



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

CAMPO DE CONOCIMIENTO QUÍMICA

**PREGUNTAS DE DOBLE ESCALÓN COMO DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE DEL
EQUILIBRIO QUÍMICO EN ALUMNOS DE BACHILLERATO.**

TESIS

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR**

PRESENTA

MARÍA DEL ROCÍO MÉNDEZ DE JESÚS

TUTORA:

**DRA. GLINDA IRAZOQUE PALAZUELOS
FACULTAD DE QUÍMICA**

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:

**DRA. AURORA DE LOS ÁNGELES RAMOS MEJÍA
FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM**

**DR. ADOLFO EDUARDO OBAYA VALDIVIA
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN, UNAM**

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX, JUNIO 2023



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.

Agradecimientos y Dedicatorias

Todo el trabajo realizado fue posible gracias al apoyo incondicional de la Dra. Glinda Irazoque gracias por tu inconmensurable paciencia, comprensión y apoyo académico.

A la Dra. Aurora de los Ángeles Ramos, Dr. Adolfo E. Obaya, Dr. Rodolfo Gómez y el Dr. Plinio Sosa por sus acertados comentarios que enriquecieron este trabajo de investigación.

A mis queridos padres por su incondicional apoyo durante el estudio de la maestría.

A mi amado esposo que estuvo a mi lado apoyándome en esta aventura, a mi hijo Oliver por su inagotable amor.

Resumen

El estudio del equilibrio químico en el bachillerato es un conocimiento fundamental que los alumnos requieren para resolver problemas teórico-prácticos, sin embargo, los estudiantes presentan grandes dificultades de comprensión debido a las deficiencias conceptuales y epistemológicas de la enseñanza tradicional. Las pruebas que contienen preguntas de doble escalón contribuyen al desarrollo de la investigación educativa de las concepciones alternativas y las dificultades de aprendizaje, y permiten a los maestros planificar su instrucción y reestructurarla.

Esta investigación se realizó con el objeto de identificar concepciones alternativas, evaluar el aprendizaje del concepto equilibrio químico en el bachillerato y desarrollar una prueba de dos escalones de opción múltiple, mediante el diseño y aplicación de un instrumento de evaluación de dos escalones, con el segundo escalón de pregunta abierta.

El instrumento de evaluación de doble escalón con pregunta abierta resultó ser una herramienta efectiva capaz de identificar concepciones alternativas, el grado de comprensión de los conocimientos del equilibrio químico y las ideas que construyeron los estudiantes de manera antecedente y después de la instrucción. Permitted recolectar la información suficiente para desarrollar una nueva prueba de evaluación con preguntas de doble escalón de opción múltiple que permitirá identificar con mayor precisión las ideas de los alumnos, dificultades de aprendizaje, concepciones alternativas y el grado de comprensión del conocimiento del equilibrio químico.

Palabras clave: Equilibrio químico, concepciones alternativas, preguntas de doble escalón, evaluación del aprendizaje.

Abstract

The study of chemical equilibrium in high school is a fundamental knowledge that students require to solve theoretical-practical problems; however, students present great difficulties of understanding due to the conceptual and epistemological deficiencies of traditional teaching. Tests containing two-tier questions contribute to the development of educational research on alternative conceptions and learning difficulties, allow teachers to plan their instruction and restructure it.

This research was conducted to identify alternative conceptions, evaluate the learning of the concept of chemical equilibrium in high school, and develop a two-tier multiple-choice test by designing and applying a two-tier assessment instrument with the second tier as an open-ended question.

The two-tier assessment instrument with open-ended question proved to be an effective tool capable of identifying alternative conceptions, the degree of understanding of the knowledge of chemical equilibrium and the ideas that students constructed antecedently and after the instruction. It allowed collecting enough information to develop a new assessment test with double-step multiple-choice questions that will allow identifying with greater precision the students' ideas, learning difficulties, alternative conceptions and the degree of understanding of the knowledge of chemical equilibrium.

Key words: Chemical equilibrium, misconceptions, two-tier questions, assessment of learning.

Índice

| | |
|---|----|
| Introducción | 6 |
| Planteamiento del problema | 7 |
| Objetivo general | 8 |
| Objetivos específicos | 8 |
| Preguntas de investigación | 8 |
| Capítulo 1 Evaluación del aprendizaje | 9 |
| 1. La evaluación del aprendizaje en ciencias. | 9 |
| 1.1 El proceso de evaluación. | 9 |
| 1.1.1 Primera fase: Obtener información | 10 |
| 1.1.2 Segunda fase: Formular juicios. | 11 |
| 1.1.3 Tercera fase: Tomar decisiones. | 11 |
| 1.2 Momentos de la evaluación. ¿Cuándo evaluar? | 11 |
| 1.3 Funciones de la evaluación. ¿Para qué evaluar?..... | 13 |
| 1.4 Objetivos de la evaluación ¿Qué evaluar? | 15 |
| 1.4.1 Conocimientos conceptuales. | 16 |
| 1.4.2 Conocimientos procedimentales. | 17 |
| 1.4.3 Conocimientos actitudinales..... | 19 |
| 1.5 Metodologías de evaluación cuantitativa y cualitativa. ¿Cómo evaluar? | 21 |
| 1.6 Agentes de la evaluación ¿Quién evalúa?..... | 22 |
| 1.7 ¿Para qué evaluar? | 23 |
| 1.7.1 La evaluación en ciencias..... | 24 |
| Capítulo 2 Evaluación. | 26 |
| 2. Técnicas e Instrumentos de evaluación | 26 |
| 2.1 Técnicas de evaluación. | 26 |
| 2.2 Instrumentos de evaluación. | 28 |
| 2.3 Preguntas de opción múltiple. | 32 |
| 2.3.1 Prueba diagnóstica de dos escalones | 35 |
| 2.3.2 ¿Qué son las preguntas de doble escalón?..... | 36 |
| 2.3.3 Materias y temas en las que se han aplicado pruebas de doble escalón. | 39 |
| 2.3.4 Preguntas de doble escalón reportadas en la literatura científica. | 40 |
| 2.3.5 Ventajas y desventajas de las pruebas con preguntas de doble escalón. | 44 |
| 2.3.6 Evaluación de los resultados obtenidos a través de las pruebas de doble escalón. | 45 |
| Capítulo 3 Equilibrio químico..... | 46 |
| 3. Enseñanza del equilibrio químico. | 46 |
| 3.1 Enseñanza del equilibrio químico en el bachillerato universitario. | 46 |
| 3.1.1 Enseñanza del equilibrio químico en la Escuela Nacional Preparatoria (ENP). | 46 |
| 3.1.2 Enseñanza del equilibrio químico en la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades (ENCCH). | 47 |
| 3.2 Concepto de equilibrio químico..... | 50 |
| 3.3 Dificultades de enseñanza y aprendizaje del equilibrio químico | 52 |
| 3.4 ¿Cómo surgen las concepciones alternativas?..... | 54 |
| 3.5 Concepciones alternativas del equilibrio químico | 56 |
| Capítulo 4 Metodología | 59 |
| 4. Descripción de la metodología. | 59 |
| 4.1 Fases de trabajo..... | 59 |

| | |
|--|-----|
| 4.1.1 Fase 1. Primera etapa: Análisis de los programas de estudio del bachillerato universitario. | 60 |
| 4.1.2 Fase 1. Segunda etapa: Análisis de libros de texto utilizados en Nivel Medio Superior, para la enseñanza del concepto equilibrio químico. | 62 |
| 4.1.3 Fase 1. Tercera etapa: Identificación de las concepciones alternativas del equilibrio químico en alumnos de bachillerato..... | 67 |
| 4.1.4 Fase 2, primera etapa. Selección de conceptos del equilibrio químico a evaluar. | 69 |
| 4.1.5 Fase 2, segunda etapa. Construcción del primer instrumento de evaluación..... | 70 |
| 4.1.6 Fase 3, primera etapa. Aplicación del primer instrumento de evaluación y actividades de aprendizaje..... | 73 |
| 4.1.7 Fase 3, segunda etapa. Construcción del segundo instrumento de evaluación..... | 74 |
| 4.1.8 Fase 3 tercera etapa. Análisis de la respuesta abierta. | 77 |
| 4.1.9 Fase 4 primera etapa. Construcción del instrumento de evaluación con preguntas de dos escalones de opción múltiple. | 77 |
| Capítulo 5 Análisis de resultados. | 83 |
| 5. Análisis de las respuestas en los instrumentos de evaluación. | 83 |
| 5.1 Análisis general del primer instrumento de evaluación..... | 83 |
| 5.1.1 Características del equilibrio químico. Preguntas 1, 6 y 7..... | 84 |
| 5.1.2 Constante de equilibrio. Preguntas 3, 7, 8, 9 y 10. | 84 |
| 5.1.3 Principio de Le Chatelier. Preguntas 2, 4, 5. | 85 |
| 5.2 Análisis general del segundo instrumento de evaluación. | 85 |
| 5.2.1 Características del equilibrio químico. Preguntas 1, 4, 10, 11, 12, 13, 15 y 16. | 86 |
| 5.2.2 Constante de equilibrio. Preguntas 2, 3, 5, 6, 7, 8 y 9..... | 86 |
| 5.2.3 Principio de Le Chatelier. Pregunta 14..... | 87 |
| 5.3 Análisis por pregunta-escalón del segundo instrumento de evaluación..... | 87 |
| 5.3.1 Equilibrio dinámico. Preguntas 1, 10 y 11..... | 87 |
| 5.3.2 Características del equilibrio químico. Preguntas 4, 12, 13, 15 y 16. | 89 |
| 5.3.3 Constante de equilibrio. Preguntas 2, 3, 5, 6, 7, 8 y 9..... | 91 |
| 5.3.4 Principio de Le Chatelier pregunta 14..... | 93 |
| 5.4 Comparación de las respuestas de los estudiantes de la primera y segunda evaluaciones. | 94 |
| 5.4.1 Argumentos del Equilibrio dinámico..... | 95 |
| 5.4.2 Argumentos del Equilibrio químico..... | 95 |
| 5.4.3 Argumentos de la constante de equilibrio..... | 95 |
| 5.5 Identificación de las concepciones alternativas en el grupo de estudio. | 96 |
| 5.6 Evaluación del conocimiento del equilibrio químico en el grupo de estudio. | 98 |
| 5.6.1 Construcción del conocimiento para el concepto de equilibrio dinámico. | 98 |
| 5.6.2 Construcción del conocimiento para el concepto de equilibrio químico. | 99 |
| 5.6.3 Construcción del conocimiento para el concepto de constante de equilibrio | 99 |
| 5.6.4 Construcción del conocimiento para el concepto de principio de Le Chatelier | 100 |
| Capítulo 6 Conclusiones..... | 102 |
| Interferencias del estudio..... | 106 |
| Anexo 1..... | 107 |
| Anexo 2..... | 133 |
| Anexo 3..... | 145 |
| Anexo 4..... | 154 |
| Bibliografía | 173 |

Introducción

El estudio del equilibrio químico en el bachillerato es un conocimiento fundamental que los alumnos requieren en los primeros semestres de las licenciaturas del área I y II para resolver problemas teórico-prácticos sobre temas diversos como: disoluciones, pH, reacciones ácido-base, disoluciones amortiguadoras, constante de equilibrio, cambios energéticos en reacciones químicas, corrosión de metales, reacciones de precipitación, polímeros sintéticos y naturales, etc. (Quilez *et al.*, 1993).

Los problemas de aprendizaje relacionados con el equilibrio químico se deben a que este contiene conceptos abstractos, se utilizan palabras del lenguaje cotidiano, pero con significado diferente, los estudiantes tienden a pensar que el equilibrio químico es el mismo que el equilibrio que encuentran en física y en la vida cotidiana. La dificultad para comprender estos conceptos puede impedir que los estudiantes logren un aprendizaje significativo y como resultado desarrollen concepciones alternativas. (Annisa y Rohaeti (2018); Omilani y Elebute (2020); Kurniawan *et al.*, 2020)

En los docentes recae la responsabilidad de alfabetizar científicamente a los estudiantes, promover una cultura científica básica que les permita comprender los fenómenos que ocurren en la naturaleza. Los estudiantes necesitan adquirir habilidades para la vida que les permitan relacionarse con su entorno, que cambia constantemente gracias a la ciencia y la tecnología, lo que hace necesario emplear una metodología de evaluación que favorezca el aprendizaje significativo y permita optimizar el proceso de enseñanza. Las pruebas que contienen preguntas de doble escalón cuyas opciones fueron diseñadas con base en las concepciones alternativas identificadas en los estudiantes, no sólo contribuyen al desarrollo de la investigación educativa de las concepciones alternativas y las dificultades de aprendizaje, sino también permite a los maestros planificar su instrucción y reestructurarla sobre la base de los resultados de estos estudios.

Según Treagust (1988), el diseño de un instrumento de dos escalones debe tener tres etapas, donde se definen los conceptos del tema específico que se desea enseñar, con ellos se construye un marco de referencia de acuerdo con un mapa conceptual y los argumentos propuestos; después se revisa la literatura sobre las concepciones de los estudiantes y se desarrollan preguntas abiertas que incluyan múltiples temas para las entrevistas; de éstas se obtienen las explicaciones de los estudiantes a sus respuestas, y finalmente, se desarrolla el instrumento diagnóstico de dos escalones (Treagust y Chandrasegaran, 2007).

Esta investigación se realizó como un estudio cualitativo en cuatro fases, con el objeto de identificar concepciones alternativas, evaluar el aprendizaje del concepto equilibrio químico en el bachillerato y desarrollar una prueba de dos escalones de opción múltiple, mediante el diseño y aplicación de un instrumento de evaluación de dos escalones, con el segundo escalón de pregunta abierta.

La primera fase identificó la ubicación curricular de la enseñanza del equilibrio químico, su marco de aprendizaje en el bachillerato universitario, el análisis de libros de texto que los docentes utilizan en la preparación e impartición del tema y la revisión de la literatura especializada sobre las concepciones alternativas reportadas para alumnos de bachillerato. La segunda fase se realizó una

selección de los conceptos relacionados con el equilibrio químico que se evaluarán y el diseño el primer instrumento de opción múltiple con el segundo escalón de pregunta abierta. En la tercera fase de este estudio se aplicó el primer instrumento de evaluación a alumnos del quinto semestre de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades plantel Sur. Se analizó la respuesta abierta lo que permitió diseñar y aplicar un segundo instrumento de evaluación de dos escalones también con el segundo escalón de pregunta abierta que logró identificar el grado de aprendizaje del equilibrio químico y las concepciones alternativas derivadas de la enseñanza de este. En la fase cuatro después del análisis de las respuestas de la segunda prueba de evaluación se construyó el instrumento de evaluación con los dos escalones de opción múltiple.

El instrumento de evaluación de doble escalón con pregunta abierta aplicado en este estudio es una herramienta efectiva capaz de identificar concepciones alternativas, el grado de comprensión de los conocimientos y las ideas que construyeron los estudiantes de manera antecedente y después de la instrucción. Permitted identificar en este estudio que el grado de comprensión para el concepto de equilibrio dinámico fue suficiente y bueno para los conceptos de equilibrio químico y constante de equilibrio, pero insuficiente para el Principio de Le Chatelier. Las respuestas obtenidas de este instrumento permiten desarrollar una prueba de evaluación con preguntas de doble escalón de opción múltiple.

Este trabajo aporta un nuevo diseño de preguntas de doble escalón que puede ser aplicado en el futuro a alumnos de bachillerato que estudiaron el equilibrio químico, o a los alumnos que inician su estudio en las licenciaturas de la facultad de química; y que puede permitirles a los docentes no solo identificar el grado de aprendizaje de estos conceptos, sino que puede regular su actividad docente al permitir evaluar si las actividades de enseñanza aplicadas cumplieron con su objetivo didáctico.

Planteamiento del problema.

Al iniciar el aprendizaje del equilibrio químico en el bachillerato, los estudiantes no presentan esquemas conceptuales desarrollados de este tema, por lo que, las posibles dificultades de aprendizaje y errores conceptuales o concepciones alternativas que pudieran presentar son ideas inducidas a través de la enseñanza del tema (Quilez *et al.*, 1993). Es importante identificar cómo construyen los alumnos de bachillerato los conceptos de equilibrio químico ya que estos se aplicarán para explicar cómo funcionan sistemas complejos, por ejemplo, amortiguador de carbonatos y fosfatos en sangre, destrucción de corales por acidificación del agua de mar. Entender el equilibrio químico y las variables que lo modifican permitirá a futuros profesionistas proponer condiciones para mejorar el rendimiento de reacción.

El programa de estudios de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades (ENCCH), en la asignatura de Química III de quinto semestre contempla el estudio y aplicación de los conceptos del tema equilibrio químico. Por lo tanto, es importante diseñar alternativas de evaluación que le permitan a los docentes conocer en qué medida sus estudiantes construyeron el concepto y las posibles concepciones alternativas que se hayan generado durante su estudio, así como los conceptos de mayor dificultad de aprendizaje.

Una herramienta de evaluación, que recomienda la literatura especializada, capaz de identificar las concepciones alternativas y la comprensión de conceptos asociados a un tema determinado, son las pruebas de dos escalones (Treagust, 2006; Sıbiç *et al.*, 2020). Estas pruebas son parte de la evaluación formativa que tiene la intención de identificar situaciones que permitan mejorar el proceso docente, y posibilitan corregir aspectos, como estrategias y dificultades de aprendizaje que presenten los estudiantes (ENCCH, 2016).

Objetivo general

Diseñar un instrumento de evaluación de dos escalones, ambos de opción múltiple, que permita evaluar la construcción del conocimiento de los alumnos en el tema de equilibrio químico, así como, identificar las dificultades de aprendizaje y las concepciones alternativas de los estudiantes, antes y después de la impartición del tema.

Objetivos específicos

Diseñar un instrumento de evaluación de dos escalones con el primero de ellos de opción múltiple y el segundo con pregunta abierta. El objetivo es obtener información de las ideas de los estudiantes sobre lo que saben del equilibrio químico y cómo lo saben, y con base en los resultados que se obtengan, construir un segundo instrumento con los dos escalones de opción múltiple, que nos permita identificar tanto el aprendizaje como las concepciones alternativas generadas durante la enseñanza del tema.

Aplicar antes y después de las actividades de enseñanza de los temas de cinética y equilibrio químico, a un grupo de quinto semestre del bachillerato del ENCCH que cursa la asignatura de química III, el instrumento de evaluación diseñado con el objeto de observar la evolución argumentativa de los alumnos en la justificación de la opción elegida en el primer escalón.

Con el análisis de estos datos diseñar un segundo instrumento, también de doble escalón, pero ahora el segundo escalón con tres opciones para cada opción del primer escalón. Estas opciones contemplarán los argumentos vertidos por los estudiantes en la primera herramienta de evaluación y esperamos sean de utilidad para identificar el grado de comprensión del equilibrio químico por parte de los estudiantes y cuáles fueron los conceptos de difícil comprensión en el grupo de estudio.

Preguntas de investigación

¿El diseño y aplicación de una prueba de doble escalón con el primer escalón de opción múltiple y el segundo escalón de pregunta abierta nos permitirá identificar las ideas, concepciones alternativas y el grado de conocimiento del equilibrio químico en un grupo de estudiantes de bachillerato?

¿A partir de los resultados de la primera fase seremos capaces de diseñar una prueba de doble escalón de opción múltiple robusta que sea capaz de identificar el grado de conocimiento y comprensión del equilibrio químico?

Capítulo 1 Evaluación del aprendizaje.

La evaluación como práctica fundamental de la enseñanza puede potenciar o inhibir los aprendizajes.
Carmen Caamaño.

1. La evaluación del aprendizaje en ciencias.

1.1 El proceso de evaluación.

En la concepción actual, la evaluación es uno de los componentes fundamentales del proceso de enseñanza-aprendizaje, se considera: un proceso dinámico, abierto y contextualizado que se desarrolla a lo largo de un periodo de tiempo; no es una acción puntual o aislada, se lleva a cabo a través de un plan previamente establecido en el que pueden identificarse una serie de fases. Las distintas fases del proceso evaluativo son de naturaleza multidimensional, se trata de un conjunto de procesos interrelacionados entre sí. En cada fase de este proceso existen diferentes alternativas entre las que el evaluador tendrá que hacer una selección dependiendo del propósito de evaluación que se persiga.

La proliferación de trabajos que en las últimas décadas investigan el proceso de evaluación, ha contribuido a que los autores propongan diferentes fases, ver tabla 1.1. Fernández y Ballesteros (1995) proponen seis fases; Mateo J. (2000a) indica cuatro fases, entre ellas la metaevaluación; Nirenberg, Brawerman y Ruiz (2000) plantean tres fases y en cada una de ella existen subfases; Cabrera F. (2000a), citado en Lukas y Santiago (2009), también plantea cuatro fases. Para Casanova (1998) el proceso evaluador debe seguir cinco fases. Stufflebeam y Shinkfield (1987), citados en Giné y Parcerisa (2009), entienden a la evaluación como un proceso de diseño que consiste de tres fases. Castillo y Cabrerizo (2010) proponen tres fases que caracterizan el proceso de evaluación.

Tabla 1.1. Fases del proceso de evaluación propuestas por diversos autores¹.

| Autores | Fases propuestas en el proceso de evaluación |
|--|---|
| Stufflebeam y Shinkfield (1987) | <ul style="list-style-type: none">• Recogida de la información.• Análisis de la información recogida.• Toma de decisiones. |
| Fernández y Ballesteros (1995) | <ul style="list-style-type: none">• Planteamiento de la evaluación.• Selección de las operaciones a observar• Selección del diseño de evaluación.• Recogida de información.• Análisis de datos.• Informe. |
| Casanova (1998) | <ul style="list-style-type: none">• Recopilación de datos con rigor y sistematicidad.• Análisis de la información obtenida.• Formulación de conclusiones.• Establecimiento de un juicio de valor acerca del objeto evaluado. |

| | |
|---|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Adopción de medidas para continuar la actualización correctamente. |
| Mateo (2000a) | <ul style="list-style-type: none"> • Planificación. • Desarrollo. • Contrastación. • Metaevaluación. |
| Nirenberg, Brawerman y Ruiz (2000) | <ul style="list-style-type: none"> • Programación de la evaluación • Ejecución de la evaluación. • Evaluación de la evaluación (metaevaluación). |
| Cabrera F. (2000a) | <ul style="list-style-type: none"> • Delimitar la finalidad y el alcance de la evaluación. • Planificación de la evaluación. • Recogida, análisis e interpretación de los datos. • Elaboración del informe final y difusión de los resultados. |
| Lukas y Santiago (2009) | <ul style="list-style-type: none"> • Delimitar la finalidad y el alcance de la evaluación. • Planificación de la evaluación. • Tratamiento de la evaluación. • Elaboración del informe y difusión de los resultados. • Metaevaluación: Evaluar la calidad de la evaluación efectuada. |
| Castillo y Cabrerizo (2010) | <ul style="list-style-type: none"> • Obtener información. • Formular juicios. • Tomar decisiones. |

¹ Información recopilada de Casanova (1998), Castillo y Cabrerizo (2010), Giné y Parcerisa (2009) y Lukas y Santiago (2009).

La propuesta a la que nos apegamos en esta investigación toma como referente las fases señaladas por Castillo y Cabrerizo (2010), donde se hace referencia a la metodología de la investigación educativa al proponer tres fases secuenciadas que caracterizan el proceso de evaluación, el cual es organizado y temporalizado. Las fases características del proceso de evaluación son:

“1ª fase: Obtener información. Mediante la aplicación de procedimientos válidos y confiables para conseguir datos e información sistemática, rigurosa, relevante y apropiada que fundamente la consistencia y seguridad de los resultados de la evaluación.

2ª fase: Formular juicios. Los datos obtenidos deben permitir fundamentar el análisis y valoración de los hechos que se pretende evaluar, para que se pueda formular un juicio de valor lo más ajustado posible.

3ª fase: Tomar decisiones. De acuerdo con las valoraciones emitidas sobre información disponible relevante, se deberán tomar las decisiones que convenga en cada caso.”

1.1.1 Primera fase: Obtener información

El diseño de la evaluación se realiza en función del objetivo que se desea alcanzar en el proceso educativo; como, por ejemplo, los aprendizajes que los profesores desean propiciar en sus alumnos. Es en este momento donde se planifica, eligen y diseñan los instrumentos de evaluación pertinentes que faciliten la obtención de datos que den evidencia de lo que han aprendido los estudiantes. Para lograr lo anterior la información debe ser recogida y analizada de manera objetiva y sistemática, rigurosa y dirigida, mediante un proceso organizado y temporalizado para que los resultados sean creíbles, confiables y, por lo tanto, válidos. Las técnicas e instrumentos que se determinen seleccionen y elaboren deben contribuir a la mejora del proceso evaluado y ser la base

de las decisiones que se tomen para optimizarlo, siempre tomando en cuenta las necesidades de aprendizaje detectadas en los alumnos.

Es en esta primera fase donde se planifica el momento de la evaluación:

- ¿Cuándo evaluar?: al inicio, de forma continua, al final.
- ¿Para qué evaluar?: funcionalidad de la evaluación diagnóstica, formativa y sumativa.
- ¿Qué evaluar?: conocimientos, habilidades, actitudes/valores.
- ¿Cómo evaluar?: cuantitativa o cualitativa.
- ¿Quiénes evalúan?: profesores, alumnos, la administración educativa.

1.1.2 Segunda fase: Formular juicios.

El análisis de los datos obtenidos debe permitir fundamentar y valorar los hechos bajo evaluación. Los criterios de evaluación nos ayudan a comprobar los logros obtenidos por medio de la revisión, valoración e interpretación de la información. Un criterio describe “qué mirar” en los trabajos de los estudiantes y permite orientar las explicaciones y decisiones que se tomarán, pues el juicio que se emita sobre el desempeño se desprenderá de la comparación entre en análisis de los datos recolectados de los alumnos y los aspectos definidos previamente como criterios. (Moscatelli, 2013)

Para generar los criterios de evaluación se toman en cuenta los aprendizajes que se espera logren los estudiantes, dichos criterios serán amplios y generales para que puedan evaluar diversas tareas y situaciones. Hay que evitar tener un criterio para evaluar cada tarea o situación porque entonces el criterio se reduce a un indicador y podría alejarse del objetivo del aprendizaje inicial.

Los juicios de valor califican el valor de algo con diversas finalidades en virtud de los criterios de evaluación establecidos. En la evaluación del aprendizaje emitir juicios de valor servirá para saber el grado de consecución de los objetivos y, a partir de ello, tomar decisiones acerca de qué se debe hacer para lograrlos y mejorarlos. Los juicios de valor en la investigación evaluativa de programas y servicios podrán orientarse a reconocer virtudes y deficiencias de los servicios educativos y, la efectividad de programas; también permiten juzgar hasta qué punto las metas reflejan, de una manera válida, las necesidades de los beneficiarios de un determinado programa o servicio educativo (Gómez y Chong, 2016).

1.1.3 Tercera fase: Tomar decisiones.

La toma de decisiones debe dirigirse a mejorar el objeto evaluado, lo que dota a la evaluación de un carácter instrumental que ayuda a promover el proceso de cambio. Después de analizar los resultados, la toma de decisiones busca fortalecer los aspectos medianamente desarrollados o promover el cambio de dirección del proceso educativo. Las decisiones por tomar deben describir: la verificación de los juicios de valor, proponer decisiones de mejora, los objetivos a trabajar, orientar el proceso, la metodología, calificar e informar sobre los resultados, las actividades, los recursos y los agentes que se encargarán de llevar a cabo su realización.

1.2 Momentos de la evaluación. ¿Cuándo evaluar?

Tradicionalmente se señalan tres momentos de evaluación: inicial, continua y final. (Casanova, 1998).

Es la que se realiza de manera previa al desarrollo del proceso educativo, curso académico, o implantación de un programa educativo concreto, etc. Consiste en la recolección de datos de carácter personal y académico en una situación inicial y su finalidad es que el profesor inicie el proceso educativo con un conocimiento de lo que saben sus alumnos del tema a tratar y de algunas dificultades de aprendizaje que manifiestan sobre ello.

Los datos obtenidos y analizados permiten al profesor diseñar sus estrategias didácticas y acomodar su práctica docente a la realidad cognitiva del grupo. Realizar la evaluación inicial es primordial para llevar a cabo un adecuado desarrollo del proceso educativo y es necesaria para el inicio de cualquier cambio educativo, ya que servirá de referente a la hora de valorar la propuesta educativa. También sirve para valorar la propuesta de enseñanza y comprobar si los resultados son satisfactorios o insatisfactorios.

Castillo y Cabrerizo (2010) mencionan que para Rosales (1984), la evaluación inicial: “Tiene lugar antes de comenzar el proceso de aprendizaje y su meta es determinar el grado de preparación del alumno previamente a comenzar un nuevo aprendizaje, pronosticando, asimismo, dificultades y aciertos previsibles”.

Este tipo de evaluación es considerado por muchos autores como parte de la evaluación formativa, dado que su objetivo es establecer una línea base de aprendizajes comunes para, a partir de ellos diseñar las estrategias de intervención docente.

Este tipo de evaluación permite obtener información del desarrollo del proceso educativo de todos y cada uno de los alumnos a lo largo del curso de modo permanente, proporcionando datos que deben permitir reorientar, regular, modificar o reforzar el proceso educativo de los estudiantes. La evaluación formativa actúa sobre los alumnos, mostrando los errores de aprendizaje, si es que existen, con la finalidad de corregirlos si se conoce la relación de la situación inicial de aprendizaje y la situación final, lo que posibilita comprobar de forma sistemática en qué medida se van logrando los objetivos previstos y las capacidades básicas establecidas.

