudiante. Es por lo que el análisis se pudo llevar a cabo con ayuda de la rúbrica de evaluación dividida en tres niveles. Donde el nivel más alto consta de encontrar esta característica en su totalidad, así mismo como la presencia del RM.

Es necesario trabajar más en éste tipo de habilidad científicas. Ya que una justificación que permita sustentar las respuestas no solamente es una herramienta, si no que muestra que tanto dominio sobre el tema tiene el estudiante. En particular el RM, sí requiere de una justificación para poder ser determinado con claridad. Ejemplo de eso son la gran cantidad de respuestas donde no había justificación alguna, haciendo que únicamente se alcanzara el Nivel I.

En relación con las características del RM, la única con niveles apreciables y constantes alrededor de todas las preguntas fue EI. Cabe destacar que, para el EQ el lograr identificar las entidades que lo componen resulta fundamental para realizar la predicción de desplazamiento, así como un análisis general del sistema. De manera relevante, el momento en que un estudiante es capaz de identificar dichas entidades resulta de gran peso para trabajar con el equilibrio. Ya que, desencadena una serie de conexiones entre dichas entidades y el sistema en conjunto. Al ser ésta la característica con mayor porcentaje, se esperaría que cada estudiante (dentro de ese porcentaje) fuera capaz de realizar un análisis más profundo que otros. Sin embargo, solamente identifica sin hacer relación alguna

con el sistema general u otras entidades. Pareciera que únicamente se centran en la existencia de éstos de una manera memorística y no con una presencia fundamental como componentes del sistema. No obstante, el identificar las entidades del sistema no es una señal de la existencia del RM. Ya que, sería necesario la conjunción de todas las características para indicar que existe dicho razonamiento. Siendo así, que a pesar del alto porcentaje en los resultados esto no va de la mano con la existencia del RM.

Es de suma importancia resaltar cómo es que el nivel I era predominante en el análisis. Esto es preocupante porque se puede apreciar que en la población en general el RM está ausente. Mostrando que en muchas de las respuestas proporcionadas, no había un razonamiento si no más una respuesta memorística con base en algún modelo. Es aquí donde toma importancia la implementación de ejercicios de análisis y no sólo de cálculo de equilibrio.

Ésta ausencia de RM en los estudiantes, se ve reflejada por el porcentaje bajo en el nivel III. El identificar éstos porcentajes se vuelve algo complejo debido a la abstracción del tema. Por lo que al momento de realizar el análisis se volvió fundamental el uso de la rúbrica. Sumado a eso, no existe otra rúbrica enfocada en el tema de Equilibrio Químico. Por lo tanto ésta rúbrica permite clasificar con base en el RM las respuestas obtenidas. Sin embargo, para la última respuesta sí fue necesario especificar que algunos estudiantes no habían respondido. Por lo que, se podría agregar como un Nivel 0 para éste tipo de casos.

En cambio, éstos equilibrios específicamente lograron no solamente mostrar dentro de sus justificaciones la presencia del RM. Sí no que, al mismo tiempo dieron paso a la identificación de ciertas deficiencias de aprendizaje. Entre las que destacan:

- ❖ El poco reconocimiento de las entidades como parte del sistema. En el momento donde se buscaba identificar las entidades, muchas de estas respuestas se reducían a decir “izquierda/derecha”. En general una concepción alternativa, donde el estudiante puede interpretar que dentro del

sistema no están coexistiendo ambas especies. Sino que, podría ser que estén en contenedores diferentes. Cosa que no es así.

- ❖ Propiedades de las entidades. En éste caso, como ya se viene resaltando, las propiedades de ciertas especies son determinantes para que se lleve a cabo el equilibrio. Aquí existen dos deficiencias. La primera es que no logran identificar las propiedades, al no hacerlo el estudiante no identifica qué es lo que está cambiando de esa especie. Haciendo relaciones incorrectas y por consecuencia predicciones erróneas.