Además, la evaluación formativa puede actuar sobre una determinada clase, escuela o centro educativo, sobre los instrumentos y medios utilizados para evaluar, e incluso sobre el mismo sistema educativo. A través de la recolección continua y sistemática de datos, la evaluación continua valora el funcionamiento de un centro escolar, de un programa educativo o del proceso educativo a lo largo de un periodo de tiempo preestablecido con la finalidad de evaluar la consecución de los objetivos propuestos. La evaluación continua sirve como estrategia de mejora para ajustar y regular sobre la marcha los procesos educativos, es por ello, que se la relaciona con la evaluación formativa.

La evaluación continua facilita la identificación de desviaciones que alteran los resultados, que obligarían a reconducir de inmediato la acción educativa que se está llevando a cabo y, por lo tanto, permite tomar decisiones de mejora durante la marcha del proceso educativo. Tiene un carácter procesual, ya que permite un aporte sistemático y continuo de datos (no necesariamente cuantitativos), que además de servir para reorientar los procesos, pueden ser puestos a disposición de la evaluación sumativa.

La evaluación final en su función sumativa se aplica al final de un periodo de tiempo establecido y pretende determinar el grado de aprovechamiento del alumno y de consecución de los objetivos de aprendizaje planteados. Consiste en la recolección y valoración de datos al finalizar

el proceso de enseñanza y, a través de estos, comprueba el grado de construcción de un aprendizaje, el grado de cumplimiento de un programa, etcétera.

La evaluación final suele identificarse con la evaluación sumativa en la medida en que enjuicia o valora procesos finalizados, tiene un carácter puntual y puede ser exhaustiva si hace acopio de los datos seleccionados a lo largo del proceso de evaluación formativa. Tiene una función sancionadora, por lo que debe concluir con el establecimiento de un juicio. Mediante la evaluación sumativa se decide si el alumno ha superado o no los objetivos de aprendizaje, es decir, si el alumno ha acreditado o no un periodo de enseñanza.

1.3 Funciones de la evaluación. ¿Para qué evaluar?

Las funciones que puede tener la evaluación dependen fundamentalmente de las características del proceso educativo, es decir se seleccionan aquellos componentes de la evaluación que en determinado momento resultan apropiados para el objeto de estudio y de la investigación que se emprende.

Si describimos a la evaluación como un proceso integral, entonces podemos relacionar cada una de sus fases con las correspondientes del proceso educativo lo que nos lleva a clasificar a la evaluación en: inicial, continua y final. Siendo sus principales funciones la evaluación diagnóstica, formativa (reguladora) y sumativa. En la tabla 1.2 se muestra la relación entre la función y el momento de la evaluación.

La función de la evaluación diagnóstica es descubrir, describir y en cierta medida explicar, el comportamiento de una persona estudiando los factores que intervienen en el proceso: personales, interactivos, contextuales; lo que le permitiría diseñar estrategias didácticas contextualizadas de acuerdo con la realidad estudiantil.

Realizar la evaluación diagnóstica con elementos descriptivos claros y específicos antes de iniciar una nueva actividad escolar, posibilita el análisis de necesidades educativas, proporciona información sobre estrategias de intervención, y ayuda con la información que aporta, a facilitar la toma de decisiones de la evaluación sobre cualquier aspecto del proceso educativo. La finalidad última de la evaluación diagnóstica será la mejora de los resultados educativos y el favorecimiento del pleno desarrollo educativo de los alumnos (Castillo y Cabrerizo, 2010).

La función de la evaluación formativa es la de mejorar el proceso que se evalúa a través de la recolección de datos que permitan, en todo momento, conocer la situación evaluada para tomar las decisiones necesarias de forma inmediata; regula sobre la marcha el proceso educativo con la finalidad de alcanzar los objetivos previstos. Este tipo de evaluación se realiza de forma paralela y simultánea al proceso de enseñanza y no al final del proceso como mera comprobación de resultados.

Los datos recogidos y las valoraciones acordadas permiten identificar el momento en que surge una dificultad y dónde es posible situar los medios didácticos adecuados para superarla; de igual forma se pueden detectar qué tipos de actividades educativas favorecen el aprendizaje y la formación idónea del alumno. Como las decisiones que afectan el proceso se toman de forma continua, la evaluación formativa permite una acción reguladora del proceso de enseñanza

aprendizaje, lo que posibilita que el sistema educativo se adecue a las características de los alumnos que atiende (Casanova, 1998).

La función de la evaluación sumativa es determinar el valor de un producto o proceso que se considera terminado; asignándole un resultado final positivo o negativo, lo que deviene en su validez o nulidad; permite comprobar los logros alcanzados en un periodo determinado. No pretende valorar de forma inmediata al objeto o el grado de aprendizaje ya que se aplica en un momento concreto y final, sin embargo, a partir de ésta es posible tomar medidas de mejora a largo plazo.

Este tipo de evaluación es apropiada para la valoración de resultados finales y el grado de alcance de los objetivos propuestos, indica si el producto evaluado responde a las características del sistema. Arredondo y Cabrerizo (2010) indican que “los resultados de la evaluación sumativa de un periodo escolar pueden y deben ser el punto de arranque de la evaluación diagnóstica del siguiente periodo”.

Tabla 1.2. Relación entre la función y el momento de la evaluación. Adaptado de Tejada (1999), citado en (Elola *et al.*, 2010)

| Función | Momento | Objetivos | Decisiones por tomar | Características |
|--------------------|---|---|--|---|
| Diagnóstica | Inicial (Antes de iniciar el proceso educativo) | Identificar las características de los participantes (intereses, necesidades, expectativas). Identificar las características del contexto (posibilidades, limitaciones, necesidades, etc.). Valorar la pertinencia, adecuación y viabilidad del programa. | Admisión, orientación, establecimiento de grupos de aprendizaje. Adaptación, ajuste e implementación del programa. | Pronostica y previsoras |
| Formativa | Continua (Durante el proceso educativo). | Mejorar el desempeño personal de los participantes. Informar sobre su evolución y progreso. Identificar los aspectos críticos en el desarrollo del programa. Optimizar el programa en su desarrollo. | Adaptación de las actividades de enseñanza y de aprendizaje (tiempos, recursos, motivación, estrategias, rol docente, etc.). | Orientadora, reguladora y motivadora |
| Sumativa | Final (Después de terminar el proceso educativo) | Valorar la consecución de los objetivos, así como los cambios producidos, previstos o no. Verificar la valía de un programa de cara a satisfacer las necesidades previstas | Promoción, certificación, reconsideración de los participantes. Aceptación o rechazo del programa. | Integradora, promocional, acreditativa. |

1.4 Objetivos de la evaluación ¿Qué evaluar?

Eloia *et al.*, (2010) señalan que al emprender un proceso de evaluación nos encontramos con una variedad y cantidad de posibles aspectos que pueden ser evaluados. Entre los que destacan: los aprendizajes de los alumnos, las habilidades previas de las personas en formación, las secuencias didácticas realizadas por el docente, los materiales didácticos, el funcionamiento de una institución, la concreción de programas, etcétera. Por lo que estas autoras han sugerido diferenciar en dos grupos los objetivos de evaluación:

- Los aprendizajes de los alumnos.
- Las acciones de enseñanza.

Dentro de estas categorías se tienen diferentes dimensiones de aprendizaje que pueden referirse a diversos niveles de desempeño, los cuales pueden evaluarse en forma global o focalizarse en un aspecto. Para ello es fundamental tener delimitados, claros y explícitos los objetivos del proceso de enseñanza aprendizaje y el objeto de evaluación, lo que después facilitará las evaluaciones. El análisis de los resultados permitiría modelar el proceso de acuerdo con las circunstancias y el contexto de nuestros estudiantes.

La evaluación como parte del proceso educativo es un instrumento de acción pedagógica que permite evaluar el conocimiento de los alumnos, es decir, aquello que los estudiantes son capaces de hacer con los contenidos que ponemos a su disposición: sus conocimientos, habilidades, actitudes, valores, estrategias de aprendizaje. El objeto de la evaluación son los aprendizajes de los alumnos y el grado de desarrollo de sus habilidades, como resultado de la intervención educativa.

Entonces, si relacionamos el qué enseñar con el qué evaluar, estaremos relacionando los contenidos de aprendizaje con sus evaluaciones correspondientes. Sánchez (2010) en su texto “Los contenidos de aprendizaje” hace una breve reseña en la que cita diversos autores y sus posturas, modalidades y conceptualizaciones sobre la naturaleza de los contenidos. Proporciona una definición del término “contenido” desde un enfoque disciplinar y cognitivo como aquello que debe aprenderse acerca de las materias o asignaturas: nombres, conceptos, principios, enunciados y teoremas. Pero también amplía el alcance de este término y retoma su función dentro del proceso de planificación y desarrollo de una propuesta pedagógica.

“[los contenidos son]...todo cuanto hay que aprender para alcanzar unos objetivos que no sólo abarcan las capacidades cognitivas, sino que también incluyen las demás capacidades. De este modo, los contenidos de aprendizaje no se reducen a los aportados únicamente por las asignaturas o materias tradicionales... también serán contenidos de aprendizaje todos aquellos que posibiliten el desarrollo de las capacidades motrices, afectivas, de relación interpersonal y de inserción social” Zabala (2008), citado en (Sánchez, 2010).

Para esta autora es posible establecer una relación más estrecha entre cultura, aprendizaje, educación y enseñanza con los contenidos escolares. Al definir los contenidos como saberes culturales, se incluyen en ellos hechos, conceptos, principios, habilidades, valores, creencias, actitudes, destrezas, intereses, hábitos, pautas de comportamiento, e incluso, competencias.

“Los contenidos son aquello sobre lo que versa la enseñanza, el eje alrededor del cual se organizan las relaciones interactivas entre profesor y alumnos -también entre alumnos- que hacen posible que éstos puedan desarrollarse, crecer, mediante la atribución de significados que caracteriza al aprendizaje significativo... cualquier elemento de la cultura de un grupo social que éste considere que debe ser asimilado por sus miembros, es susceptible de convertirse en contenido de la enseñanza. Los contenidos pueden, en consecuencia, ser hechos, conceptos, principios, procedimientos, valores, normas y actitudes” Coll (1987), citado en (Sánchez, 2010).

El modelo educativo de transmisión tiene la concepción errónea que el alumno es un receptor pasivo de información, el profesor es un transmisor de la información y reduce el conocimiento a un solo tipo, el declarativo. Sin embargo, los alumnos no son depositarios de información, ni la absorben ni la mantienen, sino que presentan procesos más complejos de adquisición del conocimiento que determinan en qué punto son capaces de retener y usar el conocimiento. Si retomamos la concepción de que los alumnos construyen su conocimiento, de acuerdo con Aparicio (1995) tendremos que responder a la pregunta pertinente ¿qué conocimiento es el que tienen que construir nuestros alumnos? Por lo tanto, se debería de entender que el conocimiento es algo más complejo que el almacenamiento de acontecimientos concretos (el contenido).

Desde este enfoque se puede decir que los alumnos no deben aprender a decir, sino deben aprender a hacer, esto entendido como el desarrollo de habilidades que permitan resolver problemáticas en diferentes situaciones escolares y de la vida. Por lo que en lo sucesivo en esta investigación llamaremos a los contenidos de aprendizaje como conocimientos de aprendizaje, término que nos parece describe mejor el conjunto de destrezas, habilidades y procedimientos intelectuales que hemos de enseñar a los alumnos y, en consecuencia, debiéramos de evaluar.

Los conocimientos designan el conjunto de saberes cuya asimilación y apropiación por parte de los alumnos se considera esencial para su desarrollo y socialización, son un medio para el desarrollo de sus capacidades. Los conocimientos de un programa se categorizan como:

- Conceptuales: Objetos, sucesos, ideas, hechos, definiciones, conceptos, símbolos, etc.
- Procedimentales: Saber cómo se hace algo, resolver tareas, seleccionar un método, una estrategia y saberla aplicar, seguir un procedimiento, adquirir una habilidad.
- Actitudinales: Normas, hábitos, actitudes. Tendencias a comportarse de una forma determinada.
- Valórales: que se promueven mediante acciones y relaciones interpersonales.

La naturaleza de los conocimientos influye en el proceso de aprendizaje y, por ende, en las situaciones de enseñanza y estrategias de evaluación ya que exige del profesor actuaciones cualitativamente distintas. Para evaluar este tipo de contenido se necesita tener claro lo que el profesor debe enseñar y lo que los alumnos debieran aprender (Anónimo, 2017).

1.4.1 Conocimientos conceptuales.

Se llama conocimientos conceptuales al conjunto de datos que en general se conoce como información, y reúne datos, hechos, conceptos y principios. Si hacemos una distinción taxonómica, el conocimiento factual es el que se refiere a datos y hechos que proporcionan los alumnos que pueden aprenderse de “forma literal”. Mientras que los atributos cuantitativos, cualitativos y las

proposiciones que dan sentido a hechos y datos constituyen conocimientos conceptuales, que incluyen principios y conceptos (Díaz y Hernández, 1999).

De acuerdo con Díaz (1999) el conocimiento conceptual se construye a partir de conceptos, principios y explicaciones. No se aprende de forma literal, sino “abstrayendo su significado esencial o identificando las características definitorias y las reglas que los componen”. El conocimiento conceptual requiere para su aprendizaje la asimilación del significado de la nueva información y la capacidad de hacer, generar o producir otras cosas con ese conocimiento.

El profesor enseña este tipo de conceptos y facilita la construcción del conocimiento de los alumnos cuando interviene para activar las ideas previas del alumno, revisa y explicita las ideas que posee sobre el tema, ayuda a establecer semejanzas entre la nueva tarea de aprendizaje y otras actividades anteriores, elabora analogías, ofrece materiales potencialmente significativos para el alumno. Para presentar la nueva información, utiliza una introducción que funciona como puente entre lo que el alumno ya conoce y aquello que se le va a enseñar.

El alumno puede aprender conceptos si tiene conocimientos conceptuales previos organizados, pertinentes y relevantes, para conectar la nueva información y conoce los procedimientos que le ayudan a encontrar en la memoria estrategias de activación y recuperación.

Para evaluar los conocimientos conceptuales es necesario realizar una evaluación inicial que permita al maestro determinar los conocimientos previos para conocer el nivel de sus alumnos en cada disciplina, lo que servirá como punto de partida para desarrollar aprendizajes posteriores (Castillo y Cabrerizo, 2010).

La evaluación de los conocimientos conceptuales sigue una aproximación cualitativa ya que se trata de identificar cómo se interpreta el concepto. Se hace a través de lo que se conoce como pruebas objetivas. Se construyen con indicadores que dan diferentes opciones de respuesta como: falso/verdadero, opción múltiple, relación de columnas o sus combinaciones. Además, el alumno puede autoevaluar los aprendizajes conceptuales a través de mapas semánticos, conceptuales, mentales, etc., al utilizar diferentes herramientas de procesamiento de la información que le permitan comprobar su avance.

Cabe señalar que cuando se establezca una diferenciación de los conocimientos de aprendizaje en conceptuales, procedimentales y actitudinales, la evaluación del proceso de aprendizaje de los conocimientos conceptuales deberá hacerse de forma conjunta con la de los conocimientos procedimentales y actitudinales, a lo largo de todo el proceso de educativo (Castillo y Cabrerizo, 2010).

1.4.2 Conocimientos procedimentales.

Los procedimientos son un conjunto de acciones ordenadas, orientadas a la consecución de una meta determinada. Son métodos de trabajo con actividades secuenciadas, cuyo objetivo final es el aprendizaje de una destreza manual, mecánica o intelectual y la adquisición de una habilidad o competencia. “Se trata de conocimientos referidos al saber hacer cosas o sobre las cosas... Hacen referencia a las actuaciones para solucionar problemas, para llegar a objetivos o metas, para satisfacer propósitos y para conseguir nuevos aprendizajes” (Castillo y Cabrerizo, 2010)

Los procedimientos están conformados por estrategias, habilidades y técnicas. Las estrategias son capacidades intelectuales o procedimientos mentales para dirigir y ordenar los conocimientos con objeto de llegar a unas determinadas metas. Las habilidades son capacidades manuales o intelectuales para realizar algo con facilidad y competencia. Las técnicas son un conjunto de acciones ordenadas para el logro de objetivos concretos.

Para conducir a los estudiantes desde un conocimiento ordinario hacia un conocimiento científico se hace necesario que la evaluación sea un proceso dinámico de tres fases: el diagnóstico inicial, el proceso formativo y la evaluación final. Cada uno de los componentes necesita un tipo de aprendizaje y a la vez instrumentos adecuados que evalúen cada tipo de aprendizaje (Cándida y López, 2011).

Cuando se trabaja el aprendizaje de procedimientos se habla de los conocimientos que incluyen las habilidades, las técnicas, las estrategias y las destrezas. Para aprender un conocimiento procedimental hay que realizar actividades consistentes en el propio contenido, es decir, el contenido es lo que pretendemos que los estudiantes aprendan y las actividades son el medio de conseguirlo y son ellas las que se evaluarán más tarde. Es decir, la evaluación de este tipo de conocimientos requiere de procedimientos que permitan constatar su funcionalidad.

Existe una gran variedad de conocimientos procedimentales, que dependen de cada una de las asignaturas a cursar, presentan diferente nivel de complejidad, tanto a nivel cognitivo como de aplicación, por lo que es difícil establecer una clasificación de estos. Valls (1993) citado en Castillo y Cabrerizo (2010), ha clasificado los conocimientos conceptuales a través de dos criterios:

1. Las características de la regla que sustenta el procedimiento. Distingue dos tipos de procedimientos: el algorítmico, por ejemplo, procedimientos aritméticos, y el heurístico, comentarios de un texto.
2. El tipo de meta al que van dirigidos. Distingue dos tipos de procedimientos: los disciplinares (específicos de un área curricular) y los interdisciplinares (genéricos).

Coll *et al* (1992) citado en Castillo y Cabrerizo (2010), diferencian entre procedimientos de componente cognitivo: habilidades intelectuales, y procedimientos de componente motriz: herramientas para el desarrollo de destrezas específicas.

El alumno aprenderá este tipo de contenidos si tiene conocimientos procedimentales previos: técnicas, métodos, reglas, normas, destrezas motoras y cognitivas, estrategias, procedimientos para la resolución de problemas. Es capaz de realizar o ejecutar las operaciones procedimentales necesarias para lograr la meta propuesta. Puede regular el propio proceso de aprendizaje para comprobar si se cumple o no la meta de aprendizaje propuesta.

La evaluación de los aprendizajes de conocimientos procedimentales se podrá realizar mediante pruebas de papel y lápiz (dibujos de modelos o representaciones, resolución de problemas), procedimientos de carácter cognitivo (mapas mentales, conceptuales o una síntesis), otra técnica puede ser la observación de cómo el o los estudiantes van realizando el aprendizaje de determinado contenido (interpretación de un concepto, modelo o trabajo en equipo).

La evaluación de estos contenidos tiene por objetivo comprobar la funcionalidad de los procedimientos y determinar hasta qué punto el alumno los utiliza en otras situaciones. Los

procedimientos pueden ser evaluados mediante el análisis de los problemas o ejercicios realizados en los exámenes, la observación directa de los trabajos en el aula o el análisis de tareas. Por ejemplo, las listas de control pueden ayudarnos a conocer los procedimientos adquiridos por cada alumno y por el grupo, en ellas se mencionan los procedimientos (estrategias, habilidades, técnicas) que se van a evaluar.

La evaluación del aprendizaje de los conocimientos procedimentales requiere de una programación previa adecuada, en la que se plasmen con claridad los criterios de evaluación y la ponderación que se va a otorgar a los mismos en la evaluación integral, así como sus objetivos y las dimensiones a evaluar.

Objetivos de evaluación de los conocimientos procedimentales:

Dimensiones que se han de considerar en la evaluación de los procedimientos según Valls (1989):

1. Primer nivel: Adquisición de información sobre el procedimiento.
2. Segundo nivel: Uso o aplicación del conocimiento en tareas específicas.
3. Tercer nivel: Sentido otorgado al aprendizaje procedimental.

1.4.3 Conocimientos actitudinales

Los contenidos actitudinales están formados por conocimientos y creencias (componentes cognitivos), sentimientos y preferencias (componentes afectivos) y acciones y declaraciones de intención (componentes conductuales); estas ideas permiten emitir juicios sobre las conductas para actuar de cierta manera en función de los valores que asumen. Se establece que se ha aprendido o adquirido un valor cuando se interioriza de tal manera que la persona toma una posición ante lo que se considera positivo o negativo (Sánchez, 2010). La buena disposición, el interés, el esfuerzo, la curiosidad intelectual, la responsabilidad, la constancia, la creatividad, la actitud general, etc. son términos que se identifican con los conocimientos actitudinales.

Estos conocimientos se relacionan con otro concepto: los valores. Valores de tolerancia, convivencia, participación, comunicación, respeto, etc., son transmitidos consciente o inconscientemente por los profesores, dentro y fuera de las aulas (Castillo y Cabrerizo, 2010).

El proceso de formación actitudinal y de educación en valores se realiza en el aula, por medio de procesos conscientes (proyectos de formación), y de otros procesos no conscientes relacionados con las actitudes y los valores latentes en las relaciones interpersonales. Las actitudes son importantes en la vida de las personas, sin embargo, no es fácil definir las. Rodríguez (1980) las define como:

“Organización duradera de creencias y cogniciones en general, dotada de una carga afectiva a favor o en contra de un objeto social definido, que predispone a una acción social coherente con las cogniciones y afectos relativos a dicho objeto” (como se citó en Castillo y Cabrerizo, 2010).

Se justifica la importancia que adquieren las actitudes en el ámbito educativo cuando se considera que en todas las áreas del currículo pueden enseñarse y transmitirse actitudes y valores junto con conceptos y estrategias.

Bolívar (1992), como se cita en Castillo y Cabrerizo (2010), señala tres tipos de contenidos actitudinales:

1. Actitudes necesarias para adquirir los contenidos conceptuales: interés, curiosidad, etc.
2. Actitudes como guía de aprendizaje de otras materias: cuidado, colaboración, etc.
3. Actitudes y valores morales: respeto, solidaridad, etc.

Es difícil evaluar el aprendizaje de los contenidos actitudinales en la práctica, pues no es fácil establecer criterios de evaluación en este ámbito, ya que con frecuencia estos conocimientos no aparecen en las programaciones. Al realizar la evaluación del proceso de aprendizaje de los conocimientos actitudinales, no deben estar programados independientemente, ni enseñarse de forma explícita en la práctica educativa diaria, deben ser evaluados con el resto de los contenidos. El problema con que puede encontrarse el profesor a la hora de evaluar el proceso de aprendizaje de estos conocimientos en sus alumnos es integrarlos a las dimensiones del procedimiento evaluador, situándolos al mismo nivel que el resto de los contenidos.

En el aula, el profesor facilita el conocimiento y el análisis de las normas existentes en la escuela y en el grupo para que los alumnos puedan comprenderlas y respetarlas. Propicia actividades que faciliten el aprendizaje de determinadas actitudes, como: cooperación, solidaridad, equidad, honestidad, compañerismo. Ofrece modelos de los comportamientos y actitudes que se pretende que los alumnos aprendan.

El alumno, aprenderá los contenidos actitudinales si está familiarizado con ciertas normas y posee tendencias de comportamiento claras que le permitirán aprender nuevas normas y actitudes. Reflexiona sobre los propios comportamientos y valora el grado de discrepancia entre la actitud que posee y otras informaciones nuevas sobre la realidad. Elabora el significado de la nueva norma o actitud conectándola con su comportamiento.

La educación en valores es un proceso que implica la incorporación y vivencia de los valores por parte de los alumnos. No se pueden medir, ni observar por sí mismos; lo que se observa son comportamientos y conductas concretas. Los comportamientos concretos de los alumnos son los que manifiestan avance o retroceso.

Los valores se aprenden a nivel personal, a través de la interacción con el medio social. La autoevaluación es clave en la evaluación de comportamientos, actitudes y valores. El alumno tiene que ser un actor participativo y tener una imagen de sí mismo y de su actuación. Cuando el alumno es consciente de su actuación, se hace responsable de ella.

Hay diversos instrumentos para la evaluación de valores: registro de eventos significativos, listas de confrontación, escalas estimativas, etc. En el proceso de evaluación, el profesor se convierte en observador, registra los sucesos y propicia que los alumnos sean conscientes de sus acciones para fortalecerlas o transformarlas.

La evaluación de actitudes tiene como función la mejora de la acción educativa, es decir, se puede evaluar o juzgar en qué medida están siendo incorporados los valores y las actitudes que se han tratado de promover y cómo su percepción positiva en el ambiente de clase puede ser determinante en el aprendizaje. La evaluación de estos contenidos se debería establecer con instrumentos como la observación, escalas de actitudes o diálogo con los alumnos, donde el

progreso del pensamiento crítico, pensamiento creativo y autorregulación daría como resultado el desarrollo del proceso de metacognición en los estudiantes.

1.5 Metodologías de evaluación cuantitativa y cualitativa. ¿Cómo evaluar?

Los modelos de la evaluación desarrollados por diversos autores desde los años 70 del siglo pasado, se pueden enmarcar en dos grandes paradigmas: los fundamentados en la evaluación cuantitativa y los fundamentados en la evaluación cualitativa. La evaluación cuantitativa basada en el paradigma positivista se entiende como una medida en donde se concibe como un “conjunto de acciones orientadas a la obtención y registro de información cuantitativa sobre cualquier hecho o comportamiento” (Castillo y Cabrerizo, 2010).

El paradigma positivista se relaciona con una concepción conductista de la enseñanza y destaca la importancia de lo observable, medible y cuantificable, con la pretensión de proporcionar al proceso de evaluación la máxima objetividad posible. Evalúa en el sistema educativo los procesos acabados y permite conocer el resultado obtenido (evaluación sumativa) al aplicar métodos estadísticos apropiados (coeficientes, porcentajes, etc.). Estos resultados son datos generales y objetivos del sistema que deben servir para tomar decisiones en: los resultados académicos del alumno curso a curso, resultados por áreas de aprendizaje, abandono escolar, etc.

Si se desea evaluar la eficacia de los procesos educativos, este tipo de evaluación sólo nos arroja información estadística y numérica con la que no es posible tomar decisiones, pues no se conoce en qué momento del proceso se tienen determinadas dificultades que nos impiden conseguir los resultados deseados.

En los diferentes ámbitos del sistema escolar, no siempre es conveniente ni aplicable la evaluación desde un enfoque únicamente cuantitativo y numérico. Si la evaluación tiene que ser formativa, el conjunto de acciones que se lleven a cabo durante el proceso evaluador debe poseer ese carácter y funcionalidad formativos. La metodología de evaluación, los datos y su interpretación y, los resultados obtenidos deben serlo también; lo que permitirá llegar a la meta establecida.

La evaluación cualitativa está basada en el paradigma naturalista, el cual entiende a la evaluación como una estimación, en vez de hacerlo como medida. Desde la concepción cualitativa, la evaluación es un factor que influye y que es influido por los distintos elementos curriculares, por lo que toda evaluación es cualitativa en tanto que valora y emite un juicio valorativo a partir de determinados datos. Castillo y Cabrerizo (2010) indican que para Bolívar (1998) las dimensiones que caracterizan a una evaluación cualitativa son:

1. Está más orientada a la valoración de los procesos educativos, que a la valoración del resultado final.
2. Pretende comprender los valores, creencias y significados de las personas que están inmersas en la situación evaluada.
3. Proporciona elementos de información sobre el modo de llevar a cabo la práctica docente y posibilitar una reflexión sobre ella a través del progreso del alumno como marco de referencia.
4. La evaluación cualitativa en la mayoría de los contextos se configura como un estudio de caso.

Habrá que usar uno u otro planteamiento en función de los datos que se precisen y la finalidad que se pretenda, ver tabla 1.3. En la práctica educativa se utilizan ambos elementos cuantitativos y cualitativos (evaluación sumativa y formativa) en aras de lograr una evaluación más completa y adecuada a la situación, en lo que a la evaluación se refiere coexisten ambos paradigmas (Casanova, 1998).

Tabla 1.3 Evaluación cuantitativa y cualitativa. Tomado de Casanova, (1998).

| Evaluación cuantitativa | Evaluación cualitativa |
|--------------------------------------|----------------------------|
| Carácter objetivo | Carácter subjetivo |
| Expresión numérica | Expresión descriptiva |
| Datos generalizables | Datos particulares |
| Toma de medidas a largo plazo | Toma de medidas inmediatas |

1.6 Agentes de evaluación ¿Quién evalúa?

El agente evaluador se refiere a la persona o personas que van a llevar a cabo la evaluación. De acuerdo con el agente que realiza la evaluación, se dan los procesos de autoevaluación, coevaluación y heteroevaluación.

La autoevaluación se produce cuando el evaluador y el objeto evaluado son coincidentes, es decir, el sujeto evalúa sus propias acciones. Los estudiantes son capaces de valorar su propia labor y el grado de satisfacción que les produce. Habrá que darles pautas claras para que lo hagan con seriedad y corrección y sepan la influencia que su juicio tendrá en la valoración global que se realice posteriormente sobre su actuación y progreso.

Como la autoevaluación es una evaluación formadora, deberá realizarse a lo largo del proceso educativo. Por lo tanto, al comenzar el desarrollo de una unidad didáctica se deben facilitar a los alumnos los criterios de autoevaluación que emplearán para examinar su trabajo y obtener conclusiones al final del proceso, acerca del desempeño de su propia actividad y el grado de logro de los objetivos educativos previstos. Los alumnos deben de adquirir mayor autonomía y control de sus avances y dificultades de aprendizaje para ser capaces de autorregular su propio proceso de aprendizaje.

Este tipo de evaluación es llevada a cabo generalmente por los profesores, los cuales pretenden conocer tanto la marcha del proceso educativo que han desarrollado como los resultados finales del mismo; y puede realizarse mediante un proceso de autorreflexión, ayudándose con algún tipo de cuestionario.

En la modalidad de heteroevaluación los evaluadores y los evaluados son diferentes personas. Se lleva a cabo dentro del propio centro educativo por personal de este: el profesor que evalúa a sus alumnos, el equipo directivo que evalúa algún aspecto del centro, etc. Es la evaluación que realiza una persona sobre el trabajo, actuación y rendimiento de otro sujeto.

Algunas de las actividades de heteroevaluación que se sugieren son: listas de cotejo, escalas de rango y rúbricas para evaluar diferentes actividades dentro del salón de clase.

La coevaluación consiste en una evaluación mutua y conjunta de una actividad o trabajo determinado realizado entre varias personas. La responsabilidad por la valoración de las actividades,

el contenido de los trabajos, los objetivos alcanzados, el aprendizaje, los recursos, etc., es compartida. Por ejemplo: un alumno evalúa a otro y viceversa o un grupo de compañeros evalúa a un compañero en particular y ese alumno al grupo (Ministerio de educación de Guatemala, 2010).

La coevaluación se lleva a cabo en diferentes contextos y momentos:

- Al finalizar un proceso de enseñanza aprendizaje, los estudiantes y los docentes pueden evaluar ciertos aspectos que resulten interesantes destacar.
- Concluido un trabajo en grupo, cada uno valora lo que le ha parecido más interesante de los otros.

1.7 ¿Para qué evaluar?

Una vez que se ha establecido qué se desea evaluar, es necesario determinar cuáles serán las finalidades que tendrá esa evaluación. Un docente puede encarar la evaluación para certificar los aprendizajes de los alumnos o para obtener información que regule el proceso de enseñanza. Definir la finalidad de la evaluación determina las opciones metodológicas a implementar y las tareas que se realizarán rumbo a la construcción de instrumentos de recolección de datos. Las dos primeras fases; definir el objeto que se ha de evaluar e identificar la finalidad, son relativamente simultáneas y se condicionan mutuamente (Artiles y Mendoza, 2008).

Evaluar permite conocer qué objetivos generales del proceso de enseñanza han sido alcanzados por los alumnos y en qué grado han desarrollado las capacidades expresadas en dichos objetivos. Ofrece a los profesores, tutores, alumnos y a sus familias, la información pertinente que orienta el proceso de aprendizaje. Es posible detectar carencias en la adquisición de los aprendizajes instrumentales básicos que permitirán ayudar a los alumnos a conocerse a sí mismos y desarrollar su autorregulación del aprendizaje y su autoestima.

La evaluación educativa tiene un contexto determinado, un espacio o contenido sobre el que actúa, momentos continuados a lo largo del proceso que establece finalidades y objetivos formativos concretos que ya hemos descrito en el presente capítulo. A manera de resumen se presenta en la tabla 1.4 que explica los escenarios de la evaluación educativa.

Tabla 1.4. Circunstancias de la evaluación educativa. Adaptado de Castillo y Cabrerizo, (2010)

| CIRCUNSTANCIAS DE LA EVALUACIÓN | | | | | |
|---|--|--|--|--|---|
| ¿QUÉ EVALUAR? | ¿CUÁNDO EVALUAR? | ¿QUIÉN EVALÚA? | ¿CÓMO EVALUAR? | ¿CON QUÉ EVALUAR? | ¿PARA QUÉ EVALUAR? |
| <ul style="list-style-type: none"> •Grado de adquisición de habilidades. •Adquisición de conocimientos, habilidades, actitudes y valores. | <ul style="list-style-type: none"> •Al inicio: diagnóstica. •Continua: reguladora. •Al final: sumativa. | <ul style="list-style-type: none"> •Profesores y alumnos. •Autoevaluación. •Heteroevaluación. •Coevaluación. | <ul style="list-style-type: none"> •Metodologías de evaluación. | <ul style="list-style-type: none"> •Con instrumentos y criterios adecuados. | <ul style="list-style-type: none"> •Adecuar la actuación didáctica a las necesidades de los alumnos. •Toma de decisiones •Calificación y acreditación. |

1.7.1 La evaluación en ciencias.

Vivimos en una sociedad que necesita que sus ciudadanos cuenten con habilidades de índole académico, personal, social, científico y tecnológico, y la educación en ciencias naturales permite potenciar estas habilidades en los jóvenes, las cuales posibilitan el actuar como ciudadanos críticos, capaces de responder a las interrogantes del mundo natural que nos rodea y permite participar en la solución de problemas en diferentes situaciones sociales, económicas y políticas.

La forma en que los docentes llevan a cabo la evaluación impacta en el aprendizaje de sus alumnos, pues estos reciben el mensaje acerca de cuál contenido disciplinar es evaluado y enfatizan su aprendizaje en ciertos conocimientos, habilidades y actitudes, que son objeto de evaluación; por lo tanto, los aprendizajes que no se evalúan difícilmente se desarrollan. Al realizar juicios sobre la calidad de los aprendizajes de nuestros estudiantes podemos saber qué aprendizajes de contenido y habilidades científicas han construido.

La evaluación del aprendizaje en ciencias conforma y determina los procesos de enseñanza aprendizaje en el aula, nos brinda información de los aprendizajes significativos logrados, sin embargo, en muchas ocasiones la evaluación puede convertirse en un obstáculo y no en una herramienta que facilite los aprendizajes.

El Ministerio de Educación del gobierno de Chile en su libro “Evaluación para el Aprendizaje en Ciencias Naturales” menciona que Porlán y Rivero (1998), Sanmartí (2004) y Black (1998), han estudiado las características que hacen de la evaluación un problema en la práctica docente, algunas de ellas son:

- Los docentes tienden a considerar que evaluar los contenidos científicos es más fácil, debido a su objetividad y precisión.
- Limitan la evaluación a aquello que resulta más fácilmente medible.
- Se aplica preferentemente solo un tipo de procedimiento evaluativo, que puede consistir en pruebas de memorización y/o instrumentos que requieran una respuesta corta y muy puntual.
- Tienden a pensar que el dominio de las ciencias exactas es propio de unos pocos, es de esperar un alto porcentaje de fracaso en los estudiantes.
- Tienden a atribuir los bajos logros de los estudiantes a vacíos conceptuales anteriores.

El enfoque de evaluación para el aprendizaje es un nuevo camino propuesto para mejorar la calidad de los aprendizajes y la mejora de los procesos de enseñanza en ciencias naturales. En esta metodología, se propone que los docentes expliciten los objetivos de aprendizaje a sus alumnos con la finalidad de alinear el sistema de enseñanza con las actividades de evaluación establecidas previamente en los objetivos de aprendizaje.

Si las evaluaciones formativas y sumativas se encuentran alineadas con los objetivos de aprendizaje, cualquier actividad de enseñanza sirve para la recolección de evidencia de los aprendizajes logrados y la consecuente toma de decisiones en el proceso de enseñanza.

La evaluación en ciencias debe centrarse en que los estudiantes muestren su proceso de construcción de nuevo conocimiento, es decir un nuevo aprendizaje surge del conocimiento previo y la nueva información. Además, debe considerar que los estudiantes tienen diferentes maneras de

aprender por lo que se requiere la implementación de diversas modalidades de evaluación que permitirán también la validez y confiabilidad del proceso de evaluación (Angulo, 2002).

Con la finalidad de que los estudiantes mejoren su aprendizaje, deben tener clara la meta a la que llegarán y conocer los criterios de evaluación. Esto les permitirá producir buenos trabajos ya que tienen la capacidad de monitorear la calidad de lo que hacen mientras lo hacen. Desde este enfoque la autoevaluación y coevaluación son procesos que ayudan a los estudiantes a comprender cómo aprenden y ayudan a los estudiantes a emitir juicios sobre lo que aprenden al contrastarlos con los criterios de evaluación preestablecidos (Moscatelli, 2013).

El estudiante ahora participa activamente en el proceso de evaluación y el docente es un facilitador de la comunicación, el éxito de los alumnos se logra en la medida que demuestren la comprensión de las actividades realizadas y no solo la memorización o reproducción de lo enseñado.

Con el objetivo de ayudar a los estudiantes a reconocer sus errores y corregirlos se debe trabajar en la retroalimentación de los alumnos acerca de sus resultados de evaluación con el propósito final de desarrollar la autorregulación del estudiante.

En los docentes recae la responsabilidad de alfabetizar científicamente a los estudiantes, además de promover una cultura científica básica que les permita comprender los fenómenos que ocurren en la naturaleza. Los estudiantes necesitan adquirir habilidades para la vida que les permitan relacionarse con su entorno, que cambia constantemente gracias a la ciencia y la tecnología, lo que hace necesario emplear una metodología de evaluación que favorezca el aprendizaje significativo y permita optimizar el proceso de enseñanza.

Asumir el paradigma cualitativo en la evaluación de la educación científica facilitará el aprendizaje significativo, ya que en él se favorece el uso de nuevos instrumentos de evaluación, que son capaces de distinguir entre los contenidos conceptuales (conceptos, leyes, teorías, principios) procedimentales (el análisis de una situación, por ejemplo) y actitudinales, es decir se trata de una función formadora de la evaluación.

A pesar de que la evaluación conceptual ha prevalecido en el modelo didáctico tradicional, donde tiene un papel reproductivo y sumativo, el modelo constructivista ha adoptado nuevas formas de evaluación como la inicial, que permite detectar e interpretar el conocimiento previo de los alumnos, y el carácter sumativo en este modelo se enfoca en evidenciar que los alumnos han aprendido cuando son capaces de aplicar los nuevos conocimientos a situaciones igualmente nuevas o cotidianas (Perales, 1996).

La evaluación de conceptos se aborda desde dos enfoques: el primero busca la claridad terminológica, donde la enseñanza parte de lo más simple a lo más complejo y aquí se prueba relacionar los conceptos con hechos o datos. En el segundo enfoque, de los conceptos se abstraen los principios y las teorías mediante las cuales intentaremos explicar y transformar las dimensiones de la realidad.

Capítulo 2 Evaluación.

2. Técnicas e Instrumentos de evaluación.

2.1 Técnicas de evaluación.

Las técnicas de evaluación son procedimientos que se utilizan para obtener información del grado de desarrollo del proceso de enseñanza aprendizaje. Se adecuan a las necesidades de evaluación y facilitan la valoración integral del aprendizaje al evaluar simultáneamente conocimiento, habilidades, actitudes y valores (Díaz y Hernández, 1999).

En la actualidad existen diversas técnicas evaluativas. Unas de carácter cuantitativo como las pruebas estandarizadas y otras de carácter cualitativo como la observación participante, donde el observador participa y se involucra de manera activa dentro del grupo que se está estudiando. La aplicación de una u otra técnica está en función de su utilidad, de la finalidad de la evaluación y de los recursos humanos, materiales y económicos disponibles (Lukas y Santiago, 2009).

Existen diferentes criterios para clasificar las distintas técnicas de evaluación. Algunos autores distinguen entre las técnicas cuantitativas y cualitativas. Del Rincón (1996) distingue entre estrategias, instrumentos y medios audiovisuales y documentales. González S. (2000) diferencia entre instrumentos estandarizados y no estandarizados. Padilla (2002) clasifica las técnicas de evaluación en: procedimientos observacionales, instrumentos de encuesta, *test*, pruebas objetivas y otras técnicas y estrategias (Lukas y Santiago, 2009). Díaz y Hernández (2002) distinguen tres tipos de técnicas de evaluación: informales, semiformales y formales, clasificación que describiremos más adelante en este trabajo.

Es necesario establecer la distinción entre técnica e instrumento pues, aunque se emplean como sinónimos no lo son. Una técnica es un método operativo que permite poner en juego distintos procedimientos o estrategias para adquirir la información deseada, y puede utilizar varios instrumentos. Se trata de un concepto más amplio que el concepto de instrumento, el cual es una herramienta, material o recurso estructurado, específico y concreto que se aplica para obtener la información que deseamos, y suele estar vinculado a una técnica (Castillo y Cabrerizo, 2010). Lukas y Santiago (2009) mencionan que las técnicas que se consideran más utilizadas en la evaluación educativa son: la observación, la entrevista, el cuestionario, las pruebas de aprendizaje, los *test* estandarizados.

Independientemente de la clasificación de la técnica, instrumento o estrategia de evaluación empleada, la información obtenida a partir de ésta debe cumplir dos objetivos básicos: obtener la máxima fiabilidad y validez. La fiabilidad hace referencia a la solidez de la información obtenida y a la ausencia de errores de medida; es necesaria pero no suficiente pues se debe asegurar la validez del resultado, que es el grado en que las mediciones obtenidas representan realmente lo que pretendían representar.

Para seleccionar los instrumentos que más se adecuen a nuestras necesidades de evaluación, se deben contestar las siguientes preguntas: qué se requiere evaluar, para qué se va a

evaluar y qué utilidad va a tener la información obtenida. En la medida que tengamos clara la finalidad de nuestra evaluación, seleccionaremos las técnicas e instrumentos que permitan valorar los objetivos de aprendizaje seleccionados y a su vez darles validez y confiabilidad a los resultados obtenidos (Medina, 2010).

Técnicas de evaluación informal.

Las técnicas de evaluación informal pueden formar parte de episodios de enseñanza breves. Implican poco gasto didáctico y el profesor suele no presentarlas a los alumnos como evaluaciones, por lo que son ideales para valorar el desempeño de los estudiantes en un determinado momento de la instrucción. Se identifican dos técnicas de evaluación informal: observación de las actividades y exploración por medio de preguntas.

La observación puede llevarse a cabo de forma sistemática o asistemática, abierta o dirigida; al no ser una evaluación formal altamente instrumentada, los alumnos no se sentirán evaluados. Puede emplearse como evaluación formativa si se utiliza como un diagnóstico o sumativa si se realiza al término de un episodio instruccional para evaluar lo aprendido, sin embargo, en este punto se necesitará una instrumentación más formal. Por medio de la observación es posible valorar los conocimientos conceptuales, procedimentales y actitudinales.

Los profesores en su discurso didáctico utilizan ampliamente el uso de preguntas dirigidas a sus alumnos con la finalidad de estimar el nivel de comprensión de los tópicos revisados. Este tipo de evaluación requiere formular preguntas pertinentes que induzcan la comprensión, la capacidad de análisis y el nivel de aplicación, con base en la temática de la clase y los objetivos didácticos.

A través del análisis de las respuestas de los alumnos, el profesor tiene la oportunidad de identificar hipótesis, estrategias, concepciones erróneas, que le informan sobre el modo y grado en que se está logrando el aprendizaje de los conocimientos curriculares (Díaz y Hernández, 1999).

Técnicas de evaluación semiformales.

Estas técnicas se caracterizan por requerir de un mayor tiempo de preparación y valoración que las informales, y suelen ser percibidas por los alumnos más como actividades de evaluación, ya que les exigen respuestas que tendrán una calificación. Algunas variantes de la evaluación semiformal son:

- Los trabajos y ejercicios que los alumnos realizan en clase.
- Las tareas y los trabajos que los profesores encomiendan a sus alumnos para realizarlos fuera de clase.
- La evaluación de portafolios.

Alineados a los objetivos de aprendizaje, los trabajos y ejercicios que se realizan en clase permiten al profesor valorar sobre la marcha el momento de aprendizaje en el que se encuentran sus alumnos, propiciando el desarrollo de una evaluación formativa y la toma de decisiones con el objeto de regular su acción docente. Posibilitan el empleo de distintas estrategias de evaluación (coevaluación y autoevaluación) que involucre a los alumnos como evaluadores, para que ellos aprendan a evaluar sus procesos y productos sobre los avances logrados.

Los trabajos que los alumnos realizan fuera de clase pueden ser diversos: ejercicios, solución de problemas, trabajos de investigación en la biblioteca, etcétera. Se pueden realizar en forma individual o en equipos cooperativos. Se plantean para que los alumnos piensen y aprendan

reflexivamente. Deben ser revisados en el aula a la brevedad posible para que los estudiantes obtengan información acerca de su desempeño, identifiquen los puntos relevantes del ejercicio y los criterios de evaluación que se consideraron en la tarea evaluada.

La evaluación de portafolios consiste en hacer una colección de trabajos como: ensayos, análisis de textos, composiciones escritas, problemas matemáticos resueltos, dibujos, ideas sobre proyectos, reflexiones personales, etcétera; que los estudiantes realizan durante un cierto periodo educativo, demuestra el logro y habilidades de los estudiantes. Conocer el nivel de desempeño y logros de los estudiantes mediante un portafolios permite evaluar el aprendizaje desde un enfoque formativo (Díaz y Hernández, 1999)

Técnicas de evaluación formales.

Este tipo de evaluación exige un proceso de planeación y elaboración sofisticado, así como de mayor control en su aplicación, por lo que tanto alumnos como maestros las perciben como “verdaderas” situaciones de evaluación. Suelen utilizarse en forma periódica o al finalizar un ciclo completo de enseñanza-aprendizaje. Dentro de ellas encontramos varias modalidades:

- Mapas conceptuales.
- Evaluación del desempeño.
- Pruebas o exámenes.

2.2 Instrumentos de evaluación.

Mapas conceptuales.

Los mapas conceptuales son recursos gráficos que permiten la evaluación de los conocimientos conceptuales mediante la representación jerárquica de conceptos y proposiciones sobre un tema. Cuando se les utiliza como una estrategia evaluativa, se debe valorar su calidad, para ello Díaz y Hernández (1999) mencionan cuatro criterios de evaluación y toman como base el trabajo de Novak y Gowin (1998):

- A través de la calidad de la organización jerárquica conceptual en los mapas elaborados es posible valorar el nivel de diferenciación progresiva conseguido.
- Considerar la validez y precisión semántica de las diferentes relaciones establecidas entre los conceptos involucrados.
- Tomar en cuenta dentro del mapa, el nivel e integración correcta de los conceptos y las relaciones cruzadas.
- Considerar los ejemplos incluidos en el mapa.

La evaluación por medio de mapas conceptuales puede realizarse según tres variantes:

1. Se pide elaborar un mapa a partir de una temática general que propone el profesor. Los alumnos construyen un mapa con los conceptos y las relaciones que consideren entre ellos. En este caso es posible valorar: la forma en que los alumnos son capaces de identificar una serie de conceptos relacionados con el concepto nuclear, el modo en que son jerarquizados en niveles de inclusividad, la precisión semántica con que se les ubica y las relaciones apropiadas entre conceptos. Esta actividad es recomendable para evaluaciones iniciales y en la evaluación sumativa parcial o final.

2. Se pide elaborar un mapa a partir de un grupo o lista de conceptos que el profesor propone. Se sugiere dar una lista con pocos conceptos para facilitar su elaboración. Esta actividad resultará más fácil porque los alumnos no necesitan evocar los conceptos, solo deberán centrarse en cómo organizarlos jerárquicamente. Es posible utilizar esta actividad para evaluación diagnóstica, formativa o sumativa.

3. Se facilita a los alumnos la estructura de un mapa conceptual sobre un tema determinado y se les pide que incorporen en él los conceptos que consideren necesarios. Otras variantes de esta modalidad son: presentar un mapa semivacío para que los alumnos lo completen y pedir a los alumnos que a partir de varios micro mapas integren un mapa que los incluya detallando las relaciones.

Para la valoración de los mapas se recomienda asignar arbitrariamente puntuaciones a la organización jerárquica, los conceptos evocados, las relaciones semánticas apropiadamente expresadas, considerar la originalidad, etcétera.

Evaluación del desempeño.

Las pruebas de desempeño o de ejecución son situaciones diseñadas para que los alumnos demuestren sus habilidades aprendidas, tales como: utilizar una técnica de primeros auxilios, escribir un texto concluyente, ejecutar una pieza musical, realizar un experimento, ejecutar una estrategia cognitiva compleja, solucionar problemas matemáticos, etcétera. Son situaciones de evaluación donde interesa que el alumno ponga en acción el grado de comprensión de los aprendizajes alcanzados. Díaz y Hernández (1999, p 387) mencionan que: “Aunque se ha considerado que este tipo de pruebas es muy útil para la evaluación de contenidos procedimentales, también lo puede ser para los conceptuales y los actitudinales”.

Estas evaluaciones permiten valorar aspectos que las pruebas objetivas no pueden, ya que las tareas auténticas realizadas tienen mayor sentido para los alumnos, quienes al saberse poseedores de una destreza que les permite solucionar tareas o resolver problemas cotidianos, perciben este tipo de evaluaciones como algo motivante. Es deseable que las tareas involucradas en este tipo de pruebas posean algunas de las siguientes características:

- Que la tarea utilizada corresponda con las intenciones de enseñanza.
- Que la tarea represente el contenido y los procedimientos que se esperan desarrollar en los estudiantes.
- Que la tarea permita a los estudiantes demostrar su progreso y habilidades.

Pruebas o exámenes.

El examen es el instrumento de evaluación escolar más empleado. Son pruebas de lápiz y papel aplicados en ambientes controlados, donde se intenta identificar el grado de rendimiento o aprendizaje alcanzado por los estudiantes. En el ámbito educativo se emplean con la intención de obtener una evaluación objetiva mediante la implementación de juicios acerca de los aprendizajes de los alumnos lo que posibilita cuantificar el grado de rendimiento por medio de calificaciones fundamentadas en números.

Los exámenes deben ser diseñados con un nivel satisfactorio de validez, que éstos nos permitan valorar los conocimientos o habilidades que deseamos, y de confiabilidad, que su aplicación en condiciones similares permita obtener resultados equivalentes.

Este tipo de pruebas pueden clasificarse en exámenes estandarizados y los formulados por los profesores o pruebas objetivas. Los primeros son elaborados por especialistas en evaluación, mientras que los segundos son formulados según las necesidades del proceso educativo. Ambos requieren de una valoración cuantitativa.

Con base en la clasificación anterior, podemos identificar evaluaciones basadas en normas o en criterios. En la evaluación fundamentada en normas se compara a un sujeto contra su grupo de referencia (por ejemplo, otras personas en la misma situación). Algunas críticas que han recibido este tipo de pruebas estandarizadas son:

- Sirven para medir algunas capacidades generales y no conocimientos o habilidades específicas.
- Se requiere de un número amplio de calificaciones para conocer la distribución de los resultados.
- Permiten obtener información sobre el grado de acierto de los reactivos respondidos por los alumnos; mientras que ofrece una información limitada sobre las fallas, no existe la posibilidad de retroalimentación y orientación.

La evaluación con base en criterios contrasta el desempeño de los estudiantes con ciertos criterios diseñados con anterioridad, usualmente los que se especifican en los objetivos educativos. Un instrumento de evaluación con base en criterios obtiene la información acerca de lo que los alumnos han aprendido después del proceso de enseñanza aprendizaje y permite valorar el lugar de un aprendiz en relación con un dominio conceptual, procedimental, etcétera, previamente definido.

Los exámenes son contruidos con un conjunto de reactivos y su nivel de estructuración influye de manera significativa en el tipo de procesos cognitivos y de aprendizajes significativos que logran los alumnos. Así, por ejemplo, se puede distinguir entre los exámenes que propician el reconocimiento de la información, los que demandan el recuerdo de la información y los que valoran el nivel de comprensión y/o aplicación del conocimiento.

Los reactivos de alto nivel de estructuración, entre los que se encuentran los de “falso verdadero”, “correspondencia” y “complementación”, exigen a los alumnos esencialmente el simple reconocimiento de la información. Los reactivos de “respuesta breve” o “completamiento” y los de “opción múltiple” demandan usualmente el recuerdo de la información, aunque también pueden valorar niveles de comprensión e incluso la aplicación de los conocimientos.

Los reactivos estructurados presentan las siguientes características:

- Se utilizan en las llamadas “pruebas objetivas”.
- Pueden ser interpretados y calificados con mucha rapidez o precisión.
- Su diseño no es tan sencillo como parece.
- La selección de los reactivos o de las respuestas de éstos por parte del diseñador no está exenta de subjetividad.

- Puede responderse un número considerable de reactivos en un tiempo corto.
- Procesos complejos como: creatividad, capacidades de comunicación o expresión, elaboración de argumentos, razonamiento sofisticado, pensamiento crítico, etcétera, no pueden ser valorados. Tampoco son apropiados para valorar contenidos procedimentales y actitudinales.
- Por el azar pueden contestarse correctamente muchos reactivos.
- Gran cantidad de reactivos pueden responderse de manera efectiva por medio de aprendizajes memorísticos o poco significativos.

Los exámenes elaborados con reactivos de “respuesta abierta” y los de “desarrollo de temas” demandan una evaluación cualitativa y de actividades de mayor complejidad y procesamiento tales como comprensión, elaboración conceptual, capacidad de integración, creatividad, habilidades comunicativas, capacidad de análisis y establecimiento de juicios reflexivos o críticos.

Para calificarlos el profesor deberá establecer juicios cualitativos que pudieran tener cierto grado de subjetividad. Para garantizar un cierto nivel de objetividad en las calificaciones pueden aplicarse listas de criterios sobre las respuestas solicitadas que permitan garantizar mayor fiabilidad.

Por otro lado, los reactivos abiertos, de solución de problemas o de temas a desarrollar, que solicitan que el alumno exprese un conocimiento con sus propias palabras o que demandan la aplicación y la solución de problemas, o el análisis crítico de la información aprendida, valorarán un aprendizaje de mayor significatividad.

Los reactivos de respuesta simple, de reconocimiento o de recuerdo de la información, demandan un nivel de significatividad del aprendizaje muy bajo o superficial, mientras que las pruebas objetivas son instrumentos que permiten un análisis del dominio que alcanzan los alumnos de los objetivos de aprendizaje; Lukas y Santiago (2009) citando a Del Rincón (1995), indican que existen cinco fases para su planificación, ver tabla 2.1.

Tabla 2.1. Fases de la planeación de una prueba, tomado de Lukas y Santiago (2009)

| |
|---|
| Fase 1: Planteamiento del problema. |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación de los objetivos de la prueba. 2. Selección y delimitación de conocimientos. 3. Elaboración de la tabla de especificaciones. |
| Fase 2: Elaboración de la prueba. |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Redacción de los ítems. 2. Revisión de los ítems por expertos. 3. Confección del original de la prueba. 4. Instrucciones. 5. Distribución de los ítems 6. Hoja de respuestas 7. Revisión del original. 8. Normas de corrección. 9. Estudio preliminar o ensayo. 10. Impresión definitiva. |
| Fase 3: Aplicación y organización de los resultados. |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Presentación del instrumento. 2. Administración de la prueba. |

| |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 3. Corrección. 4. Impresión definitiva. |
| Fase 4: Estudio empírico de la prueba. |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Análisis estadístico. 2. Validez y fiabilidad de la prueba. 3. Análisis de los ítems. 4. Tabla de cálculos. |
| Fase 5: Síntesis sobre el estudio |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Resultados más significativos. 2. Optimización de la prueba elaborada. 3. Sugerencias para aplicaciones posteriores. |

2.3 Preguntas de opción múltiple.

Las preguntas de selección de respuesta son un tipo de prueba objetiva. Entre los tipos de reactivos que presentan opciones se encuentran: los reactivos de opción múltiple, los de falso y verdadero, de selección alterna, los de correlación y los dependientes de contexto. Las pruebas de opción múltiple son las más utilizadas para medir el conocimiento y la comprensión conocimiento de los estudiantes.

El diseño de este tipo de prueba consiste en plantear una pregunta o problema, denominado reactivo, que consta de un enunciado, que puede incluir una imagen o gráfica para dar contexto a la información, y una serie de respuestas llamadas opciones. Entre las respuestas hay una correcta, llamada solución y otras incorrectas conocidas como distractores. El número de respuestas opcionales en cada reactivo obedece a la probabilidad que se acepte de que el alumno conteste bien al azar. Por ejemplo, los exámenes del Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior (CENEVAL) plantean cuatro opciones en cada reactivo, incluyendo la correcta; algunos autores usan hasta cinco opciones por reactivo (González, 2002).

Después de redactar los reactivos, éstos deben ser revisados por expertos (por ejemplo, profesores que impartan la misma asignatura o un comité académico, entre otros) para verificar que cumplen con dos condiciones que debe tener un buen reactivo: el grado de dificultad y su poder de discriminación.

El grado de dificultad se mide por el porcentaje de alumnos (p) que responden correctamente el reactivo. Usualmente la probabilidad de responder al azar correctamente un reactivo es de 25 %. González (2002) menciona que, de acuerdo con el CENEVAL, un reactivo debe tener un grado de dificultad entre 20 y 80 % para que sea aceptable y que su intervalo óptimo de respuesta debe estar entre 27 y 73 %.

El poder de discriminación de un reactivo debe permitir diferenciar entre un estudiante con buena preparación y otro que no la tenga. Esto se analiza verificando que el reactivo sea respondido correctamente por una mayoría de sustentantes que pertenecen al grupo que obtiene las mejores calificaciones en el conjunto de reactivos, e incorrectamente por la mayoría de los sustentantes que obtienen las calificaciones más bajas en el examen. El poder de discriminación (PD) se define como la diferencia entre el porcentaje de alumnos responde correctamente (cota superior, PGS) y el porcentaje de alumnos que responde incorrectamente (cota inferior, PGI).