Por otra parte, el adjuntar propiedades que no corresponden a ciertas especies, ésto en específico salió a resaltar en los equilibrios heterogéneos. Donde una parte de los estudiantes mencionaban en repetidas ocasiones que el sólido modificaba su concentración. Siendo éste uno de los errores más graves, porque el estudiante no está reconociendo las especies y sus propiedades. Si no que, su respuesta se basa en una memorización de algún principio que indica el cambio de concentración de todas las especies en ciertas perturbaciones.

- ❖ Por último, la no existencia de ciertas especies en el sistema. Esto fue apreciable en el tercer equilibrio, en la última perturbación. Erróneamente los estudiantes creen que, por existir iones, en éste caso, hidroxilo en el sistema automáticamente dejan de existir los iones hidronio. Cuando claramente no es así, ya que existe un pequeño porcentaje de éstos últimos. Ahora, esto también se puede dar debido a que el estudiante no es capaz de visualizar los equilibrios de distintas maneras. Donde un mismo sistema puede tener más de un carácter como equilibrio químico. Esto puede ser generado por la forma de enseñanza del mismo tema, donde se presentan los equilibrios de manera independiente y no integrándolos entre sí.
- ❖ También se resalta el uso de los modelos como justificación. En muchas de las respuestas, al momento de dar la predicción se acompañaba de una parte diciendo “Ya que así lo indica el modelo X”. Esto es un punto importante que mencionar. Porque cuando esto sucede, en muchos casos el estudiante nada

más memoriza lo que el modelo dice sin razonarlo para aplicarlo. Por lo que, al momento de que se le pide una justificación para sustentar su predicción utilizan esta respuesta. Indicando una falta de comprensión del mismo tema y también dando paso a predicciones incorrectas. Ya que, algunos modelos de forma general predicen de manera correcta, pero algunos equilibrios se necesitan analizar más a profundidad para predecir. Es relevante de mencionar, que así como los modelos son herramientas de predicción, también presentan ventajas y desventajas.

Muchas veces cuando se utiliza el modelo de LeChatelier, se aprecia en las respuestas solamente una predicción por memorización. Sin un análisis del sistema y sus componentes, por lo que las respuestas suelen ser ambiguas. Esto es debido a que el estudiante se centra únicamente en el cambio de las concentraciones en relación con la perturbación, pero sin analizar cómo es que se verían afectadas. Así mismo, cuando hay sistemas heterogéneos el modelo no hace referencia a fases condensadas, por lo que sí se perturba dicha fase, los estudiantes recurren a mencionar una concentración. Generando una de las concepciones alternativas más problemáticas, la “concentración” en sólidos. Pero ésta desventaja no sólo aplica al modelo de LeChatelier, sino, también afecta a todos los demás modelos. Ya que todos mencionan que las fases condensadas no se toman en cuenta. Sin embargo, sí es importante la presencia de ellas como parte del sistema. Por lo que, es prudente mencionar eso a los estudiantes.

Por lo que se podría decir que éstos equilibrios permitieron no solamente identificar el RM, si no que también mostraron algunas de las deficiencias que tienen los alumnos respecto a éste tema. Éste tipo de cuestionarios más descriptivos donde el estudiante tiene la libertad de explicar y argumentar, funcionan para identificar éste tipo de cosas. Por lo que podría ser un buen ejercicio para que el profesor analice el desarrollo del grupo frente al tema y así mismo al encontrar errores, retomarlos para eliminarlos conforme se trabaja. Desgraciadamente el cuestionario toma tiempo, tanto de análisis como de



aplicación. Por lo que se verá limitada su aplicación en la materia, debido a los horarios restringidos que tiene.