Los reactivos de aplicación en las áreas científicas requieren normalmente que se efectúen algunas operaciones aritméticas. Estos cálculos deben ser sencillos para responder el reactivo en el tiempo disponible, usualmente corto, y minimizar la posibilidad de un error numérico, cuya detección no sería posible durante el proceso de calificación, ya que usualmente sólo se revisan resultados.

La parte más difícil suele ser el diseño de los distractores o respuestas equivocadas. Estos distractores comprenden respuestas que no parezcan absurdas, ya que el estudiante las eliminaría automáticamente, por el contrario, deben ser respuestas posibles para quien no domina el tema y requiera del análisis de todas las posibilidades antes de elegir la respuesta correcta (González, 2002).

Pautas para diseñar preguntas de opción múltiple.

Los objetivos de aprendizaje determinan qué necesita ser valorado. De preferencia las preguntas deben ser revisadas por expertos para evitar sesgos y asegurar que las preguntas cubran una amplia gama de habilidades del estudiante. Es necesario identificar los objetivos de evaluación de la prueba, con esa finalidad se responden las preguntas (Sydney, 2017):

- ¿Qué es lo que la pregunta desea evaluar?
- ¿Es una prueba con preguntas de opción múltiple el mejor medio de evaluación?

En el diseño del cuerpo de la pregunta o tallo es importante una buena redacción, un lenguaje claro y sin ambigüedades. El tallo también debe establecer claramente lo que se espera del estudiante antes de que se lean las opciones. Este requisito descartaría el uso de la pregunta "¿cuál de las siguientes opciones es la correcta?". Con esa finalidad se responden las preguntas:

- ¿Está el problema claramente establecido?
- ¿El problema está redactado de forma clara y concisa?

Las opciones deben ser independientes entre sí, consistentes en lógica y gramática en relación con la pregunta y el lenguaje utilizado debe ser claro y simple. Se debe evitar pistas sobre la respuesta correcta y las pistas que le permitirán a un estudiante descartar los distractores. Los enunciados mal contruidos pueden permitirle a un estudiante reducir el número de distractores plausibles y, por lo tanto, aumentar las posibilidades de adivinar la respuesta correcta. En el diseño de las preguntas se debe evitar usar:

- Frases estereotipadas que dirijan a un estudiante a la respuesta correcta.
- Longitud desigual de las opciones.
- Opciones mutuamente excluyentes donde, si una opción es incorrecta, su opuesto debe ser correcto.
- Incoherencias gramaticales donde las opciones pueden ser ignoradas porque son gramaticalmente inconsistentes con la raíz.
- Absolutos: nunca, siempre, solo, ninguno de los anteriores, todos los anteriores. Estas opciones son usualmente incorrectas.
- Dobles negativos: causa una gran confusión.
- Cuando se usen negativos, solo se deben usar en el cuerpo de la pregunta y se deben resaltar imprimiendo en mayúsculas o subrayando.

- "Ninguno de los anteriores" solo debe usarse cuando es importante ocultar una respuesta correcta que se reconoce fácilmente.

Con la finalidad de evaluar el desempeño de la prueba es necesario una evaluación formal de las preguntas de opción múltiple, conocida como "análisis de elementos" de la prueba. En la que se responden preguntas que permiten identificar si la prueba midió lo que pretendía, como, por ejemplo:

- ¿Las preguntas estaban redactadas con claridad?
- ¿Fue el nivel de dificultad apropiado?
- ¿Qué preguntas resultaron ser las más difíciles?
- ¿Hubo preguntas que la mayoría de los estudiantes con altas calificaciones contestaron erróneamente? (Washington, 2017).

Ventajas:

- Pueden evaluar una amplia gama temas de un curso.
- Se responden rápidamente.
- La puntuación es objetiva y confiable.
- Las preguntas "buenas" pueden almacenarse en un banco de preguntas y reutilizarse.
- Las preguntas de opción múltiple son ideales si se tienen que aplicar a grupos grandes.
- Se pueden administrar y calificar fácilmente, convirtiéndose así en una forma de medir el conocimiento del estudiante a gran escala.
- Se consideran una forma de evaluación objetiva de alta fiabilidad.

Desventajas:

- Lleva mucho tiempo y entrenamiento el desarrollo de preguntas bien estructuradas.
- Pueden alentar que los estudiantes adivinen la respuesta.
- Pueden alentar que el estudiante solo aprenda por reproducción de la información.
- La calidad de la prueba está determinada por la habilidad de los constructores de la prueba.
- Alienta a los profesores a ejercitar la memorización superficial de hechos aislados y fórmulas. No promueve un entendimiento científico profundo.
- Debido a su objetividad, este tipo de preguntas no proporcionan a los estudiantes la oportunidad de explicar sus respuestas, lo que limita potencialmente la profundidad y alcance de la información recopilada de los estudiantes. Esta falta de información puede no ser una preocupación para la evaluación sumativa, pero para los maestros es importante comprender el razonamiento del alumno con propósitos instruccionales.
- En la evaluación de las ciencias este tipo de preguntas tienden a centrarse en piezas discretas de hechos y tienen dificultades para medir ciertos aspectos de la indagación en ciencias, así como los argumentos complejos o entendimiento coherente (Liu *et al.*, 2011).

Evaluación de las preguntas de opción múltiple

Una de las ventajas de usar preguntas de opción múltiple es que las estadísticas de las pruebas son fáciles de obtener. Los parámetros que definen la calidad del elemento de prueba son la discriminación (D) y la facilidad (F).

La discriminación compara el número de respuestas correctas de una pregunta para el 27 % de los alumnos con una calificación alta y para el 27 % con una calificación baja en la prueba. Si para cualquier pregunta, la cantidad de respuestas correctas de los estudiantes que se encuentran con calificación baja es mayor que el número de respuestas correctas de los estudiantes con calificación alta entonces es posible que el elemento no discrimine eficazmente entre los estudiantes.

La facilidad (F) es el porcentaje de la clase que obtiene la respuesta correcta. En general:

- Si $F < 30\%$ la pregunta es difícil.
- Si $F = 30-75\%$ la pregunta es satisfactoria.
- Si $F > 75\%$ la pregunta es fácil.

Si el material es o no aceptable en términos de dificultad, usualmente se deja a criterio del evaluador. Una pregunta difícil con una alta discriminación puede ser útil para establecer un orden de rango de los estudiantes. Una pregunta fácil con poca discriminación es probablemente una pregunta de regalo. Las preguntas con discriminación y facilidad aceptables pueden almacenarse para uso futuro.

La calidad de una prueba con preguntas de opción múltiple como un todo, se mide por su validez (v) y confiabilidad (r). La validez de las pruebas desarrolladas por el profesor se determina a la luz del contenido y los objetivos del curso para determinar el grado en que coinciden la prueba, el contenido y los objetivos.

La confiabilidad es la probabilidad de que se obtenga el mismo puntaje en una prueba, en una segunda aplicación, por el mismo grupo o un grupo equivalente de estudiantes o cuando otro profesor califique la prueba. La confiabilidad aumenta con la duración de la prueba y si se incluyen preguntas con altos valores de discriminación. Las preguntas e instrucciones claras también aumentarán la confiabilidad.

2.3.1 Prueba diagnóstica de dos escalones

Los alumnos desarrollan ideas y creencias acerca del mundo natural a través de la experiencia de su vida diaria, algunas de ellas son: experiencias sensoriales, de lenguaje, bagaje cultural, interacción con sus compañeros, así como instrucciones informales. Tüysüz (2009) menciona que diversos estudios revelan que los alumnos llevan a las clases de ciencias estas ideas y explicaciones de los fenómenos naturales, las cuales son inconsistentes con las ideas aceptadas por la comunidad científica. Estas ideas son a menudo retenidas por los estudiantes, resistentes a la enseñanza tradicional y forman pensamientos coherentes en estructuras conceptuales equivocadas.

Los alumnos que estudian determinado tema científico pueden presentar un buen desempeño y aprobar sus exámenes, sin embargo, no necesariamente cambiarán sus ideas originales, aunque éstas entren en conflicto con los conceptos científicos enseñados. Tüysüz (2009) explica por qué las concepciones de los alumnos son fuertemente arraigadas cuando cita a Duit y

Treagust (1995) quienes atribuyen que los alumnos están satisfechos con sus concepciones por lo que no valoran los nuevos conceptos; para ellos sus ideas explican satisfactoriamente cómo se comportan los fenómenos estudiados. Es por ello que los conceptos enseñados pueden ser malinterpretados, modificados o rechazados por los alumnos, en aras de conservar sus puntos de vista.

Estas interpretaciones llamadas concepciones alternativas influyen en la forma en que los estudiantes aprenden nuevos conocimientos científicos y juegan un papel importante en los aprendizajes posteriores. Las evaluaciones deben valorar cómo piensan los estudiantes en lugar del conocimiento que poseen. Las pruebas con preguntas de doble escalón son una herramienta eficaz para determinar el entendimiento conceptual de los estudiantes y sus concepciones alternativas. Consideradas como una evaluación formativa, tienen el propósito de ayudar al maestro a identificar las áreas de aprendizaje problemáticas para los estudiantes, que puedan ser educadas para corregir cualquier concepción alternativa o área de dificultad y desarrollar una comprensión más profunda de un tema determinado (Mutlu y Sesen, 2015).

Treagust (1988), citado en Treagust (2006), desarrolló la técnica de diagnóstico de dos escalones, con el propósito de trabajar en el área de las concepciones alternativas, así como, facilitar a los maestros en ciencias la aplicación de sus descubrimientos en este tipo de investigaciones.

Para que el profesor pueda auxiliar a los alumnos en la organización de sus conceptos y que éstos estén más apegados a lo científicamente aceptable, se requiere identificar sus concepciones alternativas (Tüysüz, 2009). Los investigadores en educación científica pueden determinarlas utilizando diversas metodologías: mapas conceptuales, entrevistas, instrumentos diagnósticos de opción múltiple, investigaciones de observación-explicación, diagramas de V, pruebas de doble escalón, siendo estas últimas, una de las más utilizadas por su fácil aplicación y confiabilidad a pesar de su arduo diseño (Karadeniz, 2013).

2.3.2 ¿Qué son las preguntas de doble escalón?

En 1988 Treagust desarrolló pruebas con dos escalones, que conservan las ventajas de los exámenes de opción múltiple por su fácil puntuación (Sibiç *et al.*, 2020). Las preguntas de doble escalón se dividen en dos secciones. El primer escalón es similar a las preguntas de opción múltiple tradicionales; está formado por una pregunta y una serie de opciones, una de ellas es la respuesta correcta y el resto son distractores.

En el segundo escalón, se pide a los estudiantes que elijan la opción que mejor describa el porqué de su elección en el primer escalón. Estos distractores se formulan considerando las concepciones alternativas de los estudiantes, que pueden ser identificadas en la literatura especializada, vía entrevistas, y/o por un formato también de doble escalón, donde el segundo es una pregunta de respuesta abierta que permite a los estudiantes declarar por escrito lo que conocen del tema. El análisis de estas respuestas informa a los docentes de las posibles concepciones alternativas que presentan los estudiantes (Karadeniz, 2013).

Las pruebas que contienen preguntas de doble escalón cuyas opciones fueron diseñadas con base en las concepciones alternativas identificadas en los estudiantes, no sólo contribuyen al desarrollo de la investigación educativa de las concepciones alternativas y las dificultades de

aprendizaje, sino también permite a los maestros planificar su instrucción y reestructurarla sobre la base de los resultados de estos estudios.

Según Treagust (1988), el diseño de un instrumento de diagnóstico de dos escalones debe tener tres etapas y diez pasos (ver cuadro 3.1). En la primera etapa se definen los conceptos del tema específico que se desea enseñar y con ellos se construye un marco de referencia de acuerdo con un mapa conceptual y los argumentos propuestos (pasos 1 a 4). En la segunda etapa se revisa la literatura sobre las concepciones de los estudiantes y se desarrollan preguntas abiertas que incluyan múltiples temas para las entrevistas; de éstas se obtienen las explicaciones de los estudiantes a sus respuestas (pasos 5 a 7). Finalmente, se desarrolla el instrumento diagnóstico de dos escalones (pasos 8 a 10) (Treagust y Chandrasegaran, 2007).

En la primera etapa se selecciona el contenido que se desea evaluar, con base en el currículo y el objetivo de enseñanza esperado. En este estudio se seleccionó el tema de equilibrio químico, por ser un tema fundamental para el aprendizaje de otros conceptos químicos, donde se espera que los alumnos identifiquen que las reacciones químicas reversibles son un proceso simultáneo en sentido contrario, así como los factores que modifican la constante de equilibrio.

Después se diseña un mapa conceptual donde se identifica la naturaleza del tema seleccionado para la instrucción, y se identifican las ideas centrales que lo conforman. Finalmente, se valida el mapa conceptual con otros maestros de ciencias, obteniendo claridad en los conceptos que serán investigados de acuerdo con el nivel de enseñanza deseado.

En la segunda etapa se identifican las concepciones alternativas reportadas en la literatura y se obtienen las ideas del grupo de estudio mediante entrevistas individuales o cuestionarios con preguntas de respuesta abierta. Se identifican las similitudes o diferencias entre lo reportado y lo encontrado en los cuestionarios, para determinar las concepciones alternativas.

En la tercera etapa se construye el primer escalón de las preguntas seleccionadas, se pide que los estudiantes elijan la respuesta que consideren más apropiada y den la explicación de por qué la seleccionaron. Los resultados obtenidos son analizados y con ellos se desarrollan las preguntas de doble escalón, tabla 2.2 (Kaltakci *et al.*, 2015).

Los distractores del segundo escalón se construyen con base en las concepciones alternativas identificadas en la literatura, a través de entrevistas o en evaluaciones con pregunta abierta.

Este tipo de pruebas consideran el razonamiento o la interpretación de los estudiantes, que los llevaron a elegir la opción del primer escalón y vinculan sus elecciones con las concepciones alternativas del concepto valorado. Otra ventaja de las pruebas construidas con preguntas de doble escalón es que permiten una administración en pequeña o gran escala y, ofrecen ideas sobre el razonamiento de los estudiantes en estudio (Kaltakci *et al.*, 2015; Mutlu y Sesen, 2015).

Tabla 2.2. Pasos para diseñar una prueba de doble escalón. Diseño propio a partir de Mutlu y Sesen (2015); Treagust y Chandrasegaran (2007).

| 1. Definir el área de contenido: | 2. Obtener las concepciones alternativas de los sujetos de estudio: | 3. Desarrollo y validación de la prueba de dos escalones: |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Identificar declaraciones de conocimiento proposicional. • Desarrollar mapas conceptuales. • Relacionar el conocimiento proposicional con el mapa conceptual. • Validar el contenido. | <ul style="list-style-type: none"> • Investigar las concepciones alternativas reportadas en la literatura (maestros de ciencias pre-servicio o estudiantes). • Realizar entrevistas semiestructurada para obtener la información pertinente. • Solicitar a los alumnos sus explicaciones mediante la aplicación de una prueba abierta de opción múltiple con la justificación de su respuesta. | <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar el primer borrador de la prueba con preguntas de dos escalones. • Revisar todos los reactivos para que incluyan todas las ideas de un tema específico. • Desarrollar la propuesta final de la prueba con preguntas de dos escalones. |

Gracias a que el segundo escalón justifica la respuesta del primer escalón, éste sirve como una herramienta que nos permite identificar la comprensión conceptual y las concepciones alternativas. Como se muestra en la tabla 2.3 en la literatura su reportan diferentes tipos de preguntas de dos escalones.

Si el segundo escalón es de pregunta abierta, no será necesario un distractor, ya que, los estudiantes explicaran el motivo de su respuesta. Por otro lado, si el segundo escalón es de opción múltiple, su diseño debe seguir un proceso riguroso para para que este sea válido y confiable, ya que, deberá contener las concepciones alternativas identificadas y distractores adecuados (Sıbiç *et al.*, 2020).

Tabla No 2.3 Estilos de pruebas de dos escalones tomado de (Sıbiç *et al.*, 2020)

| Primer escalón | Segundo escalón |
|-----------------|------------------|
| Opción múltiple | Opción múltiple |
| Opción múltiple | Pregunta abierta |
| Falso/Verdadero | Opción múltiple |
| Falso/Verdadero | Pregunta abierta |

2.3.3 Materias y temas en las que se han aplicado pruebas de doble escalón.

La mayoría de las investigaciones que emplean las pruebas de doble escalón se han realizado en una pequeña escala, en un grupo o una escuela o universidad, aunque hay excepciones como la prueba Taiwanesas de dos niveles para el Estudio Nacional de Aprendizaje de Conceptos Científicos (Treagust y Chandrasegaran, 2007).

Kaltakci (2015) hace referencia al empleo de las pruebas de doble escalón en ciencias e identifica su uso en tres campos: biología, física y química. Por otro lado, Treagust y Chandrasegaran (2007) hacen una revisión en la literatura acerca del uso de instrumentos diagnósticos de dos escalones y reportan 22 artículos en diferentes áreas científicas desde 1980. En el área de la química estos investigadores han identificado la aplicación de estas pruebas en más de 10 temas diferentes, por ejemplo; Química inorgánica, estructura y enlace covalente, equilibrio químico, reacción química, etc.

Sibiç *et al.*, (2020) realizaron un estudio de 42 artículos que fueron publicados entre los años 2000 y 2017 donde encontraron que, de las pruebas de dos escalones desarrolladas, el 46.66 % se aplicaron al campo de la química, un 33.33 % al de biología, 13.33 % en física y 6.66 % a ciencias de la tierra. El 50 % de estas pruebas se usaron en nivel bachillerato y el 23.21 % en secundaria.

Para esta investigación, en el periodo de 2013 a 2020 se identificaron en la literatura diversos estudios que utilizaron preguntas de doble escalón para identificar la comprensión de conceptos químicos, entre ellos el equilibrio químico o las concepciones alternativas de los alumnos, el resultado de esta investigación bibliográfica se resume en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Investigaciones realizadas en torno a las pruebas de doble escalón.

| Autor (es), año | Título del artículo |
|--|--|
| Demircioğlu <i>et al.</i> , (2013) | Una investigación de la comprensión de los estudiantes para maestros de química acerca del equilibrio químico . |
| Karadeniz (2013). | Uso de la prueba de dos escalones para identificar la comprensión conceptual y las concepciones alternativas del tema ácido base en estudiantes de primaria. |
| Chandrasegaran <i>et al.</i> , (2014). | Breve revisión de lo complejo que es enseñar y aprender equilibrio químico , con referencia específica a Malasia. |
| Kumpha <i>et al.</i> , (2014). | Comprensión conceptual del enlace químico en estudiantes tailandeses del grado 10. |
| Loy Loh <i>et al.</i> , (2014). | Exploración de la comprensión de los estudiantes acerca de las celdas electroquímicas usando un instrumento de diagnóstico mejorado de dos escalones. |
| Luxford y Lowery (2014). | Desarrollo del inventario de las representaciones de enlace para identificar las concepciones alternativas de los estudiantes sobre las representaciones de enlace iónico y covalente . |
| Hanson (2015). | Identificación de las concepciones alternativas de los estudiantes en enlace químico . Un estudio de caso de los maestros practicantes en la Universidad de Educación, Winneba. |
| Karpudewan <i>et al.</i> , (2015). | Investigando la comprensión de los conceptos de equilibrio químico en los estudiantes de secundaria. |

| | |
|------------------------------------|---|
| Mutlu y Sesen (2015). | El desarrollo de una prueba diagnóstica de dos escalones para evaluar la comprensión de algunos conceptos de química en estudiantes universitarios. |
| Supasorn y Promarak (2015). | Implementación de la encuesta 5E incorporada con el enfoque de aprendizaje de analogía para mejorar la comprensión conceptual de velocidad de reacción química en los estudiantes de grado 11. |
| Damanhuri et al., (2016). | Comprensión de los conceptos ácido-base en los estudiantes de secundaria: Un reto continuo para los maestros. |
| Özmen y Naseriazar (2018). | Efecto de las simulaciones mejoradas con textos de cambio conceptual en la comprensión de los estudiantes universitarios sobre el equilibrio químico . |
| Schultz et al., (2017). | Evaluación de las herramientas de diagnóstico que los profesores de educación superior pueden aplicar para describir las concepciones de sus estudiantes . |
| Chanyoo et al., (2018). | Un marco multidimensional de cambio conceptual para Desarrollo del aprendizaje del equilibrio químico . |
| Özmen y Naseriazar (2018). | Efecto de las simulaciones mejoradas con textos de cambio conceptual en la comprensión del equilibrio químico por parte de estudiantes universitarios. |
| Sadhu y Laksono (2018). | Desarrollo y validación de una evaluación integrada para medir el pensamiento crítico y la alfabetización química en equilibrio químico . |
| Atriana et al. (2018). | Perfil de las concepciones alternativas del estudiante sobre el equilibrio químico . |
| Annisa y Rohaeti (2018). | El efecto del aprendizaje basado en la indagación en la comprensión del concepto de equilibrio químico de los estudiantes. |
| Ulinnaja et al. (2019). | Modelos mentales de los estudiantes de bachillerato sobre el equilibrio químico . |
| Yamtinah et al., (2019). | Identificación y análisis de las concepciones alternativas de los estudiantes sobre equilibrio químico utilizando un instrumento computarizado de opción múltiple de dos escalones. |
| Kurniawan et al., (2020). | Eficacia del modelo dual de aprendizaje situado para mejorar las concepciones del equilibrio químico de los estudiantes de bachillerato y prevenir sus concepciones alternativas. |
| Omilani y Elebute (2020). | Análisis de las concepciones alternativas sobre el equilibrio químico entre estudiantes de secundaria superior en la metrópolis de Ilesa en el estado de Osun, Nigeria. |

2.3.4 Preguntas de doble escalón reportadas en la literatura científica.

Al realizar una investigación bibliográfica acerca de los artículos que han publicado el desarrollo de las pruebas de dos escalones, nos encontramos que solo algunos de ellos reportan a manera de ejemplo algunas de sus preguntas de doble escalón. Al analizar éstas se evidencia el uso de diferentes tipos de representaciones en su diseño especialmente en el cuerpo del primer escalón, ya que el segundo escalón hace referencia al porqué de su respuesta.

| | |
|--|---|
| | <p>B. La disolución se torna amarillo oscuro. C. <u>La disolución permanece sin cambio.</u></p> <p>La razón.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Para contrarrestar el aumento de $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (ac) el sistema forma más CrO_4^{2-} (ac). 2. Habrá más colisiones entre las partículas de $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (ac) y H_2O (l). 3. <u>No hay cambio en la concentración de ninguna especie.</u> 4. Porque hay un incremento en $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, Q será más grande que K_{eq}. |
| <p>Omilani y Elebute, (2020).</p> | <p>La siguiente reacción hipotética alcanza el equilibrio a 25°C:</p> $\text{A (g)} + \text{B (g)} \longrightarrow \text{C (g)} + \text{D (g)}.$ <p>Una vez que se ha alcanzado el equilibrio, la concentración de C aumenta al remover C. Suponga que la temperatura permanece constante. ¿Cuál de las siguientes opciones se puede decir sobre el valor numérico de la constante de equilibrio?</p> <ol style="list-style-type: none"> A. Disminuye. B. Aumenta. C. <u>Se mantiene sin cambios</u> <p>Razón</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La velocidad de la reacción inversa aumenta y la velocidad de la reacción directa disminuye. 2. La velocidad de la reacción inversa aumenta y la velocidad de la reacción directa permanece igual. 3. <u>La relación entre las concentraciones de los productos y las concentraciones de los reactivos es constante a temperatura constante.</u> |
| <p>Kurniawan et al., (2020).</p> | <p>La reacción de dióxido de nitrógeno (NO_2) a tetraóxido de dinitrógeno (N_2O_4) que tiene lugar es exotérmica, la ecuación de la reacción es la siguiente:</p> $2\text{NO}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4 (\text{g})$ <p>A presión constante, una vez alcanzado el equilibrio, si se eleva la temperatura, entonces el equilibrio:</p> <ol style="list-style-type: none"> A. <u>Se desplaza a la izquierda.</u> B. Se desplaza a la derecha. C. No cambia. <p>Razón:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El aumento de temperatura no afecta la constante de equilibrio (K) y no cambia el equilibrio. 2. El aumento de temperatura desplazará el equilibrio en la dirección de la reacción que absorbe la energía y la constante de equilibrio (K) aumentará. 3. Un aumento de temperatura desplazará el equilibrio en la dirección de la reacción que libera energía y la constante de equilibrio (K) aumentará. 4. <u>Un aumento de temperatura desplazará el equilibrio en la dirección de la reacción que absorbe energía y la constante de equilibrio (K) disminuirá.</u> 5. El aumento de temperatura desplaza el equilibrio en la dirección de la reacción que libera energía y la constante de equilibrio (K) disminuye. |

En los últimos años además de las investigaciones con pruebas de doble escalón, se han realizado estudios con preguntas de tres y cuatro escalones, al igual que las pruebas de dos escalones buscan identificar las concepciones alternativas y evaluar la efectividad de estrategias de aprendizaje, Jusniar *et al.*, (2021); Siswaningsih *et al.*, (2019); Dewi *et al.*, (2020). La diferencia de estas evaluaciones con las preguntas de doble escalón radica en que éstas añaden uno o dos niveles de confianza después del primer o segundo escalón; al preguntar al alumno si está seguro de la opción seleccionada. Dependiendo de las respuestas obtenidas se puede identificar si el alumno comprende los conceptos, adivinó la respuesta, le falta comprensión o presenta concepciones alternativas, en la tabla 2.6 se muestra un ejemplo de la categorización del grado de conocimiento (Khairunnisa y Prodjosantoso, 2020).

Tabla 2.6 Diagnóstico de la concepción alternativa (Khairunnisa y Prodjosantoso, 2020).

| Categoría | Tipo de respuesta |
|-----------------------------------|---|
| Conocimiento científico. | Respuesta correcta + razón verdadera + seguro. |
| Adivinación. | Respuesta correcta + razón verdadera + no está seguro. |
| Falta de comprensión. | Respuesta incorrecta + razón verdadera + no está seguro. |
| | Respuesta correcta + razón equivocada + no está seguro. |
| Falta de conocimiento. | Respuesta incorrecta + razón equivocada + no está seguro. |
| Concepción falsa negativa. | Respuesta incorrecta + razón verdadera + seguro. |
| Concepción falsa positiva. | Respuesta correcta + razón equivocada + seguro. |
| Concepción alternativa. | Respuesta incorrecta + razón equivocada + seguro. |

Las pruebas con preguntas de tres y cuatro escalones son desarrolladas con la finalidad de tener mayor confiabilidad, sin embargo, solo se pregunta al alumno qué tanto confía en su respuesta, pero no se puede saber cuál es la idea que ha construido ni cómo la aplicará en el análisis y resolución de problemas. A continuación, en la tabla 2.7 se muestran dos ejemplos de este tipo de preguntas.

Tabla 2.7. Ejemplo de preguntas de tres y cuatro escalones.

| Autor (es) Año | Pregunta de doble escalón. |
|--|--|
| Siswaningsih <i>et al.</i>, (2019). | Observe la siguiente ilustración del equilibrio químico de la reacción: $A + B \rightleftharpoons C$ |
| Tres escalones | Se puede decir que esa reacción se encuentra en estado de equilibrio si... I. Cambian las concentraciones de reactivos (A y B) y de producto (C). II. La concentración de reactivos (A y B) < concentración de producto (C). III. <u>Las concentraciones de reactivos (A y B) y producto (C) son constantes.</u> La razón, porque en el estado de equilibrio: 1. La velocidad de la reacción directa es mayor que la velocidad de la reacción inversa. 2. La velocidad de reacción hacia el producto no es la misma que la velocidad de reacción hacia el reactivo. 3. No se produce la reacción. 4. <u>La velocidad de reacción hacia el producto es la misma que la velocidad de reacción hacia los reactivos.</u> 5. La reacción directa se completa antes que comience la reacción inversa. |

| | |
|---|--|
| | <p>6. La concentración de reactivos y la concentración de producto son iguales. ¿Está seguro?</p> <ol style="list-style-type: none"> Seguro. No estoy seguro. |
| <p>Dewi et al., (2020).</p> <p>Cuatro escalones</p> | <p>El calentamiento del agua se lleva a cabo de acuerdo con la siguiente reacción:</p> $\text{H}_2\text{O (l)} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O (g)}$ <p>Este equilibrio se clasifica como...</p> <ol style="list-style-type: none"> Equilibrio estático. Equilibrio homogéneo. <u>Equilibrio heterogéneo.</u> Equilibrio de disociación. <p>¡Indique la calificación segura de su respuesta!</p> <ol style="list-style-type: none"> Muy inseguro. No muy inseguro. Promedio. Bastante confiado. Mucha confianza. <p>Razón:</p> <ol style="list-style-type: none"> El reactivo y el producto tienen la misma fase. El reactivo y el producto son las mismas sustancias. Se provoca un cambio de fase de líquido a gas. <u>El reactivo y el producto tienen diferentes fases.</u> <p>¡Indique la calificación segura de su respuesta!</p> <ol style="list-style-type: none"> Muy inseguro. No muy inseguro. Promedio. Bastante confiado. Mucha confianza. |

2.3.5 Ventajas y desventajas de las pruebas con preguntas de doble escalón.

Ventajas:

- ✓ Las preguntas de doble escalón disminuyen el error al responder un reactivo en comparación con las pruebas de opción múltiple, ya que, si éstas presentan hasta cinco posibles respuestas, existe una posibilidad del 20 % de seleccionar al azar la respuesta correcta. En cambio, las preguntas de doble escalón se consideran correctas sólo si ambos escalones son correctos, proporcionan la interpretación del alumno detrás de su respuesta seleccionada (Kaltakci *et al.*, 2015).
- ✓ Se pueden aplicar a un gran número de alumnos de alguna región en particular; de un salón, escuela, estado o país (Chandrasegaran *et al.*, 2014).
- ✓ Es posible emplearlas como una evaluación alternativa a las pruebas de opción múltiple para “calificar” y evaluar el logro de los alumnos, es decir utilizarlas como evaluación diagnóstica o sumativa. Su aplicación como evaluación diagnóstica también permite a los maestros planificar su instrucción con la base en los resultados que se obtengan (Treagust y Chandrasegaran, 2007).

Desventajas:

- Muchos maestros no pueden preparar sus propias versiones de estas pruebas debido a la falta de tiempo o la falta de conocimiento sobre el desarrollo de estas (Karadeniz, 2013).
- Ya que las preguntas de doble escalón permiten probar el dominio conceptual en el primer escalón y el grado de comprensión en el segundo, cuando el nivel de aprendizaje de los alumnos es bajo o memorístico y éstos se enfrentan a una pregunta de dos escalones, los estudiantes se confunden y sus concepciones alternativas pueden hacer que cometan errores al responder en el segundo escalón.
- Además del tiempo invertido en el diseño de la prueba final (siguiendo las tres etapas propuestas por Treagust, 1988) se requiere un análisis minucioso de los resultados obtenidos, en dónde se relacionan las respuestas de los alumnos con las concepciones reportadas en la literatura, se identifica en cuáles conceptos los estudiantes presentan un entendimiento limitado o diferente al científicamente aceptado.

2.3.6 Evaluación de los resultados obtenidos a través de las pruebas de doble escalón.

Para conocer el grado de aprendizaje a partir de las pruebas de dos escalones, generalmente las respuestas se analizan por medio de tablas que muestran las respuestas que los estudiantes dieron al primer escalón de cada pregunta y los porcentajes o la frecuencia de las diferentes razones que justifican sus respuestas. La combinación de las respuestas del primer escalón sobre el contenido y el segundo escalón, que examina las razones de su respuesta, se plasman en una segunda tabla que muestra la combinación de respuestas que los estudiantes dieron en ambos escalones.

Las respuestas de los estudiantes nos permiten clasificar el nivel de comprensión en diferentes categorías, como Yamtinah et al. (2019) y Satriana *et al.* (2018) que identifican tres categorías de comprensión que se muestran en la tabla 2.9, (Satriana *et al.*, 2018).

Tabla 2.9. Niveles de comprensión de los estudiantes (Yamtinah *et al.*, 2019).

| Respuesta de los estudiantes | | Niveles de comprensión |
|------------------------------|----------------------|------------------------|
| Primer escalón | Segundo escalón | |
| Verdadero | Verdadero | Comprende |
| Verdadero | Falso | Concepción alternativa |
| Falso | Verdadero | Concepción alternativa |
| Falso /sin respuesta | Falso /sin respuesta | No comprende |

Además, en algunas investigaciones, para calcular el porcentaje de respuestas correctas, los estudiantes reciben un puntaje de uno si marcan la opción correcta en ambos niveles de una pregunta o 0 (cero) si marcaron una opción incorrecta en cualquiera de los dos o en ambos escalones Karataş *et al.*, (2003) citado en Karadeniz (2013).

Capítulo 3 Equilibrio químico.

Enseñanza del equilibrio químico.

3.1 Enseñanza del equilibrio químico en el bachillerato universitario.

Entre los objetivos fundamentales de la enseñanza de la química en el nivel bachillerato podemos citar los siguientes: proporcionar una cultura científica general y una comprensión global de los procesos químicos. Para lograr estos propósitos los alumnos deben comprender los conceptos fundamentales de la química, así como los procesos químicos que explican los fenómenos cotidianos (Kolomuc y Tekin, 2011).

El equilibrio químico es uno de los conceptos que contempla el Plan de Estudios de todos los subsistemas del bachillerato en México. Para entenderlo, es importante identificar y diferenciar un equilibrio dinámico del concepto de equilibrio estático que estudian en física, concebir la existencia de reacciones químicas simultáneas que nunca terminan y reconocer los factores que afectan a los sistemas en equilibrio y la forma en que lo hacen (Irazoque, 2016). Alterar el estado de equilibrio de los procesos industriales es una de las principales tareas que llevan a cabo los ingenieros químicos, en la búsqueda de procesos más eficientes en la fabricación de los diversos productos requeridos por la sociedad, un ejemplo de ello es el proceso Haber que se utiliza en la fabricación de fertilizantes base amoníaco a partir de hidrógeno y nitrógeno atmosféricos (Cheung *et al.*, 2009).

El estudio del equilibrio químico en el bachillerato es un conocimiento fundamental que los alumnos requieren en los primeros semestres de las licenciaturas del área I y II para resolver problemas teórico-prácticos sobre temas diversos como: disoluciones, pH, reacciones ácido-base, disoluciones amortiguadoras, constante de equilibrio, cambios energéticos en reacciones químicas, corrosión de metales, reacciones de precipitación, polímeros sintéticos y naturales, etc. (Quilez *et al.*, 1993).

Para el aprendizaje del equilibrio químico es fundamental que el alumno entienda primero algunos conceptos básicos antecedentes como son los temas de reacción química, estado gaseoso, estequiometría y cinética química, entre otros, Huerta (2008) e Irazoque (2016).

3.1.1 Enseñanza del equilibrio químico en la Escuela Nacional Preparatoria.

La Escuela Nacional Preparatoria (ENP) es uno de los dos subsistemas de bachillerato de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). En ella, el tema de equilibrio químico se imparte en la tercera unidad (Hidratación, importante para el buen funcionamiento del organismo) de la asignatura de Química IV del área II (ciencias biológicas y de la salud) ubicada en el sexto año del plan de estudios. Este concepto, se estudia en el marco del equilibrio hídrico en el organismo y el equilibrio ácido-base. El estudio de esta unidad inicia con la revisión del agua en nuestro organismo y los líquidos corporales que sirven de contexto para estudiar el tema de equilibrio ácido

base y pH, teoría de Brønsted-Lowry, pares conjugados ácido-base y fuerza de ácidos y bases (ENP UNAM, 2018).

El enfoque de enseñanza del equilibrio químico está situado exclusivamente en disoluciones acuosas ácido-base, el programa de estudios no indica la revisión previa de los temas de cinética química, cuyos conceptos son necesarios para el aprendizaje del equilibrio químico en el marco cinético.

3.1.2 Enseñanza del equilibrio químico en la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades (ENCCH).

En este subsistema del bachillerato universitario, el estudio del equilibrio químico se aborda en la unidad tres de la asignatura de Química III: control de los procesos industriales en la fabricación de productos estratégicos para el país. Primero se revisa el tema de rapidez de reacción y los factores que la modifican, teoría de las colisiones; seguido de la energía de activación, la energía involucrada en la formación y ruptura de enlaces, reacciones endotérmicas y exotérmicas.

En el tema de equilibrio químico se revisan los conceptos de reversibilidad de reacción en el contexto ácido-base de la teoría de Brønsted-Lowry donde se estudia el pH, ácidos fuertes y débiles. El análisis de las condiciones que modifican el equilibrio de las reacciones ácido se hace con base en el principio de Le Chatelier.

Se sugiere revisar los procesos vitales en los que existe el equilibrio químico, como: la formación y destrucción de corales, el proceso carbonato-ácido carbónico o el bióxido de carbono en sangre.

En la siguiente tabla se muestra un comparativo de los programas de estudio de química de los dos subsistemas del bachillerato UNAM.

Tabla No 3.1. Programas actualizados del bachillerato de la UNAM.

| Contenido | Química IV (obligatoria área II), programa 2018 ENP: sexto año | Química III (optativa), programa 2016 CCH: quinto semestre |
|------------------------|---|--|
| Primera Unidad: | Automedicación, un problema de salud pública en México | La industria química en México: factor de desarrollo |
| Segunda Unidad: | Alimentación saludable en México, un reto para todos | De los minerales a los metales: procesos químicos, usos e importancia. |
| Tercera Unidad: | <p>Hidratación, importante para el buen funcionamiento del organismo. Contenidos conceptuales</p> <p>3.1 El agua en nuestro organismo:</p> <p>a) Distribución corporal y funciones del agua. Osmosis y presión osmótica</p> <p>b) Balance hídrico entre ingesta y pérdida de líquidos</p> <p>c) Factores que inciden en los requerimientos hídricos</p> <p>d) Deshidratación y sus síntomas</p> <p>3.2 Líquidos corporales:</p> <p>a) Compartimentos de los líquidos corporales: líquido intracelular y extracelular</p> <p>b) La importancia de la concentración: molaridad y normalidad</p> <p>c) Concentración (meq/L y mmol/L) de electrolitos en los líquidos corporales: Na⁺, K⁺, Cl⁻, Ca²⁺, HCO₃¹⁻, HPO₄²⁻, Mg²⁺</p> <p>3.3 Equilibrio ácido-base y pH:</p> <p>a) Disociación del agua y pH</p> <p>b) Teoría de Brønsted-Lowry. Pares conjugados ácido-base</p> <p>c) Fuerza de ácidos y bases</p> <p>d) Sistemas amortiguadores en el organismo: ácido carbónico-bicarbonato y fosfatos</p> <p>3.4 Cultura científica en el consumo de bebidas hidratantes:</p> <p>a) Consumo y composición de las bebidas hidratantes</p> <p>b) Tipos de bebidas hidratantes: isotónicas, hipotónicas e hipertónicas</p> <p>c) La jarra del buen beber, una opción saludable</p> | <p>Control de los procesos industriales en la fabricación de productos estratégicos para el país.</p> <p>Reacción química.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Concepto de proceso químico • Concepto de rapidez de reacción. <p>Factores que modifican la rapidez de reacción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Naturaleza de los reactivos. • Temperatura. • Concentración. • Presión. • Superficie de contacto. • Catalizador. <p>Teoría de Colisiones.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energía de las colisiones entre las partículas. <p>Energía y reacción química</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energía de activación. <p>Energía y enlace químico.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energías de formación y ruptura de enlaces químicos. • Relación entre la energía de reacción y la ruptura o formación de enlaces en una reacción. <p>Reacción química</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reacciones exotérmica y endotérmica. <p>Equilibrio químico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reacciones reversibles. • Reversibilidad en reacciones ácido-base. • Características de las reacciones reversibles. • Modelo de Brønsted-Lowry. • El pH como medida de la concentración de iones [H⁺]. • Constante de acidez, Ka (Constante de equilibrio de ácidos). <p>Reacción química:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Concepto de equilibrio químico. |

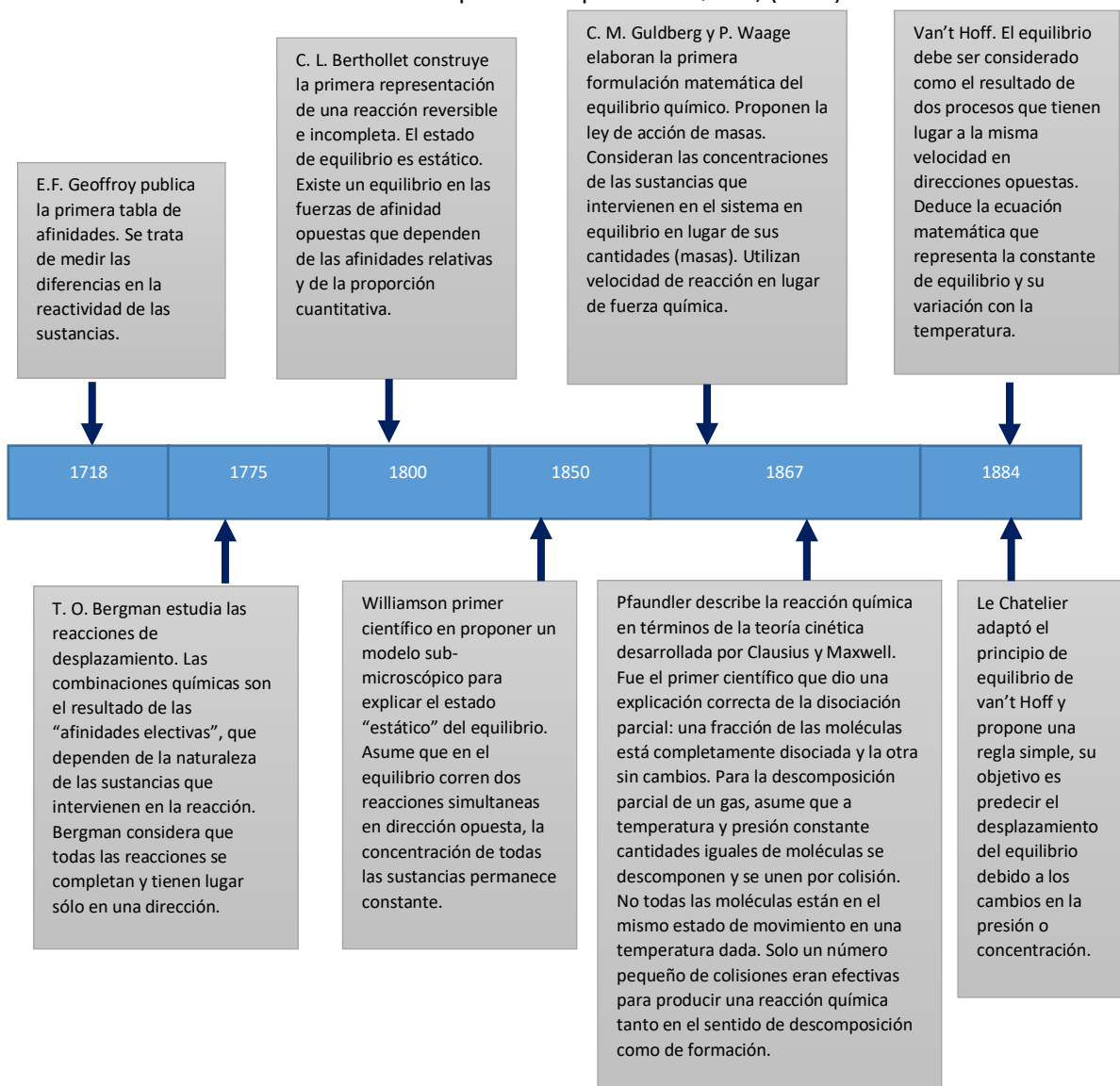
| | | |
|--|--|---|
| | | <ul style="list-style-type: none">• Representación del equilibrio con el modelo de Brønsted–Lowry. <p>Equilibrio químico:</p> <ul style="list-style-type: none">• Factores que afectan el estado de equilibrio de una reacción: concentración, presión y temperatura.• Características de equilibrio químico. <p>Procesos industriales:</p> <ul style="list-style-type: none">• Ventajas y desventajas en la producción industrial.• Eficiencia de los procesos industriales.• Impacto ambiental y socioeconómico de los procesos industriales |
|--|--|---|

3.2 Concepto de equilibrio químico.

La ley del equilibrio químico, tal como la concebimos actualmente, es el resultado de aportes de muchos científicos. Surge de un proceso de construcción que se fue depurando y precisando progresivamente, en el que participaron Guldberg y Waage en 1864, Berthelot y St. Gilles, 1862; Brodie, 1863; Ostwald, 1877, Thomsen 1869 y Horstmann 1873, Van't Hoff 1877, entre otros. Conocer el desarrollo histórico del concepto del equilibrio químico puede ayudarnos a entender cómo evolucionó hasta llegar a su significado actual, lo que permite al docente hacer un análisis metadisciplinario de los recursos didácticos que puede emplear en la enseñanza de este tema, es decir, ayuda a revisar las concepciones que presenta el docente y permite inferir posibles estrategias para su enseñanza (Raviolo, 2007) Figura 3.2

Figura No 3.2. Línea del tiempo que muestra la evolución del concepto del equilibrio químico.

Elaboración personal a partir de Quilez, (2007)



En la enseñanza y aprendizaje del equilibrio químico, se deben considerar tres ideas básicas que definen este concepto: reacciones incompletas, reversibilidad y dinamismo (Quílez, 2004).

El equilibrio químico es un estado final al que llega el sistema bajo determinadas condiciones. Un sistema químico que reacciona solamente podrá alcanzar un estado de equilibrio si lo hace en condiciones de reversibilidad, las reacciones que establecen un equilibrio químico son incompletas y tienen lugar en ambas direcciones. El carácter dinámico del estado de equilibrio implica considerar que se igualan las velocidades directa e inversa y, por tanto, no hay avance neto del proceso. El estado de equilibrio químico está caracterizado por su constante de equilibrio (K) que indica hasta dónde puede progresar la reacción directa frente a la inversa cuando un sistema determinado alcanza el equilibrio. K sólo dependerá de la temperatura y del sistema químico representado y no será función de las concentraciones en el equilibrio (Moncaleano *et al.*, 2003).

Existen dos enfoques en la enseñanza del equilibrio químico: el enfoque basado en la cinética química y el basado en la termodinámica. El primero brinda explicaciones macro y submicroscópicas sobre cómo se logra el equilibrio; mientras que el segundo es más abstracto, aunque conceptualmente más actual (Raviolo, 2007; Irazoque, 2016). A continuación, se describen las definiciones del equilibrio químico desde el enfoque cinético y termodinámico.

“La velocidad de reacción es proporcional a las masas activas de las sustancias reaccionantes. En el equilibrio químico, el número de moléculas que se están descomponiendo en un cierto tiempo es igual al número de moléculas que se están formando.” (Raviolo, 2007)

“El estado de equilibrio se logra cuando un sistema químico alcanza un potencial termodinámico (no energético) mínimo. Es decir, un sistema está en equilibrio cuando su energía libre (transformación a presión y temperatura constante) tiene el valor mínimo.” (Raviolo, 2007)

El equilibrio químico es un concepto abstracto que exige el dominio de un gran número de conceptos subordinados, es por eso que el profesor debe dejar claro que en el equilibrio se iguala la rapidez de la reacción directa e inversa. Por lo tanto, cuando se trata de abordar su enseñanza los profesores deben considerar que algunos estudiantes pueden creer:

- Que la masa y la concentración significan lo mismo para las sustancias que forman parte de un sistema de equilibrio.
- Conceptualizan el equilibrio químico como producto de fuerzas opuestas.
- Los cambios del equilibrio químico son vistos como una aplicación de la tercera ley de Newton (acción-reacción) en las reacciones químicas.
- En el equilibrio las concentraciones de los reactivos son iguales a las concentraciones de los productos.
- Faltan herramientas matemáticas y de razonamiento, lo que a menudo conduce a una pobre comprensión de la Ley de Equilibrio.

Los conceptos clave para comprender el equilibrio químico son su reversibilidad (bidireccionalidad) y dinamismo, sin embargo, en el proceso de enseñanza estas características son representada por fenómenos macroscópicos (visibles), como los cambios de color, la precipitación de

sólidos o la generación de energía en forma de calor; estas representaciones a menudo hacen que los estudiantes entiendan que una reacción química es una reacción unidireccional con un punto terminal o que las reacciones directa e inversa se llevan a cabo por turnos, es decir, que la reacción directa debe terminar para que después inicie la reacción inversa (Chiu *et al.*, 2013; Izquierdo *et al.*, 2016).

3.3 Dificultades de enseñanza y aprendizaje del equilibrio químico.

Al iniciar el aprendizaje del equilibrio químico, los estudiantes no presentan esquemas conceptuales desarrollados de este tema, por lo que, las posibles dificultades de aprendizaje y errores conceptuales o concepciones alternativas que pudieran presentar son ideas inducidas a través de la enseñanza, que pueden asociarse también a problemas de lenguaje dando como resultado que los alumnos relacionen este concepto con otros usados en física y en la vida diaria (Quilez *et al.*, 1993).

Los alumnos, después de estudiar el tema de equilibrio químico, presentan grandes dificultades de comprensión debido a las deficiencias conceptuales y epistemológicas de la enseñanza tradicional. Los factores que influyen en el aprendizaje del equilibrio químico son: el enfoque de enseñanza, el análisis minucioso de la secuenciación de contenidos y de las estrategias utilizadas (es decir, el uso de ciertas analogías que tanto profesores como libros exponen para enseñar este concepto); estos factores nos pueden decir mucho sobre la falta de comprensión en el aprendizaje del equilibrio químico.

Si la introducción de conceptos se hace de manera arbitraria, se está favoreciendo un aprendizaje memorístico, ya que el concepto no tendrá significación lógica e interés para el estudiante, además cuando la enseñanza se orienta hacia la definición operativa del estado de equilibrio, los estudiantes presentan dificultades para aplicar los criterios macroscópicos que les permitan saber cuándo se presenta un estado de equilibrio en un sistema químico y poder relacionarlos con su explicación microscópica (Hernando *et al.*, 2003).

Otro factor que también dificulta el aprendizaje del equilibrio químico es la deficiente resolución de ejercicios. Los alumnos tienden solo a relacionar los datos facilitados en el ejercicio con las ecuaciones que creen son necesarias para resolverlo de forma numérica sin realizar previamente un planteamiento previo acerca de qué es lo que deben resolver. La mayoría de los alumnos no poseen una estrategia adecuada de resolución de ejercicios ni de análisis de resultados; pues les falta realizar una reflexión cualitativa previa del problema a resolver que les permita identificar: la información esencial para resolverlo y cuáles son las variables que justifican su respuesta (Quilez *et al.*, 1993).

El estudio de las condiciones que desplazan el equilibrio de un sistema mediante la aplicación del principio de Le Chatelier suele enseñarse de forma predictiva y superficial, sin el adecuado control de variables lo que conduce a la obtención de resultados poco analizados, e induce en los alumnos dificultades de aprendizaje difíciles de superar, Moncaleano *et al.*, (2003); Quilez *et al.*, (1993) e Irazoque *et al.*, (2010).

La aplicación del principio de Le Chatelier en la industria química desde el siglo XIX le ha dado una gran popularidad hasta nuestros días. Sin embargo, autores como De Heer (1957); Gold y Gold (1984, 1985); Treptow (1980); Allsop y George (1984) citados en Quilez *et al.*, (1993); lo consideran como impreciso y ambiguo. Ya que su aplicación literal puede conducir a resultados contradictorios.

“Uno de los aspectos más relevantes del estudio del equilibrio químico resulta ser el tratamiento de los factores relacionados con los desplazamientos que puede sufrir un sistema en equilibrio. En estos casos, para la predicción cualitativa de la evolución del sistema, suele jugar un papel fundamental el principio de Le Chatelier.” (Quilez *et al.*, 1993)

Con la finalidad de evitar en la medida de lo posible los problemas de aprendizaje del equilibrio químico y desde un marco constructivista se deberán seleccionar las estrategias que propicien su aprendizaje significativo. En este caso se deberá partir de un correcto control de variables y de la expresión de la constante de equilibrio para predecir la evolución de un sistema en equilibrio (Quilez *et al.*, 1993).

Las tendencias constructivistas en la enseñanza indican algunas estrategias que permiten facilitar el aprendizaje; plantear situaciones problemáticas de interés cuya solución justifique la necesidad de introducir un nuevo concepto científico. Por tanto, algunos conocimientos y destrezas que permitirán iniciar la comprensión del equilibrio químico son:

- Entender cuál es el problema eje que se plantea en el estudio del equilibrio químico. El equilibrio químico no es ni un sistema ni una reacción, sino una situación o estado final al que llega el sistema.
- Saber caracterizar macroscópicamente cuándo un sistema químico ha alcanzado un estado de equilibrio, es decir, no hay variaciones en las propiedades del sistema (temperatura, concentración, presión, etc.).
- La composición de un sistema en equilibrio se limita solo a procesos reversibles, un sistema químico que reacciona solamente podrá alcanzar un estado de equilibrio, si lo hace en condiciones de reversibilidad.

Entre las dificultades de aprendizaje que pueden presentar los alumnos y que los docentes debemos considerar en la planeación de nuestras actividades se encuentran las siguientes:

- Los estudiantes desconocen a qué problema intenta dar respuesta la introducción del tema de equilibrio químico, no relacionan el concepto de reactividad con la idea de equilibrio químico.
- Los estudiantes no logran precisar las características macroscópicas y las características nanoscópicas, así como la relación entre estos dos niveles, en una situación de equilibrio químico.
- Los estudiantes muestran muy poco dominio en el manejo cualitativo de los aspectos del equilibrio químico

Por lo tanto, los problemas de aprendizaje relacionados con el equilibrio químico se deben a que este contiene conceptos abstractos, se utilizan palabras del lenguaje cotidiano, pero con significado diferente, los estudiantes tienden a pensar que el equilibrio químico es el mismo que el equilibrio que encuentran en física y en la vida cotidiana. La dificultad para comprender estos conceptos puede impedir que los estudiantes logren un aprendizaje significativo y como resultado desarrollen concepciones alternativas (Annisa y Rohaeti (2018); Omilani y Elebute (2020) y Kurniawan *et al.*, (2020).

3.4 ¿Cómo surgen las concepciones alternativas?

Los alumnos presentan una serie de creencias acerca de la naturaleza del aprendizaje y lo que esperan lograr o se espera que logren al inicio de un nuevo curso; estas creencias son el resultado de experiencias cotidianas con su mundo físico y social, experiencias personales y escolares previas y de sus motivos y objetivos de aprendizaje (Özmen, 2007). Es común encontrar concepciones alternativas en las etapas tempranas de la educación científica de química, biología y física en la primaria, secundaria y preparatoria, es decir, los conceptos desarrollados por los alumnos a menudo no coinciden con los conocimientos científicos de hoy, porque cuando ellos analizan un fenómeno describen lo que observan y llegan a conclusiones que para ellos son lógicas.

Cuando los estudiantes se involucran con temas más difíciles aparecen las concepciones alternativas, a pesar de que los maestros sean competentes y calificados, algunas preguntas quedan abiertas y no se comprenden del todo. Los conceptos recién aprendidos no son sostenibles para siempre, ellos pueden ser afectados al término de la lección por los conceptos aprendidos en la vida que se han mantenido por varios años y están profundamente enraizados en comparación con los nuevos conceptos que han sido recogidos recientemente, por eso es necesario repetir e intensificar estos nuevos conceptos adquiridos para anclarlos en la mente de los estudiantes.

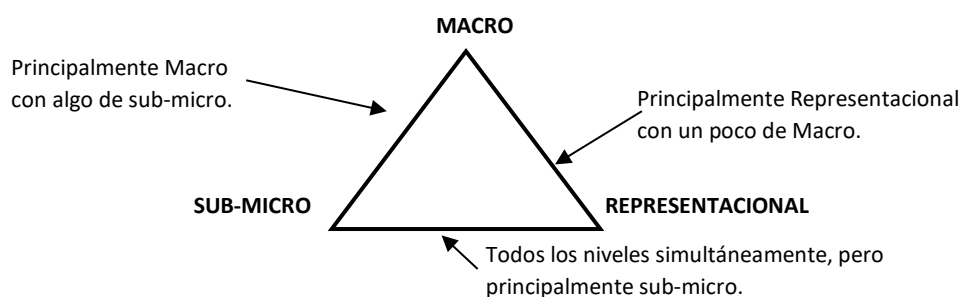
Cuando los alumnos socializan los nuevos conceptos aprendidos con sus amigos o familiares es probable que utilicen el lenguaje común que conocen lo que podría reafirmar sus concepciones alternativas, por lo que los maestros deben ayudar a sus alumnos a reflexionar acerca del uso de este lenguaje común y su significado real cuando hablamos de conceptos científicos, de esta forma el conocimiento no se discutirá con lenguaje coloquial, sino con la terminología apropiada.

Johnstone (1982) citado en Johnstone (2006) desarrollo una estrategia que permite a los estudiantes comprender el conocimiento de la química, al considerar que la estructura conceptual de esta disciplina está formada por tres tipos de representación: la representación macroscópica; la representación submicroscópica; y la representación simbólica.

Barke *et al.*, (2009) nos recuerdan que en la química existen tres niveles de pensamiento: el macroscópico y tangible, el submicroscópico atómico y molecular, y el representacional que utiliza símbolos y matemáticas. Introducir estos tres niveles de representación simultáneamente a los alumnos puede originar diversas concepciones alternativas sobre todo si en la química que enseñamos predomina el nivel abstracto y simbólico.

Cuando los alumnos se enfrentan en sus primeras clases de química a la introducción simultánea de sustancias desconocidas, una descripción de ellas en términos moleculares y una representación mediante símbolos; puede suceder que los alumnos sufran de una sobrecarga de información que conduzca a la aparición de concepciones alternativas. Para evitar esto se recomienda iniciar la lección en una esquina del triángulo y después seguir a través de uno de sus lados antes de llevar a los estudiantes al centro de éste, ver figura 3.3 (Johnstone, 2006).