## **Bibliografía.**

- Anderson, C. W., Mashood, K. K., Matz, R., Sawtelle, V., Scott, E. E., Underwood, S. M. (2018). Developing an Analytical Framework to Characterize Student Reasoning about Complex Processes. *CBE - Life Sciences Education*, 17(3).
- Becker, N., Cooper, M., Noyes, K. (2016). Characterizing Students' Mechanistic Reasoning about London Dispersion Forces. *Journal of Chemical Education*, 93(10), 1713-1724.
- Bhattacharyya, G. (2013). From Source to Sink: Mechanistic Reasoning Using the Electron-Pushing Formalism. *Journal of Chemical Education*, 90(10), 1282-1289.
- Caspari, I., Graulich, N., Kranz, D. (2018). Resolving the Complexity of Organic Chemistry Students' Reasoning through the Lens of a Mechanistic Framework. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(4), 1117-1141.
- Chin, C., Brown, D. E. (2000). Learning in science: A comparison of deep and surface approaches. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(2), 109–138.
- Colvin, R. A., Cooper, M. M., Kararo, A. T., Underwood, S. M. (2019). Predictions and Constructing Explanations: An Investigation into Introductory Chemistry Students' Understanding of Structure-Property Relationships. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(1), 316-328.
- Cooper, M. M., Kouyoumdijan, H., Underwood, S. M. (2016). Investigating Students' Reasoning about Acid-Base Reactions. *Journal of Chemical Education*, 93(10), 1703-1712.
- Finley, F.N., Stewart, J., Yarroch, W.L., (1982) Teachers' perceptions of important and difficult science content, *Science Education*, Vol. 66(4), pp. 531-538.
- Glennan, S. (2002). Rethinking mechanistic explanation. *Philosophy of Science*, 69 (3), S342-S353.
- Grotzer, T. (2003). Learning to Understand the Forms of Causality Implicit in Scientifically Accepted Explanations. *Studies in Science Education*, 39(1), 1-74.

Hernando, M. (2003). Comprensión del equilibrio químico y dificultades en su aprendizaje. *Enseñanza de la ciencias*, número extra, 111-118.

Howkin, J., Glasziou, P., Aronson, J.K. (2010). Evidence-based mechanistic reasoning. *Journal of the Royal Society of Medicine*, (103), 433-441.

Ionas, I. G., Jonassen, D. H. (2008). Designing Effective Supports for Causal Reasoning. *Educational Technology Research and Development*, 56(3), 287-308.

Langbeheim, E. (2015). Reinterpretation of Students' Ideas When Reasoning about Particle Model Illustrations. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(3), 697-700.

Marzabal, A., Moreira, P., Talanquer, V. (2018). Using a Mechanistic Framework to Characterise Chemistry Students' Reasoning in Written Explanations. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(1), 120-131.

Pozo, J.I., Gómez Crespo, M. A., Limón, M., Sanz Serrano, A. (1991). Procesos Cognitivos en la Comprensión de la Ciencia: Las Ideas de los Adolescentes sobre la Química. C.I.D.E.

Quílez Pardo, J., Sanjosé López, V. (1995). Errores conceptuales en el estudio del equilibrio químico: nuevas aportaciones relacionadas con la incorrecta aplicación del principio de Le Chatelier. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas.*, 13(1), 72-80.

Quílez, J., Solaz, J. (1995). Students' and Teachers' Misapplication of Le Chatelier's Principle: Implications for the Teaching of Chemical Equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(9), 939-957.

Robertson, A. D., Scherr, R. E. (2015). Productivity of "Collisions Generate Heat" for Reconciling an Energy Model with Mechanistic Reasoning: A Case Study. *Physical Review Special Topics- Physics Education Research*, 11(1), 010111-1 - 010111-16.

Russ, R., Hammer, D., Mikeska J. (2008). Recognizing Mechanistic Reasoning in Student Scientific Inquiry: A Framework for Discourse Analysis Developed From Philosophy of Science. *Wiley Periodicals*, (92), 499-525.

Talanquer, V., Weinrich, M. (2016). Mapping Students' Modes of Reasoning When Thinking about Chemical Reactions Used to Make a Desired Product. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(2), 394-496.

Talanquer, V. (2010). Exploring Dominant Types of Explanations Built by General Chemistry Students. *International Journal of Science Education*, 32(18), 2393-2412.

Wesley, S. (1978). Why Ask, "Why?"? An Inquiry concerning Scientific Explanation. *Proceedings and Addresses of the American Philosophical*, 51(6), 683-705.