Figura 3.3 Los tres niveles conceptuales de la química. (Johnstone, 2006)



Los tres niveles de representación química están vinculados a la comprensión del concepto de equilibrio químico. Una vez alcanzado el punto de equilibrio, macroscópicamente la mezcla de reacción no cambia en color, volumen, presión y cantidad de depósitos, la reacción parece detenerse. Las representaciones submicroscópicas representan el equilibrio a nivel de partículas que describen la composición de moléculas, iones, átomos y electrones en equilibrio. Las representaciones simbólicas representan la estequiometría de una reacción de equilibrio que involucra símbolos de reacción como el signo de doble flecha, el coeficiente de reacción, la fase de la sustancia involucrada en la reacción y las constantes de equilibrio K_c y K_p . Si los estudiantes comprenden el papel de cada nivel de representación, pueden transformar el conocimiento de un nivel a otro y serán capaces de construir una comprensión relacional y reducir sus concepciones alternativas (Ulinnaja *et al.*, 2019).

El origen y persistencia de las concepciones alternativas en el campo de las ciencias obedece entre otras causas a la influencia de las experiencias físicas, el lenguaje común, tanto de las personas con quienes nos relacionamos como los medios de comunicación, el cual presenta significados diferentes al científico, errores conceptuales en libros de texto, que los profesores presenten las mismas concepciones alternativas que sus alumnos o bien desconocen este problema y no lo tomen en cuenta en la planeación de las estrategias de enseñanza.

El hecho de que los alumnos tengan concepciones alternativas se debe también a la tendencia de extraer conclusiones precipitadas, hacer generalizaciones acríticas basándose en observaciones meramente cualitativas, realizar análisis superficiales, etc. Es decir, lo que Carrasco ha denominado "metodología de la superficialidad" o "metodología del sentido común" (Carrascosa, 2005).

El proceso de aprendizaje en el aula también puede causar concepciones alternativas, por ejemplo: el enfoque, la estrategia y el método de aprendizaje utilizados. El método de enseñanza tradicional como el método de conferencias puede influir en la escasa motivación de los alumnos, tiende a hacer que los estudiantes sean pasivos y menos efectivos para superar sus concepciones alternativas (Kurniawan *et al.*, 2020).

Las concepciones alternativas que se presentan en el equilibrio químico se deben principalmente a que sus conceptos son abstractos, por esta razón los estudiantes los construyen en su mente de forma diferente, y el lenguaje empleado para explicarlos es similar al lenguaje cotidiano que emplean los estudiantes, sin embargo su significado es distinto (Şendur *et al.*, 2011), además la enseñanza del equilibrio químico relaciona los niveles macro, micro y simbólico y es una gran dificultad para los alumnos transformar estas representaciones. Otro factor relacionado con formación de las concepciones alternativas es la enseñanza tradicional en las aulas, constituida por: exposiciones teóricas donde el alumno asume un rol pasivo, representaciones que utilizan fenómenos macro y visibles (como cambios de color, precipitación de sólidos o la generación de calor), resolución de problemas algorítmicos y laboratorios como recetas, esta metodología de enseñanza no es eficaz para superar estas dificultades (Raviolo y Martínez, 2003).

Por lo tanto, este tipo de estrategias de enseñanza favorecen que los estudiantes entiendan que una reacción química es una reacción unidireccional con un punto terminal, por lo general los alumnos creen que la reacción directa y reversa se llevan a cabo por turnos o que la reacción directa debe terminar para que después inicie la reacción reversa. Las representaciones que se utilizan para la enseñanza de la reacción química también pueden ser una fuente de concepciones alternativas en el

equilibrio químico ya que la representación de las ecuaciones químicas y puede ser mal entendida y pensar que los reactivos y productos se encuentran separados sin interacción (Chiu *et al.*, 2013).

3.5 Concepciones alternativas del equilibrio químico.

Raviolo y Martínez realizaron en 2003 una revisión exhaustiva de las investigaciones llevadas a cabo en más de 15 países sobre las concepciones alternativas de los estudiantes acerca del “equilibrio químico” publicadas en revistas y libros de investigación. Los documentos analizados cubren de 1972 hasta el año 2000, donde encontraron que el aspecto más estudiado es la utilización del principio de Le Chatelier para predecir la evolución de un sistema en equilibrio al ser perturbado. Las concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje encontradas en este periodo investigado presentan cierto grado de universalidad lo que permitió clasificarlas en categorías relacionadas con algún concepto fundamental del equilibrio químico: a) conceptos previos necesarios para el estudio del equilibrio químico; b) características de un sistema en equilibrio químico; c) lenguaje, simbolismo empleado y constante de equilibrio; d) efecto del cambio de variables sobre el sistema en equilibrio; e) velocidades de reacción; f) catalizadores; g) energía y h) equilibrios heterogéneos.

En 2020, Jusniar y colaboradores realizaron una revisión de las concepciones alternativas del equilibrio químico reportadas en la literatura de 1985 a 2015. Estas fueron clasificadas en ocho conceptos principales: estado de equilibrio, equilibrio dinámico, efecto de la temperatura sobre la constante de equilibrio, efecto del catalizador sobre el sistema de equilibrio, constante de equilibrio, efecto de la presión en el equilibrio del sistema de gaseoso, efecto de la concentración en el sistema de equilibrio. Por otro lado, Ulinnaja *et al.* (2019) clasifican las concepciones alternativas reportadas entre 1994 a 2018 en tres subtemas: equilibrio dinámico, predicción de la dirección del cambio de equilibrio según el principio de Le Chatelier y determinación de la constante de equilibrio.

La tabla 3.4 se construyó, teniendo como base las dos investigaciones anteriormente mencionadas, además de las reportadas por Chanyoo *et al.* (2018), Yamtinah *et al.* (2019) y Kurniawan *et al.* (2020). También se revisaron una tesis de doctorado (Irazoque, 2016) y otra de maestría (Huerta, 2008). En este análisis se confirma que muchas de las concepciones identificadas en diversos estudios presentan cierto grado de coincidencia entre los alumnos de bachillerato de diferentes países.

Tabla 3.4 Concepciones alternativas del equilibrio químico.

| Concepto principal | Concepción alternativa identificada. |
|-----------------------------|--|
| Estado de equilibrio | <ol style="list-style-type: none"> 1. En el equilibrio, las concentraciones de reactivos y productos son iguales (Hackling y Garnett (1985); Huerta (2008), Chanyoo <i>et al.</i> (2018), Yamtinah <i>et al.</i> (2019), Kurniawan <i>et al.</i> (2020), Irazoque, 2016). 2. Cuando aumenta la temperatura se forma más producto (Chanyoo <i>et al.</i> (2018)). 3. Un aumento de temperatura desplazará el equilibrio hacia la reacción exotérmica y viceversa (Kurniawan <i>et al.</i>, 2020). 4. Los estudiantes tienen dificultad para predecir la dirección del cambio de equilibrio si el equilibrio está sujeto a una interferencia (Ghirardi <i>et al.</i>, 2015). |

| | |
|--|--|
| | <p>5. En el equilibrio, una vez que se lleva a cabo la reacción, todo queda estático, las reacciones directa e inversa se detienen. (Huerta, 2008) Irazoque, (2016)</p> |
| Equilibrio dinámico | <p>6. El equilibrio es un proceso estático Yakmaci-Guzel, (2013); Barke <i>et al.</i>, (2009); Chanyoo, Suwannoi y Treagust, (2018). Irazoque, (2016)</p> <p>7. La velocidad de las reacciones directas aumenta con el tiempo, comenzando cuando los reactivos se mezclan hasta que se establece el equilibrio (Hackling y Garnett, 1985).</p> <p>8. En el equilibrio, la suma de las concentraciones de los reactivos es igual a los productos (Barke y otros., 2009; Özmen, 2008)</p> <p>9. La reacción directa se completa antes de que comience la reacción inversa Omilani y Elebute, (2020); Chanyoo, Suwannoi, y Treagust, (2018); Ghirardi <i>et al.</i>, (2015), Irazoque, (2016).</p> <p>10. La velocidad de la reacción directa es mayor que la de la reacción inversa (Chanyoo, Suwannoi y Treagust, 2018).</p> <p>11. La velocidad de reacción directa aumenta mientras que la velocidad de reacción inversa disminuye (Chanyoo, Suwannoi y Treagust, 2018).</p> <p>12. La reacción continúa hasta que se agotan todos los reactivos, por lo que la reacción se termina Chanyoo, Suwannoi y Treagust, (2018), Yamtinah <i>et al.</i>, (2019); Van Driel <i>et al.</i>, (1998).</p> <p>13. El equilibrio se alcanza cuando la velocidad de reacción de formación de producto y la formación de reactivos son constantes (Kurniawan, Rahayu, Fajaroh y Almunasher, 2020).</p> <p>14. Los estudiantes tienen dificultad para comprender reacciones reversibles (Juliao <i>et al.</i>, 2018). Irazoque, (2016)</p> <p>15. Los estudiantes entienden que la velocidad de reacción directa es mayor que la velocidad de reacción inversa, y cuando se ha alcanzado un estado de equilibrio, la reacción se detiene (García, Calatayud, y Hernández, (2014); Russell y Kozma, (1994).</p> <p>16. A los estudiantes les resulta difícil distinguir entre finalización y reacciones reversibles, creen que la reacción de descomposición sólo puede tener lugar si la reacción de formación se ha completado (Al-Balushi <i>et al.</i>, 2012).</p> |
| Efecto de la temperatura sobre la constante de equilibrio | <p>17. La constante de equilibrio (K_{eq}) aumenta a medida que aumenta la temperatura de una reacción exotérmica (Özmen, 2008).</p> <p>18. A medida que disminuye la temperatura en una reacción exotérmica, aumentará la velocidad de la reacción directa Banerjee, (1991); Hackling y Garnett, (1985).</p> <p>19. Cuando aumenta la temperatura, la reacción se desplaza hacia adelante y, por lo tanto, la constante de equilibrio aumenta (Omilani & Elebute, 2020).</p> <p>20. El aumento de temperatura siempre aumenta el valor de la constante de equilibrio (Chanyoo, Suwannoi y Treagust, 2018).</p> |
| Efecto del catalizador sobre el sistema de equilibrio. | <p>21. Las velocidades de las reacciones directa e inversa podrían verse afectadas de manera diferente cuando se agrega el catalizador (Özmen, 2008).</p> <p>22. Los catalizadores pueden afectar las velocidades de las reacciones directa e inversa por separado (Hackling y Garnett, 1985).</p> <p>23. Los catalizadores provocan un aumento en la concentración del producto Bilgin y Uzuntiryaki, (2003); Voska y Hakkinen, (2000);</p> |

| | |
|---|--|
| | <p>Gorodetsky y Gussarsky, (1986); Hackling y Garnett, (1985); Omilani y Elebute, (2020).</p> <p>24. El catalizador afecta más a la reacción directa (Chanyoo, Suwanno y Treagust, 2018).</p> <p>25. El número de catalizadores puede multiplicar el producto de modo que la reacción se desplace hacia el lado derecho (Yamtinah <i>et al.</i>, 2019).</p> <p>26. Los estudiantes creen que el catalizador solo acelera la velocidad de la reacción directa pero no acelera la velocidad de la reacción inversa (García <i>et al.</i>, 2014).</p> |
| La constante de equilibrio | <p>27. Cuanto mayor sea el valor de K, más rápida será la reacción directa Bilgin y Uzuntiryaki, (2003); Hackling y Garnett, (1985).</p> <p>28. Cuando se fija la temperatura y se reduce el volumen, el equilibrio se desplazará en la dirección del número de moles o del coeficiente pequeño, y el valor de K se reducirá (Yamtinah <i>et al.</i>, 2019).</p> |
| El efecto de la presión en el equilibrio del sistema de gaseoso. | <p>29. Cuando el volumen de gas disminuye, se restablece el equilibrio, la constante de equilibrio es más grande que en sus condiciones iniciales (Hackling y Garnett, 1985).</p> <p>30. A medida que disminuye el volumen, también disminuye la velocidad de la reacción inversa (Hackling y Garnett, 1985).</p> <p>31. Cuando se aumenta la presión, el sistema se ajusta produciendo más productos (Chanyoo, Suwanno y Treagust, 2018).</p> <p>32. En el equilibrio heterogéneo, se supone que la presión del gas es fija (Yamtinah <i>et al.</i>, 2019).</p> <p>33. Agregar presión cambiará el equilibrio en la dirección de una gran cantidad de moléculas. (Kurniawan <i>et al.</i>, 2020).</p> |
| El efecto de la concentración en el sistema de equilibrio. | <p>34. Cuando una sustancia se agrega a una mezcla en equilibrio, el equilibrio se desplazará hacia el lado de la adición (Özmen, 2008)</p> <p>35. Agregar un reactivo a un sistema en equilibrio gaseoso cambiará el equilibrio hacia productos (Karpudewan <i>et al.</i>, 2015).</p> <p>36. El aumento de la concentración de un reactivo da como resultado la formación de más productos (Chanyoo <i>et al.</i>, 2018).</p> <p>37. La adición de reactivos hará que el equilibrio se mueva hacia los reactivos. (Kurniawan <i>et al.</i>, 2020)</p> <p>38. Agregar sólidos al sistema de equilibrio cambiará el equilibrio. (Kurniawan <i>et al.</i>, 2020).</p> |
| Principio de Le Chatelier | <p>39. El principio de Le Chatelier se puede aplicar a todos los sistemas.</p> <p>40. El principio de le Chatelier se puede aplicar en el estado inicial cuando el sistema no alcanzó el equilibrio (Omilani & Elebute, 2020).</p> <p>41. Los estudiantes tienen dificultad para utilizar el principio de Le Chatelier para explicar el efecto de cambiar una variable en el sistema de equilibrio (Mensah y Morabe, 2018).</p> |

Capítulo 4 Metodología.

Descripción de la metodología.

4.1 Fases de trabajo.

Esta investigación se realizó como un estudio cualitativo en cuatro fases (figura 4.1), con el objeto de identificar concepciones alternativas y evaluar el aprendizaje del concepto equilibrio químico en el bachillerato, mediante el diseño y aplicación de un instrumento de evaluación de dos escalones.

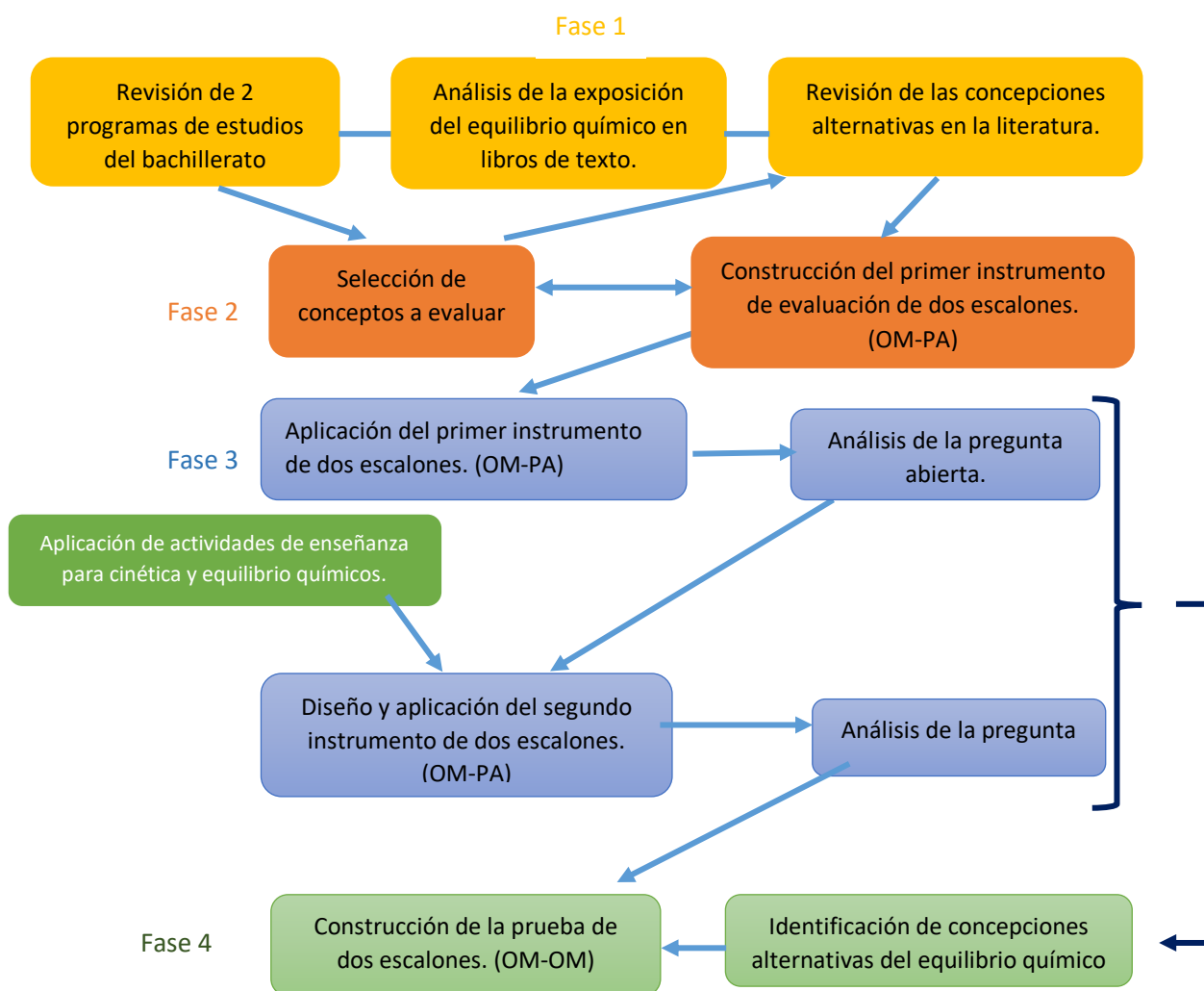
La primera fase presenta tres etapas. La etapa inicial es exploratoria, en ella se identificó la ubicación curricular de la enseñanza del equilibrio químico y su marco de aprendizaje en el bachillerato universitario. En la segunda etapa se analizaron los libros de texto que los docentes utilizan en la preparación e impartición del tema. Finalmente, en la tercera etapa se realizó una revisión de la literatura especializada sobre las concepciones alternativas reportadas para alumnos de bachillerato.

La segunda fase de este estudio tiene dos etapas. En la primera de ellas se realizó una selección de los conceptos relacionados con el equilibrio químico, que se tratan tanto en los programas de estudio como en las investigaciones consultadas sobre concepciones alternativas. A partir de estos conceptos, en la segunda etapa se diseñó el primer instrumento de opción múltiple, donde el segundo escalón era una pregunta abierta.

La tercera fase de este estudio presenta dos etapas. Primero se aplicó el primer instrumento de evaluación de dos escalones a alumnos del quinto semestre de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades plantel Sur. Se analizó la respuesta abierta y se identificó el tipo de respuesta que dieron los alumnos como: comprende el concepto, no comprende el concepto o concepción alternativa. Después, se aplicaron una serie de actividades de enseñanza del equilibrio químico desde un marco cinético como indica el programa de estudios. En la última etapa, después de la enseñanza del equilibrio químico se diseñó y aplicó un segundo instrumento de evaluación de dos escalones con el segundo escalón de pregunta abierta que trata de identificar el grado de aprendizaje del equilibrio químico y las concepciones alternativas derivadas de la enseñanza de este.

En la fase cuatro se presentan dos etapas, primero se analiza las respuestas del segundo escalón de la evaluación final y, con las concepciones alternativas de los alumnos del grupo de estudio y sus ideas acerca del equilibrio en la segunda etapa se construye el instrumento de evaluación con los dos escalones de opción múltiple.

Figura No. 4.1 Diagrama las fases del trabajo de tesis.



4.1.1 Fase 1. Primera etapa: Análisis de los programas de estudio del bachillerato universitario.

La primera fase indagatoria se estructuró en tres etapas: la primera fue exploratoria con el objetivo de identificar la ubicación curricular de la enseñanza del equilibrio químico en los programas de estudios de los dos subsistemas del bachillerato universitario (ENCCH y ENP) y la manera en que se propone la enseñanza de este concepto, es decir, qué herramientas didácticas se sugieren y qué alcance proponen, en qué marco de enseñanza y cuáles son los conceptos involucrados en su estudio. En la segunda etapa de esta primera fase, se analizaron los libros de texto que los docentes utilizan en la preparación e impartición del tema; se consideraron aspectos conceptuales, recursos didácticos y si el tema se contextualiza o no en campos de la vida cotidiana. Finalmente, en la tercera etapa se hizo una

indagación sobre las concepciones alternativas que la literatura especializada reporta, presentan los alumnos de educación media superior para el tema de equilibrio químico.

En los nuevos programas de estudio del 2018 de la Escuela Nacional Preparatoria la enseñanza del equilibrio químico forma parte de la asignatura Química IV, área II, unidad 3, del sexto año. Es parte del tema de la disociación del agua y del equilibrio ácido base, como fundamentos teóricos para comprender los sistemas amortiguadores en el organismo: ácido carbónico-bicarbonato y fosfatos. Sin embargo, su enseñanza se ve limitada ya que los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales no indican el estudio del equilibrio químico en particular, tampoco los de: reacciones reversibles, velocidad de reacción, equilibrio dinámico, constante de equilibrio y constancia de concentraciones, tampoco se hace alusión a los factores que modifican el equilibrio químico. Todos ellos conceptos fundamentales para comprender el equilibrio químico y los factores que lo modifican en diferentes contextos de la vida cotidiana, por ejemplo, es importante que los estudiantes comprendan el porqué del valor del pH normal de la sangre se mantiene entre 7.35 y 7.45, para ello es necesario entender que el equilibrio ácido base del organismo depende de tres sistemas interrelacionados: buffers intra y extracelulares que amortiguan los cambios del valor de pH, la compensación respiratoria y la excreción renal, lo que nos lleva a comprender que la sangre es una disolución amortiguadora y lo importante de ésta cualidad (Saíenz, 2006).

Al comparar el programa de estudio anterior (1996) para Química IV área II, podemos observar que antes se incluían la descripción del contenido y las estrategias didácticas, así como, la definición del equilibrio, su constante y el Principio de Le Chatelier. Mientras que en el nuevo programa se encuentra solo el contenido que desarrollará el docente, lo que posibilita al profesor seleccionar los temas que considere más apropiados y el grado de profundidad de los conceptos que permitan la construcción por parte de los alumnos de los conceptos involucrados; la disociación del agua y el valor de pH de las disoluciones correspondientes, la teoría ácido base de Brønsted-Lowry, la fuerza de ácidos y bases a través de su constante de ionización y los sistemas amortiguadores inorgánicos del organismo. Esto significa que, en el nuevo programa de estudio y su tabla de especificaciones, la enseñanza del equilibrio ácido base no contempla su abordaje didáctico desde un enfoque de equilibrio químico, lo que nos parece incompleto.

El contexto en el que se propone la enseñanza del equilibrio químico en el ENCCH toma como base la eficiencia de los procesos de la industria química y las reacciones ácido base. Al inicio de la unidad III, se revisan los conceptos relacionados con el tema de cinética química como son: rapidez de reacción y factores que la modifican, teoría de colisiones, energía y enlace químico. Para el estudio del equilibrio químico primero se enseña el concepto de reversibilidad de reacción, con el análisis de las reacciones ácido base propuesto por Brønsted-Lowry, se calcula la constante de acidez y se relaciona su valor con la de los ácidos. Después de revisar estos fundamentos teóricos, se investigan procesos donde existe un equilibrio químico como la formación y destrucción de corales, el proceso carbonato-ácido carbónico o el dióxido de carbono en sangre. Finalmente se estudian los factores que afectan el estado de equilibrio de una reacción: concentración, presión y temperatura, con base en el Principio de Le Chatelier para predecir el desplazamiento de la reacción.

El estudio del equilibrio químico en la asignatura de Química III de la ENCCH permite analizar las condiciones de reacción de los procesos químicos para optimizar su eficiencia e identificar las condiciones de reacción que desplazan el equilibrio hacia reactivos.

El propósito de aprendizaje de la Unidad III de la asignatura de Química III de la ENCCH indica:

“Al finalizar la unidad el alumno: Comprenderá cómo la industria química controla con eficiencia los procesos de elaboración de productos estratégicos, a través del análisis de las actividades químicas industriales y del estudio de los conceptos de rapidez de reacción y equilibrio químico, para reconocer la importancia de los conocimientos químicos” (CCH, 2016)

Los objetivos específicos para la Unidad III en la asignatura de Química IV área II de la ENP son:

“El alumno: Aplicará los conocimientos químicos relacionados con el equilibrio ácido-base y el potencial de hidrógeno, para que reflexione sobre la importancia de los sistemas amortiguadores en el organismo, a partir de la revisión y análisis de textos, ejercicios prácticos y prácticas en el laboratorio” (ENP, 2018)

Como se observa, los objetivos de aprendizaje de los programas de estudio de ambos subsistemas son completamente diferentes. El estudio del equilibrio químico se realiza con mayor profundidad en el programa de estudios de Química III de la ENCCH en comparación con el programa de estudios de Química IV área II de la ENP. En el primero se busca comprender su aplicación en la optimización de procesos industriales, mientras que en el segundo se busca conocer su aplicación en sistemas biológicos donde existe un equilibrio ácido base.

4.1.2 Fase 1. Segunda etapa: Análisis de libros de texto utilizados en Nivel Medio Superior, para la enseñanza del concepto equilibrio químico.

Debido a que los libros de texto son las primeras fuentes de información disponibles para profesores y estudiantes, se realizó un análisis de los textos que los docentes utilizan en la preparación e impartición del tema. Se consideraron aspectos conceptuales, recursos didácticos y la forma en que el tema se relaciona con la vida cotidiana. Los libros de texto que se consideraron por su amplio uso entre profesores del bachillerato fueron cuatro:

L1: Brown, T. L.; Lemay Jr., H. E.; Bursten, B. E.; Murphy, C. J. & Woodward, P. M. (2014) Química, la ciencia central decimosegunda edición PEARSON EDUCACIÓN, México.

L2: Flores J. Y (Coord); Castillo, C. J; Del Rey L.M, Gutiérrez, R.A.; León, O.F.; Martínez, M.G.; Pedraza, G. L.; Pérez R.R.; Vidal, S.F. (2013) Libro de texto química IV área II ENP UNAM

L3: Sosa, F. P. 2008. Conceptos base de la química. Libro de apoyo para bachillerato. CCH UNAM

L4: Garritz R. A.; Gasque, S. L. y Martínez, V. A. (2005) Química universitaria. PEARSON EDUCACIÓN, México.

El análisis se basó en identificar cuáles son los conceptos alrededor de la enseñanza del equilibrio químico, cómo se abordan y cuáles son los contenidos procedimentales y recursos didácticos que se utilizan.

Talanquer y Dávila (2009), mencionan que es importante analizar los libros de texto de química desde el enfoque curricular, evaluación de la naturaleza, relevancia del contenido y la naturaleza de las preguntas y ejercicios que se encuentran al final de cada capítulo, ya que en general, se espera que las preguntas del libro de texto y los problemas tengan fuerte influencia en lo que se evalúa y cómo es evaluada la química en el aula, además de actuar como una herramienta potente para dirigir la atención del estudiante y la comunicación de los objetivos de aprendizaje.

El análisis de los libros de texto en este trabajo permitirá identificar cuál es su enfoque de enseñanza del equilibrio químico y si este está alineado a los programas de estudio, así como, identificar los recursos didácticos que ofrecen los libros al profesor y el tipo de ejercicios que presentan. Siendo estos últimos de gran importancia pues el profesor tiende a utilizar estos recursos didácticos para preparar su clase y evaluar a los alumnos. En este trabajo consideramos la estructura de los ejercicios propuestos en los libros de texto analizados como base para desarrollar las preguntas de los instrumentos de evaluación. Se considera el tipo de representación propuesta, el contexto del ejercicio, los conceptos a evaluar, la dificultad procedimental del ejercicio y finalmente se analiza que tipo de concepción alternativa se encuentra relacionada con el ejercicio propuesto.

En educación, se le ha dado gran importancia a los lenguajes oral y escrito, sin embargo, para mejorar la comprensión de los conceptos científicos se ha observado un crecimiento importante en el uso de imágenes y analogías en los libros de texto, las cuales representan, de diversas maneras, los conceptos enseñados. Con esta visión multimodal de la comunicación basada en la utilización de distintos lenguajes (oral, escrito, imagen, acción, etc.) se apunta hacia una transición en la conceptualización de la comunicación (Raviolo y Garritz, 2007).

La tabla 4.2 y las tablas del anexo 1 contienen las pautas de análisis de los libros de texto seleccionados. Primero se presentan los datos generales del libro y después se identifica si se exponen los conceptos principales alrededor del equilibrio químico: la ley de acción de masas, el significado de la constante de equilibrio, equilibrios heterogéneos, principio de Le Chatelier y la evolución del equilibrio. Se analizan también, el tipo de representaciones, modelos, experimentos y ejercicios que se sugieren a lo largo del desarrollo del tema.

Tabla No 4.2. Instrumento de evaluación de libros de texto.

| Nombre del libro/Autor | L1 | L2 | L3 | L4 |
|---|----------|----|----|----|
| Capítulo | 15 | 1 | 12 | 10 |
| Apartados del capítulo | 7 | 3 | 7 | 11 |
| Enfoque de enseñanza del equilibrio químico | Cinético | | | |
| Conceptos centrales del tema equilibrio químico | | | | |
| Reversibilidad | X | X | X | X |
| Equilibrio dinámico | X | X | X | X |
| Definición textual del concepto de equilibrio químico en el libro | X | X | X | X |
| Equilibrio químico (EQ): ¿Se desarrolla el aprendizaje del concepto antes de establecer situaciones que muevan el EQ? | X | X | X | X |
| Ley de acción de masas | X | X | X | X |
| Velocidad de reacción/cinética | X | X | X | X |
| Constante de equilibrio/cociente de la reacción: ¿Cómo se introduce y de qué manera se utiliza la expresión de la constante de equilibrio? ¿Se utiliza la expresión de la constante de equilibrio para prever los desplazamientos del equilibrio químico? | X | X | X | X |

| | | | | |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Equilibrios heterogéneos | X | X | X | X |
| Enunciado del Principio de Le Chatelier (LCh) Se presenta el Principio en expresión concisa o se hace uso de las reformulaciones más actuales que son menos ambiguas. | X | X | — | — |
| Evolución del sistema para alcanzar el equilibrio: ¿Se enseña el concepto en forma paralela con el Principio de LCh? En caso de que exista un paralelismo en la enseñanza del EQ con el Principio de LCh, se advierte que la aplicación del Principio no es universal y que puede causar resultados contradictorios (sugiero pasar este comentario al texto) ¿Se fundamenta el principio de Le Chatelier sobre las bases de la termodinámica o se ofrece un principio surgido de un proceso de inducción a partir de múltiples experimentos o casos particulares? | X — X | X — X | X — — | X — — |
| Contenidos procedimentales y Recursos didácticos | | | | |
| Utilización de modelos: | X | X | X | X |
| Representación macroscópica, submicroscópica, simbólica. | X | X | X | X |
| Modelos didácticos: analogías | X | — | X | — |
| Experimentos y reacciones mencionados | X | X | X | X |
| Resolución de ejercicios en el texto y al final del capítulo: ¿Qué tipo de problemas se proponen? ¿Se pide una reflexión cualitativa previa con el fin de hacer un planteamiento acerca de lo que hay que resolver o se procede directamente a resolver el problema y se proponen las ecuaciones correspondientes? En el desarrollo de los problemas propuestos, ¿se pide un análisis de resultados? ¿Tienen los alumnos las estrategias necesarias para resolver los problemas propuestos? | X X — X | X — — — | X X — X | X X — X |
| Relación química–vida diaria: ¿El tratamiento del tema tiene una funcionalidad cercana al estudiante? | X | X | X | X |

Libro 1: Brown, T. L.; Lemay Jr., H. E.; Bursten, B. E.; Murphy, C. J. & Woodward, P. M. (2014) Química, la ciencia central Decimosegunda edición PEARSON EDUCACIÓN, México.

Para explicar la característica dinámica del equilibrio químico utiliza la analogía de los coches entrando y saliendo de una ciudad. También hace uso de representaciones microscópicas, macroscópicas y simbólicas (ecuaciones matemáticas, gráficas, diagramas, etc.) para exponer conceptos relacionados al equilibrio químico. Conforme desarrolla este contenido emplea más de una representación de un determinado concepto o idea. Por ejemplo, para el concepto de equilibrio químico emplea una imagen que contiene los tres niveles de representación de la Química; macroscópico, submicroscópico y simbólico. La magnitud de la constante de equilibrio se enseña con representaciones submicroscópicas y simbólicas; ecuación química, diagramas y expresión matemática de la constante de equilibrio.

Después de explicar el concepto del equilibrio químico, sus características, la expresión de su constante (K_c , K_p) y su interpretación, equilibrios heterogéneos, cálculo de la constante de equilibrio; se estudia la predicción del sentido de una reacción al comparar el valor del cociente de reacción con la constante de equilibrio. Finalmente se presenta el principio de Le Chatelier, primero menciona su enunciado general, después, para cada cambio de concentración, presión o temperatura, lo reformula adaptándolo a cada tipo de perturbación. El estudio del equilibrio ácido base se realiza en el siguiente capítulo, al terminar el estudio del equilibrio químico.

Los ejercicios presentes en el texto y al final del capítulo son variados tanto en temáticas como en el empleo de representaciones. Están diseñados para analizar y verificar la comprensión de

los contenidos. El orden de exposición de estos permite su comprensión ya que presenta los conceptos de lo sencillo a lo complejo. Este libro permite al profesor comprender a profundidad el equilibrio químico en diversos sistemas y sus aplicaciones.

Libro 2: Flores J. Y. (Coord.); Castillo, C.J; Del Rey L.M, Gutiérrez, R.A.; León, O.F.; Martínez, M.G.; Pedraza, G. L.; Pérez R.R.; Vidal, S.F. (2013) Libro de texto química IV área II ENP UNAM.

Este libro se apega a los contenidos del programa de estudios de esa institución. Utiliza diferentes representaciones para explicar el equilibrio como ecuaciones químicas, gráficas, tablas, representaciones submicroscópicas, diagramas. Para comprender la interpretación de la constante de equilibrio emplea representaciones simbólicas (ecuación química, ecuación de la constante y diagramas). No utiliza representaciones macroscópicas ni analogías. Los ejercicios consisten en realizar cálculos de la constante e indicar su significado, predecir el desplazamiento del equilibrio con base en el principio de Le Chatelier e identificar la fuerza de los ácidos y bases por comparación de sus constantes correspondientes y explica, con base en ello, la constante de acidez y basicidad. Finalmente explica los equilibrios ácido base a través de los pares conjugados del modelo de Brønsted-Lowry, expone la auto ionización del agua y la relaciona con la concentración de los iones hidrógeno e hidroxilo y la asocia con el valor de pH de la disolución. El capítulo termina con un análisis de las siguientes preguntas: ¿por qué es vital mantener el valor de pH de la sangre dentro de un intervalo reducido?, ¿a qué se debe el valor de pH de la sangre?, los autores aprovechan para estudiar el sistema amortiguador ácido carbónico-bicarbonato. Este libro permite comprender al alumno los aspectos básicos del equilibrio químico y sus aplicaciones.

L3: Sosa, F. P. 2008. Conceptos base de la química. Libro de apoyo para bachillerato. ENCCH, UNAM.

En este libro, editado por la ENCCH, el estudio del equilibrio químico inicia con la exposición de una analogía que nos habla de la relación entre gacelas y leones, y a partir de esta se busca la comprensión del equilibrio dinámico y la constante de equilibrio. Introduce el término de reversibilidad de reacción y velocidad de reacción, desde un marco cinético explica el concepto de equilibrio químico donde la velocidad de las reacciones directa e inversa son iguales y las concentraciones de reactivos y productos no cambian. Define la constante de equilibrio y a través de su valor indica hacia dónde se desplaza el equilibrio.

Después de explicar los conceptos anteriores nos introduce al tema de equilibrio ácido-base que se establece en ácidos débiles. Emplea ecuaciones químicas y expresiones matemáticas de la constante de acidez para comprender los sistemas conjugados ácido y básico. Explica el equilibrio de disociación del agua y su desplazamiento con base en las concentraciones de los iones hidrógeno e hidroxilo.

Revisa el equilibrio redox, donde el fenómeno de oxidación es simultáneo al de reducción y los define en términos del número de oxidación. Retoma en este contexto los conceptos de reversibilidad de reacción y pares conjugados redox, así como, la constante de equilibrio. El capítulo termina con una serie de cálculos químicos, preguntas de verdadero o falso y una práctica de laboratorio. El desarrollo de este capítulo cuenta con representaciones matemáticas, ecuaciones químicas y fórmulas desarrolladas, sin embargo, no se emplean

representaciones macroscópicas ni submicroscópicas. Este libro le permite al alumno comprender las características del equilibrio químico y en qué tipo de reacciones se presenta.

Libro 4: Garritz, R. A.; Gasque S. L. y Martínez, V. A. (2005) Química universitaria. PEARSON EDUCACIÓN, México.

Inicia con la explicación del concepto de reacción reversible y utiliza como ejemplo una ecuación química, menciona que cada reacción se lleva a cabo simultáneamente a cierta velocidad, lo que da como resultado cierta concentración de reactivos y productos. Finalmente, cuando las reacciones directa e inversa presentan la misma velocidad, se alcanza el equilibrio y las concentraciones se mantienen constantes.

A través de ecuaciones químicas, representaciones microscópicas y gráficas del avance de una reacción explica como la velocidad de producción es proporcional a la concentración de reactivos, por lo que la velocidad de la reacción directa va disminuyendo al igual que decrecen las concentraciones de reactivos y aumenta la concentración de productos. A partir de estos argumentos plantea la ecuación de la constante de equilibrio K_c y la define como “una medida que compara las constantes de velocidad de reacción para la reacción hacia adelante y la reacción inversa”. Utiliza la ley de acción de masas para definir la constante de equilibrio de cualquier reacción.

Mediante recuadros resalta la información más importante y las definiciones que describen los conceptos medulares del equilibrio químico. Analiza la reacción de esterificación del ácido acético y etanol para calcular sus valores de K_c en función de diferentes concentraciones iniciales de los reactivos.

Relaciona el valor de la constante de equilibrio de la reacción directa e inversa mediante el empleo de diferentes reacciones químicas. A través de la comparación de los valores del cociente de reacción con la constante de equilibrio se puede saber si el sistema se encuentra en equilibrio y la dirección que tomará la reacción para alcanzarlo.

Analiza dos equilibrios heterogéneos y plantea la ecuación de su constante de equilibrio para cada uno de ellos, indicando que las sustancias sólidas no forman parte de esta expresión. Toma como ejemplo de un equilibrio heterogéneo la formación de estalactitas y estalagmitas.

Describe el planteamiento para la K_c de la auto ionización del agua y de K_p para sistemas en fase gaseosa. Nos enseña a calcular las concentraciones al equilibrio a partir de las condiciones iniciales de la reacción y el valor de su K_c .

Analiza la evolución de los sistemas en equilibrio que han sido perturbados a partir de un cambio de concentración, temperatura o presión.

Entre los recursos didácticos que se presentan se pueden mencionar las secciones: ¿Cómo se resuelve?, Te toca a ti, Del pasado, Herramienta, Descúbrelo tú, Química iberoamericana, Problemas y actividades que se encuentran al final del capítulo. En las secciones ¿Cómo se resuelve? y Te toca a ti, se presentan ejercicios que promueven el planteamiento matemático de la K_c en diferentes reacciones químicas para saber si se encuentran en equilibrio. Plantea

ejercicios para escribir la K_c de diferentes sistemas heterogéneos. En la sección “Del pasado” nos muestra los descubrimientos de científicos que contribuyeron al entendimiento y aplicación del equilibrio químico como el proceso Haber-Bosch. En la sección de “Herramienta” se muestran conceptos como el de presión parcial útiles para la comprensión de los equilibrios heterogéneos.

Los ejercicios al final del capítulo propician el desarrollo de habilidades matemáticas en el cálculo de la constante de equilibrio en diferentes situaciones y permiten identificar los cambios en el equilibrio debidos a una perturbación. Depende del profesor realizar no solo los cálculos, sino también, el análisis de las situaciones de equilibrio que definen al sistema bajo estudio.

El análisis de estos libros nos lleva a la conclusión de que en la enseñanza del equilibrio químico es importante definir los conceptos de equilibrio dinámico y proceso reversible como conceptos antecedentes al estudio del tema, para después proceder con el análisis de la igualdad de velocidades y la constancia de concentraciones. Así mismo, es importante poner atención al desarrollo matemático y análisis del planteamiento de la constante de equilibrio en sistemas homogéneos y heterogéneos y los factores que la alteran, y también definir las características de un sistema químico a partir de sus concentraciones, temperatura y presión.

Comprender los cambios a los que puede estar sujeto un sistema químico en equilibrio es difícil debido a lo abstracto de los conceptos. Es por ello que el uso de analogías y diferentes representaciones favorecen su comprensión, así como los ejercicios planteados no solo para desarrollar la habilidad matemática, sino para favorecer el análisis de situaciones reales o hipotéticas que nos permitan identificar el grado de comprensión de estos conceptos y paralelamente, identificar las concepciones alternativas en los alumnos que nos dirijan al planteamiento de situaciones que las confronten.

Los libros de texto analizados presentan como recurso didáctico una serie de ejercicios en los que hay que emitir un resultado, se enfocan en la sistematización de la resolución de ejercicios y, en evaluar los resultados, promoviendo un aprendizaje memorístico; sólo en algunos casos, presentan ejercicios de reflexión lo que permite a los estudiantes aplicar sus conocimientos, y evidenciar su aprendizaje significativo, sin embargo, su enfoque en la descripción de contenidos y el tipo de problemas planteados en el texto y al final del capítulo, no contempla la identificación, la prevención, ni la confrontación de las concepciones alternativas que pudieran presentar los alumnos. En este trabajo de tesis se plantea un instrumento de evaluación diferente, pues las preguntas de dos escalones permiten identificar las concepciones alternativas y las ideas que presentan los alumnos durante el aprendizaje del equilibrio. Esto permite conocer el grado de comprensión de los conceptos, así como, la optimización de las actividades de enseñanza.

4.1.3 Fase 1. Tercera etapa: Identificación de las concepciones alternativas del equilibrio químico en alumnos de bachillerato.

En la última etapa de esta primera fase de la investigación, se realizó una revisión en la literatura especializada sobre las concepciones alternativas del equilibrio químico que presentan los estudiantes de bachillerato. La relación entre conceptos del equilibrio químico y concepciones alternativas que proponen autores como Raviolo y Martínez, 2003; Jusniar *et al.*, 2020 o Ulinnaja *et al.*,

2019, indica que su categorización es imprescindible para identificar los conceptos que se desean evaluar, así como su grado de comprensión. Por lo tanto, en este trabajo se realizó una categorización de los conceptos del equilibrio químico que se evaluarán considerando los programas de estudio del Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades y de la Escuela Nacional Preparatoria y las propuestas de los autores mencionados. Entre las categorías seleccionadas se encuentran aquellas que presentan varias concepciones alternativas reportadas (ver tabla 3.4) y que tienen relación con los objetivos curriculares de nuestro bachillerato.

La categorización por conceptos de las concepciones alternativas que proponen los autores antes estudiados es el punto de partida para conocer cuáles son las dificultades de aprendizaje que pueden presentar los alumnos de la ENCCH y cuáles de ellas son las más recurrentes. De esta manera, dicha categorización asociada a los contenidos de los programas de estudio permitió diseñar una pregunta específica para evaluar el aprendizaje de determinado concepto.

Se presentan las categorías seleccionadas:

- I. Características de un sistema en equilibrio químico.
 - a. Equilibrio dinámico.
- II. Rapidez de reacción.
- III. La constante de equilibrio.
- IV. Factores que modifican el estado de equilibrio (aplicación del principio de Le Chatelier)
 - a. El efecto de la presión en el equilibrio del sistema de gaseoso.
 - b. El efecto de la concentración en el sistema de equilibrio.
 - c. Efecto de la temperatura sobre la constante de equilibrio.
 - d. Catalizadores. Efecto del catalizador sobre el sistema de equilibrio.

En la siguiente tabla se muestran las concepciones alternativas que se consideraron representativas de las categorías seleccionadas para esta investigación.

Tabla 4.3 Especificaciones para el diseño de las preguntas de doble escalón, conceptos y concepciones alternativas del equilibrio químico y recurso didáctico.

| Concepto central | Concepto relacionado | Concepción alternativa a identificar* | Recurso didáctico de la pregunta. | Núm. de pregunta. | |
|--------------------|--|---|--|-------------------|-----------|
| | | | | 1er IE | 2do IE |
| Equilibrio químico | Equilibrio dinámico | <ul style="list-style-type: none"> • Consideran al equilibrio como estático. • Comportamiento pendular. | Analogía Imagen Contenido de aplicación. | 1 | 1, 10, 11 |
| | Cambio de concentración de reactivos al establecerse el equilibrio | <ul style="list-style-type: none"> • No diferencian sistemas en equilibrio de sistemas que no lo están. | Análisis de gráficas | 4 | 4, 13 |

| | | | | | |
|---|--|---|--|------|---------|
| | Reversibilidad de reacción | <ul style="list-style-type: none"> No admiten la coexistencia de todas las especies No identifican cuando una reacción es reversible y cuando es completa | Ecuación química | 9 | 12 |
| | Igualdad de la velocidad de reacción. | <ul style="list-style-type: none"> La velocidad de la reacción directa es mayor que la de la reacción inversa | Contenido conceptual. Análisis de gráficas | | 15, 16 |
| Constante de equilibrio | Cálculo o aplicación de la constante de equilibrio | <ul style="list-style-type: none"> Existe una relación aritmética simple entre las concentraciones de reactivos y productos en el equilibrio. | Representación nanoscópica | 5, 6 | 5, 6, 8 |
| | Factores que afectan la Keq | <ul style="list-style-type: none"> Mantienen K inalterada ante cambios de la temperatura. Desconocimiento de cuando K es constante. | Contenido conceptual | 2, 3 | 2, 3 |
| | Rendimiento de reacción. | <ul style="list-style-type: none"> Existe una relación aritmética simple entre las concentraciones de reactivos y productos en el equilibrio. | Representación simbólica. | 7 | 7 |
| | Diferenciar entre un sistema que se encuentra en equilibrio y uno que aún no lo alcanza. | | Ecuación química | 8 | 9 |
| Factores que afectan el estado de equilibrio | Sistema en equilibrio que se perturba por un cambio en la concentración | <ul style="list-style-type: none"> No consideran todos los factores que afectan al equilibrio (control de variables). | Representación simbólica. Ecuación química | 11 | 14, |

*Concepciones alternativas: Raviolo (2003) y anexo 3.5

IE: Instrumento de evaluación

Número de pregunta: ver tablas 4.5 y 4.6

4.1.4 Fase 2, primera etapa. Selección de conceptos del equilibrio químico a evaluar.

Se seleccionaron los conceptos del equilibrio químico que se desea evaluar en este trabajo con base en los contenidos del programa de estudio del CCH y ENP (tabla 4.4), las concepciones alternativas identificadas en los artículos de investigación revisados y la exposición de los conceptos del equilibrio químico en los libros de texto. Las preguntas del primer instrumento de evaluación comprenden las características del equilibrio químico, la constante de equilibrio, su magnitud y aplicaciones; y el principio de Le Chatelier analizando cambios de concentración, presión y volumen.

Tabla No. 4.4 Selección de conceptos para elaborar el instrumento de evaluación.

| Concepto del equilibrio químico | Concepto contemplado en el programa de: | | |
|---|---|-----|-----------------------|
| | ENP | CCH | Concepto seleccionado |
| Características del equilibrio químico: | — | X | X |
| • proceso reversible. | — | X | X |
| • constancia de concentraciones (reactivos y productos). | — | X | X |
| • proceso dinámico. | — | X | X |
| • igualdad de velocidades. | — | — | |
| Constante de equilibrio (Kc) | X | X | X |
| magnitud. | X | X | X |
| relación con el rendimiento de la reacción | | | |
| Principio de Le Chatelier cambio en la concentración de un reactivo o producto | — | X | X |
| Efectos de los cambios de volumen y presión | — | X | X |
| Efecto de los cambios de temperatura | — | X | |

Es de notar que en el subsistema de ENCCH se revisan más conceptos del equilibrio químico porque uno de sus objetivos es que el alumno comprenda cómo estos conceptos impactan en el control de la eficiencia de los procesos de elaboración de productos estratégicos, mientras que en la ENP se estudia el concepto del equilibrio ácido base y constante de ionización del agua para explicar su efecto en el sistema amortiguador de la sangre y su relación con el valor de pH de este.

4.1.5 Fase 2, segunda etapa. Construcción del primer instrumento de evaluación.

Con los conceptos del equilibrio químico ya seleccionados se procedió a revisar los ejercicios en los libros de texto más usados por los docentes para impartir el tema y con algunas de las ideas propuestas y lo investigado hasta ahora en la literatura especializada, se diseñaron 13 preguntas con dos escalones, tabla 4.5, el primero de ellos tiene tres opciones y el segundo escalón es una pregunta abierta con la finalidad de obtener información de las explicaciones de los estudiantes sobre la respuesta seleccionada en el primer escalón.

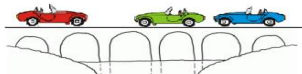


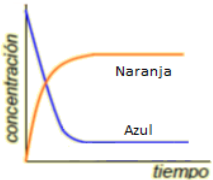
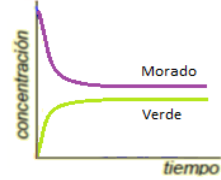
En el diseño de las preguntas se consideró el uso de diferentes representaciones para favorecer la comprensión de la pregunta por parte de los estudiantes; se emplearon dibujos, gráficas y representaciones simbólicas, macroscópicas y submicroscópicas.

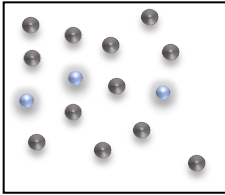
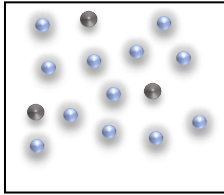
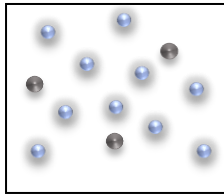
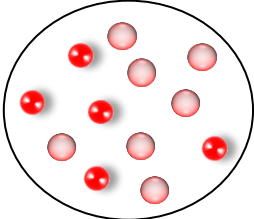
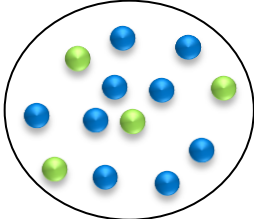
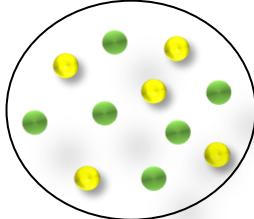
Se diseñó una pregunta para cada uno de los conceptos de las categorías seleccionadas (tabla 4.3), por ejemplo, para la categoría características del equilibrio químico tiene cuatro preguntas relacionadas con los conceptos: equilibrio dinámico, cambio de concentración de reactivos al establecerse el equilibrio, representación macroscópica de un sistema en equilibrio y reversibilidad de reacción.

Debido a que el anterior programa de estudios del CCH pedía hacer énfasis en la coexistencia de reactivos y productos además de relacionar el equilibrio con el rendimiento de reacción se diseñan seis preguntas que evalúan el valor de la constante de equilibrio con la cantidad de reactivos y productos, factores que la afectan, rendimiento de reacción y concentraciones iniciales y al equilibrio, empleando para ello diferentes tipos de representaciones submicroscópicas.

Este programa de estudios también hace énfasis en identificar hacia dónde se desplaza el equilibrio estudiando los factores que afectan el estado de equilibrio de una reacción: concentración, presión y temperatura; es por ello que se diseñan 3 preguntas que evalúan la adición de un gas que no participa en la reacción, efecto de la disminución de la presión y un aumento en la concentración de reactivos. En la siguiente tabla se encuentran las once preguntas que conforman el primer instrumento de evaluación.

Tabla No 4.5 Primer instrumento de evaluación.

| No | Concepto/ | Pregunta |
|----|---------------------------------------|--|
| 1 | Equilibrio químico (dinámico). | <p>¿Cuál de los siguientes es un equilibrio dinámico?</p> <p>A) <u>Coches cruzando un puente, en ambos sentidos</u></p> <p>B) Agua saliendo de una llave continuamente</p> <p>C) Esquiador bajando de la montaña</p> <p>Explica tu respuesta:</p> |
| | |    |
| 2 | Constante de equilibrio. | <p>¿Qué factores alteran el valor de la constante de equilibrio?</p> <p>A) Un cambio en la concentración de los reactivos y/o productos.</p> <p>B) <u>Un cambio en la temperatura del sistema.</u></p> <p>C) Un cambio en el volumen y/o en la presión del sistema.</p> <p>Explica tu respuesta:</p> |
| 3 | Constante de equilibrio. | <p>Para el siguiente sistema en equilibrio:</p> $2\text{HI (g)} \rightleftharpoons \text{H}_2 \text{(g)} + \text{I}_2 \text{(g)}$ <p>si se disminuye la presión a la mitad, a temperatura constante, ¿qué sucede con la constante de equilibrio?</p> <p>A) Aumenta, aunque el volumen aumente.</p> <p>B) Disminuye, aunque el volumen aumente.</p> <p>C) <u>No cambia, aunque el volumen aumente.</u></p> <p>Explica tu respuesta:</p> |
| 4 | Equilibrio químico. | <p>En las siguientes gráficas que representan dos equilibrios químicos independientes, ¿qué línea representa el cambio de concentración en los reactivos?</p> <p>A) Azul-verde</p> <p>B) Naranja-morado</p> <p>C) <u>Azul-morado</u></p> <p>Explica tu respuesta:</p> |
| | |   |

| | | |
|---|---------------------------------|--|
| 5 | Constante de equilibrio. | <p>¿En cuál de los siguientes diagramas se representa el equilibrio de la reacción química cuya constante de equilibrio es $K_c = 4$?</p> $E \rightleftharpoons G$ <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>A)</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>B)</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>C)</p>  </div> </div> <p style="text-align: right;"> E ● esferas grises G ● esferas blancas </p> <p>Explica tu respuesta:</p> |
| 6 | Constante de equilibrio. | <p>Los siguientes diagramas representan tres reacciones químicas diferentes en equilibrio, ¿cuál de ellas tiene la constante de equilibrio con mayor valor?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>A)</p>  <p>● A \rightleftharpoons B ●</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>B)</p>  <p>● C \rightleftharpoons D ●</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>C)</p>  <p>● E \rightleftharpoons F ●</p> </div> </div> <p>Explica tu respuesta:</p> |
| 7 | Constante de equilibrio. | <p>Se tiene un sistema en equilibrio a 1000 °C, las concentraciones de las especies presentes son: $[SO_2] = 0.34 \text{ M}$, $[O_2] = 0.17 \text{ M}$ y $[SO_3] = 0.06 \text{ M}$, explica por qué el rendimiento de la reacción es bajo:</p> $2 SO_2 (g) + O_2 (g) \rightleftharpoons 2 SO_3 (g)$ <p>A) <u>porque su K_{eq} es menor a uno.</u></p> <p>B) porque su K_{eq} es mayor a uno.</p> <p>C) porque su K_{eq} es igual a uno.</p> <p>Explica tu respuesta:</p> |
| 8 | Constante de equilibrio. | <p>Para la síntesis de amoníaco, la constante de equilibrio K_{eq} a 375 °C es 1.2. Al iniciar la reacción, las concentraciones de las especies presentes son: $[H_2] = 0.76 \text{ M}$, $[N_2] = 0.6 \text{ M}$ y $[NH_3] = 0.48 \text{ M}$, ¿qué gas habrá aumentado su concentración en el equilibrio?</p> $N_2 (g) + 3 H_2 (g) \rightleftharpoons 2 NH_3 (g)$ <p>A) Nitrógeno.</p> <p>B) Hidrógeno.</p> <p>C) <u>Amoniaco.</u></p> <p>Explica tu respuesta:</p> |

| | | |
|----|-----------------------------------|---|
| 9 | Equilibrio químico. | <p>Cuál de las siguientes ecuaciones representa un cambio químico que debiera llevar doble flecha por estar en equilibrio:</p> <p>A) <u>Formación de yoduro de potasio,</u> $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 (\text{ac}) + 2 \text{KI} (\text{ac}) \longrightarrow \text{PbI}_2(\text{s}) + 2 \text{KNO}_3 (\text{ac})$</p> <p>B) Disolución de un ácido fuerte en agua, $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_3\text{O}^+ (\text{ac}) + \text{Cl}^- (\text{ac})$</p> <p>C) Combustión del butano, $\text{C}_4\text{H}_{10} (\text{g}) + 13/2 \text{O}_2 (\text{g}) \longrightarrow 4 \text{CO}_2 (\text{g}) + 5 \text{H}_2\text{O} (\text{g})$</p> <p>Explica tu respuesta:</p> |
| 10 | Principio de Le Chatelier. | <p>En un recipiente cerrado se coloca trióxido de azufre, SO_3, y el sistema se calienta hasta que se alcanza el estado de equilibrio representado por la siguiente ecuación:</p> $2 \text{SO}_3 (\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{SO}_2 (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g})$ <p>Manteniendo la temperatura constante se agrega $\text{N}_2 (\text{g})$ al sistema, indica ¿qué es lo que sucede?</p> <p>A) El N_2 reacciona desplazando el equilibrio hacia la formación de SO_3</p> <p>B) El N_2 reacciona desplazando el equilibrio hacia la formación de SO_2 y O_2</p> <p>C) <u>El N_2 no reacciona por lo que no se afecta el equilibrio de SO_3</u></p> <p>Explica tu respuesta:</p> |
| 11 | Principio de Le Chatelier. | <p>La siguiente ecuación representa un sistema que está en equilibrio:</p> $\text{CO} (\text{g}) + \text{Cl}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons \text{COCl}_2 (\text{g})$ <p>¿Cómo se modifican las concentraciones de las sustancias participantes si se adiciona cierta cantidad de $\text{Cl}_2 (\text{g})$?</p> <p>A) <u>Aumenta la concentración del producto</u></p> <p>B) Aumenta la concentración de ambos reactivos</p> <p>C) Aumenta la concentración de reactivos y productos</p> <p>Explica tu respuesta:</p> |

4.1.6 Fase 3, primera etapa. Aplicación del primer instrumento de evaluación y actividades de aprendizaje.

Se aplica el instrumento de evaluación al grupo 0537 del quinto semestre de la ENCCH Sur con un total de 19 alumnos de entre 16 y 17 años de los cuales son 10 mujeres y 9 hombres. En este momento los alumnos ya presentan conocimientos del tema de reacción química, reacciones ácido base y óxido reducción, por lo que se desea evaluar cómo aplican estos conceptos al tema de equilibrio químico y las concepciones alternativas que pueden trasladar de estos temas.

Después de aplicar esta primera prueba, se analiza la pertinencia de las preguntas, si realmente evalúan los conceptos seleccionados y permiten identificar las ideas de los alumnos. Se analiza la respuesta de los alumnos a cada pregunta, así como su justificación.

Se impartió una serie de actividades para la enseñanza del equilibrio químico desde un enfoque cinético (después de aplicar el primer instrumento de evaluación), por lo que se hizo indispensable desarrollar actividades de dos temas diferentes (cinética de reacción y equilibrio químico) en 8 horas de clase. Se ajustaron las actividades al tiempo disponible ya que el tema de equilibrio químico fue el último en enseñar y quedaban algunas sesiones de trabajo con los alumnos.

Las actividades que se aplicaron para la enseñanza de la cinética química fueron: experiencias de cátedra, uso del simulador de velocidad de reacción y energía de activación en plenaria y una actividad experimental en equipo de cuatro personas para evaluar los efectos de la velocidad de reacción en función del tamaño de partícula.

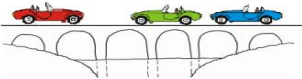


Las actividades que se aplicaron para la enseñanza del equilibrio químico fueron: enseñanza de reversibilidad de reacción mediante analogías, análisis de gráficas, revisión de los conceptos de constante de equilibrio y cociente de reacción, actividad experimental que muestra los factores que afectan el equilibrio químico. En el anexo 3, se describen las actividades de enseñanza aplicadas. Una limitación de este trabajo fue el tamaño reducido de la muestra, sin embargo, los resultados obtenidos resultaron confiables debido a la similitud con los resultados obtenidos en otras investigaciones (Dewi, Parlan y Suryadharma, 2020); también consideramos que las actividades de enseñanza generaron concepciones alternativas por lo que comparamos los argumentos que los alumnos ofrecieron para justificar cada pregunta antes y después de la instrucción y las diferenciamos entre concepciones alternativas provenientes del traslado de conceptos de otros temas (por ejemplo cinética química) hacia el equilibrio químico y concepciones alternativas derivadas de la instrucción.

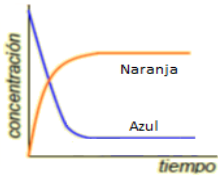
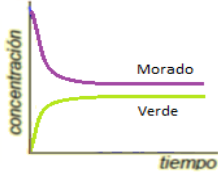
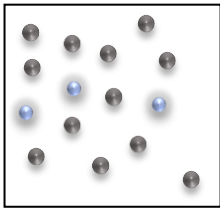
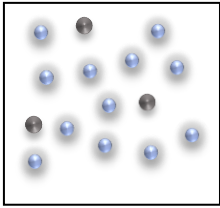
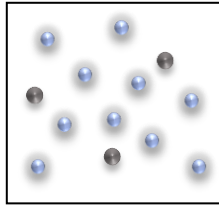
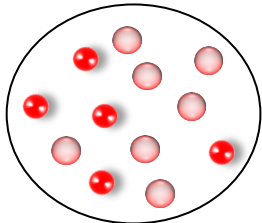
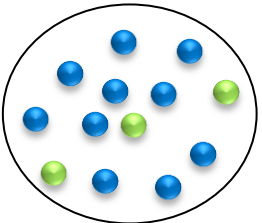
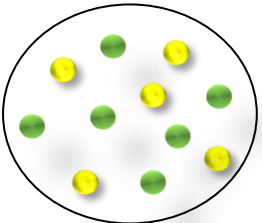
4.1.7 Fase 3, segunda etapa. Construcción del segundo instrumento de evaluación.

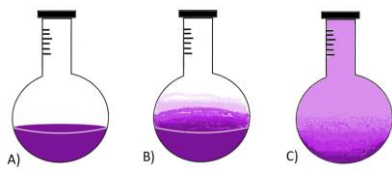
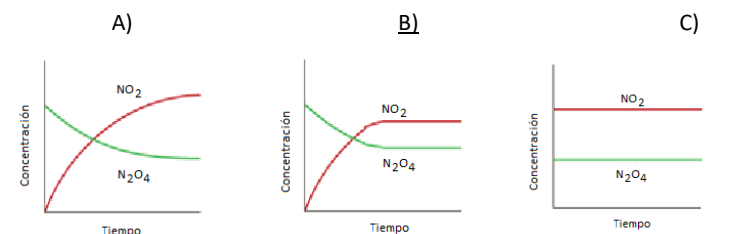
Después de la enseñanza del equilibrio químico se decide identificar no solo el grado de comprensión de las características del equilibrio, sino además la aplicación de la constante de equilibrio y el principio de Le Chatelier. Para ello se ajusta la redacción de las preguntas y sus respuestas para su mejor comprensión. Se decide eliminar las preguntas que evalúan el mismo concepto y presentan una reacción similar y/o el mismo tipo de representación, tabla 4.6.

El primer instrumento de evaluación contiene 11 preguntas de doble escalón, con el segundo escalón abierto, mientras que en el segundo instrumento de evaluación se elaboró un examen de 16 preguntas, el cual contiene ocho preguntas del primer instrumento de evaluación y ocho nuevas preguntas.

Tabla No 4.6 Segundo instrumento de evaluación.

| No | Concepto | Pregunta |
|----|--------------------------------|---|
| 1 | Equilibrio químico (dinámico). | <p>¿Cuál de los siguientes es un equilibrio dinámico?</p> <p>A) <u>Coches cruzando un puente, en ambos sentidos</u> </p> <p>B) Agua saliendo de una llave </p> <p>C) Esquiador bajando de la montaña </p> <p>Explica tu respuesta:</p> |
| 2 | Constante de equilibrio. | <p>¿Qué factores alteran el valor de la constante de equilibrio?</p> <p>A) Un cambio en la concentración de los reactivos y/o productos.</p> <p>B) <u>Un cambio en la temperatura del sistema.</u></p> <p>C) Un cambio en el volumen y/o en la presión del sistema.</p> <p>Explica tu respuesta:</p> |
| 3 | Constante de equilibrio. | <p>Para el siguiente sistema en equilibrio:</p> $2\text{HI (g)} \rightleftharpoons \text{H}_2 \text{(g)} + \text{I}_2 \text{(g)}$ <p>si se disminuye la presión a la mitad, a temperatura constante, ¿qué sucede con la constante de equilibrio?</p> <p>A) Aumenta, aunque el volumen aumente.</p> |

| | | |
|---|---------------------------------|--|
| | | <p>B) Disminuye, aunque el volumen aumente.</p> <p>C) <u>No cambia, aunque el volumen aumente.</u></p> <p>Explica tu respuesta:</p> |
| 4 | Equilibrio químico. | <p>En las siguientes gráficas que representan dos equilibrios químicos independientes, ¿qué línea representa el cambio de concentración en los reactivos?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p>A) Azul-verde</p> <p>B) Naranja-morado</p> <p>C) <u>Azul-morado</u></p> <p>Explica tu respuesta:</p> |
| 5 | Constante de equilibrio. | <p>¿En cuál de los siguientes diagramas se representa el equilibrio de la reacción química cuya constante de equilibrio es $K_c = 4$?</p> $E \rightleftharpoons G$ <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>A)</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p><u>B)</u></p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>C)</p>  </div> </div> <p>E ● esferas grises</p> <p>G ● esferas blancas</p> <p>Explica tu respuesta:</p> |
| 6 | Constante de equilibrio. | <p>Los siguientes diagramas representan tres reacciones químicas diferentes en equilibrio, ¿cuál de ellas tiene la constante de equilibrio con mayor valor?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>B)</p>  <p>A \rightleftharpoons B</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><u>B)</u></p>  <p>C \rightleftharpoons D</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>C)</p>  <p>E \rightleftharpoons F</p> </div> </div> <p>Explica tu respuesta:</p> |
| 7 | Constante de equilibrio | <p>Se tiene un sistema en equilibrio a $1000\text{ }^\circ\text{C}$, las concentraciones de las especies presentes son 0.34 M de SO_2, 0.17 M de O_2 y 0.06 M de SO_3, si el valor de $K_c = 0.18$, ¿cómo es el rendimiento de la reacción?</p> $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ <p>A) <u>Bajo, rendimiento menor al 20 %.</u></p> <p>B) Alto, rendimiento del 100 %.</p> <p>C) Intermedio, rendimiento del 50 %.</p> |

| | | |
|----|---|--|
| | | Explica tu respuesta: |
| 8 | Constante de equilibrio. | <p>Para la síntesis de amoníaco, la constante de equilibrio K_c a 375 °C es 1.2. Al iniciar la reacción, las concentraciones de las especies presentes son: $[H_2] = 0.76 M$, $[N_2] = 0.6 M$ y $[NH_3] = 0.48 M$, ¿qué gas habrá aumentado su concentración en el equilibrio?</p> $N_2 (g) + 3 H_2 (g) \rightleftharpoons 2 NH_3 (g)$ <p>D) Nitrógeno. E) Hidrógeno. F) <u>Amoníaco.</u></p> <p>Explica tu respuesta:</p> |
| 9 | Constante de equilibrio | <p>Se tiene una reacción de síntesis de amoníaco en un reactor a 200 °C y existen 0.34 moles de N_2, 0.09 moles de H_2 y 0.005 moles de NH_3, si el valor de su constante de equilibrio es $K_c = 0.65$, qué significa que el valor del cociente de la reacción $Q_c = 0.10$</p> $N_2 (g) + 3 H_2 (g) \rightleftharpoons 2 NH_3 (g)$ <p>A) el sistema se encuentra desplazado a hacia la formación de productos. B) el sistema no se encuentra desplazado, está en equilibrio. C) <u>el sistema se encuentra desplazado a hacia la formación de reactivos.</u></p> <p>Explica tu respuesta:</p> |
| 10 | Equilibrio químico | <p>¿Cuál de los siguientes diagramas ejemplifica el equilibrio dinámico que presenta la siguiente reacción?</p> $I_2 (s) \rightleftharpoons I_2 (g)$  <p>Explica tu respuesta:</p> |
| 11 | Equilibrio químico | <p>De los siguientes sistemas cuál se encuentra en un equilibrio dinámico:</p> <p>A) <u>Aderezo de vinagre con agua.</u> B) Helio y aire contenidos en un globo cerrado. C) Una estatua de mármol en el parque.</p> <p>Explica tu respuesta:</p> |
| 12 | Equilibrio químico – reversibilidad de reacción. | <p>¿Cuál de los siguientes sistemas presenta un equilibrio químico?</p> <p>A) Combustión del metano. B) <u>Disolución de dióxido de carbono en agua.</u> C) Neutralización de un ácido con una base fuerte.</p> <p>Explica tu respuesta:</p> |
| 13 | Equilibrio químico | <p>De las siguientes gráficas, cuál representa el avance de la siguiente reacción hasta que se establece el equilibrio:</p> $N_2O_4 (g) \rightleftharpoons 2 NO_2 (g)$  <p>Explica tu respuesta:</p> |
| 14 | Principio de Le Chatelier, cambio de concentración | <p>Se tiene un sistema cerrado en equilibrio que contiene $CaCO_3$, CaO y CO_2, si se adiciona un mol de CaO, ¿hacia dónde se desplazara el equilibrio?</p> $CaCO_3 (s) \rightleftharpoons CaO (s) + CO_2 (g)$ <p>A) Hacia los productos.</p> |

| | | |
|----|--------------------|--|
| | | <p>B) Hacia los reactivos. C) <u>No hay desplazamiento.</u></p> <p>Explica tu respuesta:</p> |
| 15 | Equilibrio químico | <p>¿Cuál de las siguientes es una característica del equilibrio químico?:</p> <p>A) Las concentraciones de reactivos y productos se mantienen iguales. B) Las moléculas de reactivos y productos presentan colisiones débiles. C) <u>La velocidad de formación de los productos es igual a la de descomposición de los productos.</u></p> <p>Explica tu respuesta:</p> |
| 16 | Equilibrio químico | <p>Analiza las siguientes gráficas e indica cuál de las siguientes reacciones llega primero al equilibrio</p> <p>A) $A+B \rightleftharpoons C$ B) $D+H \rightleftharpoons J$ C) $X+Y \rightleftharpoons Z$</p> <p>Explica tu respuesta:</p> |

4.1.8 Fase 3 tercera etapa. Análisis de la respuesta abierta.

Para cada pregunta de los dos instrumentos de evaluación se elabora una tabla donde se vacían y comparan las respuestas que cada alumno escribió, anexo 1 y 3. Se contabiliza el número de aciertos para cada pregunta y se analiza si existe congruencia entre la respuesta y su justificación. Se coteja la justificación de cada alumno con la lista de concepciones alternativas reportadas en la literatura.

4.1.9 Fase 4 primera etapa. Construcción del instrumento de evaluación con preguntas de dos escalones de opción múltiple.

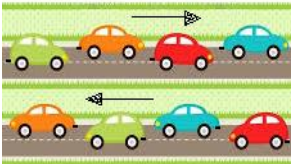

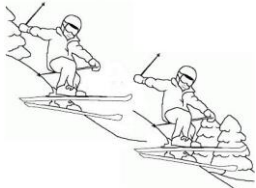
A partir del análisis de las preguntas abiertas y las concepciones alternativas identificadas en la literatura (Anexos 2 y 4, Tabla 4.3) se identificó las concepciones alternativas que presentó el grupo de estudio relacionadas con cada pregunta, así como el grado de comprensión de los conceptos del equilibrio químico (tablas 4.7, 5.6, 5.7, 5.8 y 5.9).

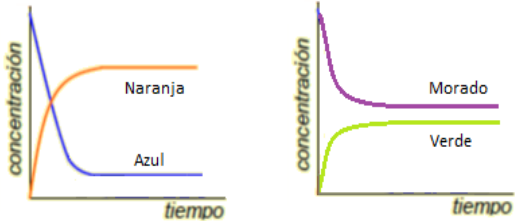
Se ajusta nuevamente la redacción de cada pregunta con el objetivo de que al alumno se le presente una serie de preguntas de fácil comprensión, pues se observó que la redacción de algunas de éstas en los primeros dos instrumentos de evaluación era confusa y, se diseñaron tres opciones de respuesta para el primer escalón. Cada opción de respuesta contiene entre sus argumentos las concepciones alternativas identificadas, conceptos incompletos o erróneos y el argumento correcto.

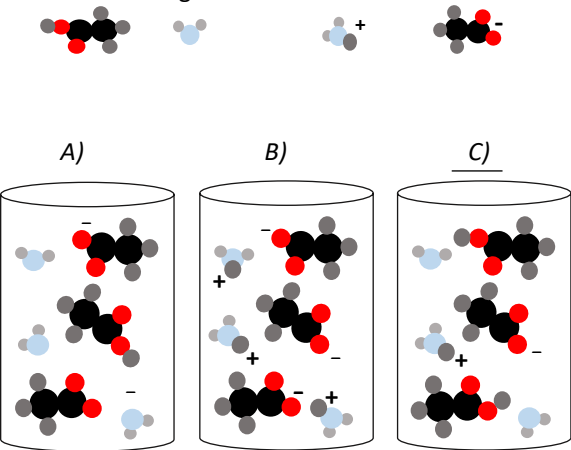
Después de diseñar el segundo escalón con tres opciones de respuesta (tabla 4.7), se analizó la pertinencia de cada pregunta, se decidió evaluar solo los conceptos: equilibrio dinámico, reversibilidad de reacción y del equilibrio químico equilibrio; ya que son fundamentales en la comprensión del tema y presentan dificultad de aprendizaje en el grupo de estudio.

Para identificar de forma eficaz el grado de comprensión de estos conceptos, se decide crear tres posibles respuestas para cada inciso del primer escalón, es decir que el segundo escalón presenta nueve opciones de respuesta (tabla 4.7). De esta manera el alumno puede seleccionar de entre 3 opciones el argumento que mejor justifica su respuesta. En cada pregunta se modificó su redacción para evitar en lo posible futuras confusiones en las respuestas de los alumnos.

Tabla 4.7. Instrumento de evaluación de dos escalones de opción múltiple.

| Concepto | Pregunta con primer escalón | Concepciones alternativas relacionadas y dificultades de aprendizaje | Propuesta del 2do escalón. |
|----------|--|---|--|
| EQD | <p>1. ¿Cuál de las siguientes situaciones podría ser una analogía que puedes utilizar para explicar a un compañero las características de un equilibrio dinámico?</p> <p>A) <u>Igual número de coches que salen de una ciudad e igual número de coches que entran en un tiempo determinado</u></p>  <p>B) Agua que llena una tina, la cual al mismo tiempo se vacía, pero mantiene su nivel de agua constante</p>  <p>C) Esquiadores que suben y bajan de la montaña a una velocidad constante.</p>  | <p>Concepción alternativa.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Consideran al equilibrio como estático. <p>Ideas de los alumnos que permitieron diseñar esta pregunta.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hay movimiento en diferentes partes. • Siempre habrá una constante de velocidad y magnitud, constante de flujo y contra reflujo de ambos sentidos. • Siempre sale una cantidad de agua constante. <p>Alcance de la pregunta. Aspectos de las analogías del equilibrio dinámico en esta pregunta. Muestran una igualdad de concentraciones en el equilibrio dinámico. No explican el equilibrio dinámico a nivel molecular. En el segundo escalón las respuestas hacen referencia solo a dos procesos simultáneos.</p> | <p>A) <u>Porque el movimiento de los coches para entrar o salir de una ciudad en un tiempo determinado es ejemplo de dos procesos simultáneos en dirección contraria.</u></p> <p>B) Los coches salen primero de la ciudad para después entrar lo que nos indica que se realizan dos procesos en dirección contraria.</p> <p>C) Los coches se mueven constantemente dentro de la ciudad y fuera de ella por lo que se encuentran en equilibrio dinámico.</p> <p>A) Una cubeta con agua mantiene su nivel constante porque existen dos procesos simultáneos uno que llena y otro que vacía la cubeta en direcciones contrarias.</p> <p>B) Un flujo constante de agua que llena la cubeta, seguido de un flujo de salida de agua son dos procesos que mantienen constante el nivel de agua de la cubeta.</p> <p>C) El agua que entra o sale de una cubeta se encuentra en equilibrio dinámico porque fluye constantemente.</p> <p>A) Al hacer los esquiadores un movimiento de balanceo sobre los esquís para no caer se realizan dos procesos en direcciones contrarias.</p> <p>B) Cuando los esquiadores bajan la montaña sin caer a una velocidad constante se encuentran en equilibrio dinámico.</p> <p>C) Los dos procesos simultáneos que realiza el esquiador son movimientos para mantener un balance mientras baja la montaña a una velocidad constante.</p> |

| Concepto | Pregunta con primer escalón | Concepciones alternativas relacionadas y dificultades de aprendizaje | Propuesta del 2do escalón. |
|----------|--|--|---|
| EQ | <p>2. En las siguientes gráficas qué líneas representan el cambio de concentración de los reactivos en una reacción química cuando avanza hacia el equilibrio químico</p> <p>A) Azul y verde B) Naranja y morado C) <u>Azul y morado</u></p>  | <p>Concepción alternativa:</p> <ul style="list-style-type: none"> No distinguen composiciones iniciales y de equilibrio. <p>Ideas de los alumnos que permitieron diseñar esta pregunta.</p> <ul style="list-style-type: none"> Cambio de concentración con el tiempo. Cambio de velocidad respecto a la concentración. <p>Alcance de la pregunta. Representaciones: Se busca identificar si los alumnos interpretan adecuadamente las gráficas, cada una representa una reacción que avanza hasta alcanzar el equilibrio.</p> | <p>A) Sin importar la concentración inicial de reactivos (representados por las líneas azul y verde) cuando se establece el equilibrio químico la concentración final de reactivos es menor que la de productos.</p> <p>B) Al llegar la reacción al estado de equilibrio químico se tiene una velocidad constante de formación de reactivos por unidad de tiempo en este caso representados por las líneas azul y verde.</p> <p>C) Las líneas azul y verde representan a los reactivos que después de un cierto tiempo llegan a un estado de equilibrio químico con sus productos en donde sus concentraciones permanecen constantes.</p> <p>A) Sin importar la concentración inicial de reactivos (representados por las líneas naranja y morado) cuando se establece el equilibrio químico la concentración final de reactivos es mayor que la de productos.</p> <p>B) Al llegar la reacción al estado de equilibrio químico se tiene una velocidad constante de formación de reactivos por unidad de tiempo en este caso representados por las líneas naranja y morado.</p> <p>C) Las líneas naranja y morado representan a los reactivos que después de un cierto tiempo llegan a un estado de equilibrio químico con sus productos en donde sus concentraciones permanecen constantes.</p> <p>A) <u>Una concentración final de reactivos menor y constante en comparación con su concentración inicial (representado por las líneas azul y morado) nos indica se estableció un estado de equilibrio químico.</u></p> <p>B) Al llegar la reacción al estado de equilibrio químico se tiene una velocidad constante de formación de reactivos por unidad de tiempo en este caso representados por las líneas azul y morado.</p> <p>C) Las líneas azul y morado representan un estado de equilibrio químico donde la concentración inicial de reactivos es mayor que la de productos.</p> |

| Concepto | Pregunta con primer escalón | Concepciones alternativas relacionadas | Propuesta del 2do escalón. |
|----------|---|--|---|
| EQ | <p>4. Cuál de los siguientes diagramas representa un estado de equilibrio químico para el ácido acético (CH₃COOH) en disolución acuosa:</p> $\text{CH}_3\text{COOH (ac)} + \text{H}_2\text{O (l)} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ \text{ (ac)} + \text{CH}_3\text{COO}^- \text{ (ac)}$ <p>ácido acético agua ion hidronio ion acetato</p>  | <p>Concepción alternativa:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Compartimentación del equilibrio. • Inadecuada comprensión submicroscópica de la reacción química. • No admiten la coexistencia de todas las especies. <p>Ideas de los alumnos que permitieron diseñar esta pregunta.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Al existir un equilibrio dinámico con el agua ya que no existe una reacción. <p>Alcance de la pregunta. Las representaciones submicroscópicas ayudan a comprender el fenómeno de disociación de un ácido débil.</p> | <p>A) En el estado de equilibrio químico participan las moléculas del ácido acético y ion acetato, no participan las moléculas de agua.</p> <p>B) Se representan dos equilibrios químicos independientes, el de las moléculas del ion acetato con el ácido acético y el de las moléculas de agua.</p> <p>C) Las moléculas del ácido acético se encuentran en equilibrio químico con las moléculas de agua, el ion acetato por tener carga negativa tiene un equilibrio químico independiente.</p> <p>A) En el equilibrio químico como todos los reactivos ya reaccionaron las moléculas del ácido acético y del agua se encuentran disociadas por completo.</p> <p>B) Cuando se tiene igual cantidad de cargas negativas del ion acetato y cargas positivas del ion hidronio la reacción alcanza el equilibrio químico.</p> <p>C) Una igualdad de concentraciones entre las moléculas del ion acetato y del ion hidronio es necesaria para tener un equilibrio químico.</p> <p>A) <u>Cuando las moléculas del ácido acético se disocian parcialmente en agua coexisten reactivos y productos y esto es una condición del equilibrio químico.</u></p> <p>B) Igual número de moléculas de ácido acético y de agua sin reaccionar se encuentran en equilibrio químico lo que explica el uso de la doble flecha en la ecuación.</p> <p>C) Se tiene dos equilibrios químicos independientes, el de las moléculas del ion acetato con el ácido acético y el de las moléculas de agua con el ion hidronio.</p> |

| Concepto | Pregunta con primer escalón | Concepciones alternativas relacionadas | Propuesta del 2do escalón. |
|----------|--|---|---|
| EQ, RV | <p>5. ¿Cuál de las siguientes ecuaciones químicas debiera llevar una doble flecha porque la reacción que representa establece un equilibrio químico?</p> <p>A) <u>Reacción de precipitación</u> $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 (\text{ac}) + 2 \text{KI} (\text{ac}) \longrightarrow \text{PbI}_2(\text{s}) + 2 \text{KNO}_3 (\text{ac})$ nitrato de plomo (II) + yoduro de potasio \longrightarrow yoduro de plomo (II) + nitrato de potasio.</p> <p>B) Disolución de un ácido fuerte en agua: $\text{HCl} (\text{ac}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \longrightarrow \text{H}_3\text{O}^+ (\text{ac}) + \text{Cl}^- (\text{ac})$ ácido clorhídrico + agua \longrightarrow ion hidronio + ion cloruro.</p> <p>C) Combustión del butano en una estufa: $\text{C}_4\text{H}_{10} (\text{g}) + 13/2 \text{O}_2 (\text{g}) \longrightarrow 4 \text{CO}_2 (\text{g}) + 5 \text{H}_2\text{O} (\text{g})$ butano + oxígeno \longrightarrow Dióxido de carbono + vapor de agua.</p> | <p>Concepción alternativa:</p> <ul style="list-style-type: none"> No identifican cuando una reacción es reversible y cuando es completa No diferencian sistemas en equilibrio de sistemas que no lo están. <p>Ideas de los alumnos que permitieron diseñar esta pregunta.</p> <ul style="list-style-type: none"> Tiene los mismos elementos de un lado y de otro por eso está en equilibrio. Esta balanceada, se forma tanto un ácido conjugado y una base conjugada lo cual representa un equilibrio. <p>Alcance de la pregunta. Identificar que el equilibrio químico se establece en reacciones reversibles.</p> | <p>A) La ecuación debiera tener una doble flecha porque se encuentra en equilibrio químico ya que el sólido formado $\text{PbI}_2(\text{s})$ tiene la misma masa que la disolución acuosa restante (H_2O, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, KI y KNO_3).</p> <p>B) Se establece el equilibrio químico en esta reacción reversible cuando la concentración de todos los compuestos en disolución ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, KI y KNO_3) es igual a la concentración de los compuestos en estado sólido (PbI_2).</p> <p>C) <u>En esta reacción reversible se tiene una concentración constante de reactivos ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ y KI) y productos (PbI_2 y KNO_3) cuando se establece el equilibrio químico por lo que su ecuación lleva una doble flecha.</u></p> <p>A) Cantidades iguales de ácido sin ionizar (HCl) y ionizado (Cl^-) constituyen una reacción irreversible, la cual se encuentra en equilibrio químico.</p> <p>B) En esta reacción irreversible todas las moléculas de ácido se encuentran ionizadas (Cl^-) por lo que se encuentra en equilibrio químico.</p> <p>C) Se tiene una reacción irreversible en equilibrio químico porque existe igual número de moléculas con carga positiva (H_3O^+) y negativa (Cl^-).</p> <p>A) Se tiene una reacción irreversible en equilibrio químico porque los reactivos se consumen para formar dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua (H_2O).</p> <p>B) El butano (C_4H_{10}) y oxígeno (O_2) que no reaccionaron forman una reacción irreversible que se encuentra en equilibrio químico.</p> <p>C) Cuando los productos formados ($\text{CO}_2 (\text{g})$ y $\text{H}_2\text{O} (\text{g})$) se encuentran en forma gaseosa al igual que los reactivos se establece un equilibrio químico en la reacción.</p> |

| Concepto | Pregunta con primer escalón | Concepciones alternativas relacionadas | Propuesta del 2do escalón. |
|----------|--|--|--|
| Keq | <p>6. ¿Qué factores alteran el valor de la constante de equilibrio, Keq?</p> <p>A) Un cambio de concentración de reactivos y/o productos</p> <p>B) <u>Un cambio de temperatura del sistema</u></p> <p>C) Un cambio de tamaño del sistema</p> | <p>Concepción alternativa:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cuanto mayor sea el valor de K, más rápida será la reacción directa. • El valor de K depende de la concentración. <p>Ideas de los alumnos que permitieron diseñar esta pregunta.</p> <ul style="list-style-type: none"> • No mantienen la constancia de las concentraciones a temperatura constante. • No tienen claro que la Keq solo depende de la temperatura. <p>Alcance de la pregunta. Identificar los parámetros que los alumnos creen modifican el valor de K.</p> | <p>A) Un aumento en la concentración de reactivos modifica el equilibrio químico de la reacción y en consecuencia el valor de la Keq.</p> <p>B) Si la masa molar de reactivos y productos altera su concentración el valor de la Keq cambia porque se alteró el equilibrio químico.</p> <p>C) Si el tiempo en el que se alcanza el equilibrio químico de la reacción aumenta, cambiará la concentración de reactivos y con ello el valor de la Keq.</p> <p>A) Suministrar o quitar energía a la reacción en forma de calor modifica el valor de la Keq porque favorece o desfavorece la formación de reactivos o productos.</p> <p>B) <u>Un cambio de temperatura en la reacción modifica la velocidad de reacción de reactivos y productos y por lo tanto el valor de la Keq.</u></p> <p>C) El valor de la Keq se modifica porque un cambio de temperatura en la reacción altera la energía de activación de la reacción.</p> <p>A) Cambiar el tamaño del sistema modifica la concentración de reactivos y productos, lo que cambia el valor de la Keq.</p> <p>B) El resultado de la Keq varía porque un cambio en el tamaño del sistema altera la velocidad de reacción de los reactivos y por lo tanto la cantidad de productos.</p> <p>C) La capacidad de reacción de los reactivos depende de la presión asociada al tamaño del sistema lo que cambia el resultado del cociente de la ecuación de la Keq.</p> |

Capítulo 5 Análisis de resultados.

5. Análisis de las respuestas en los instrumentos de evaluación.

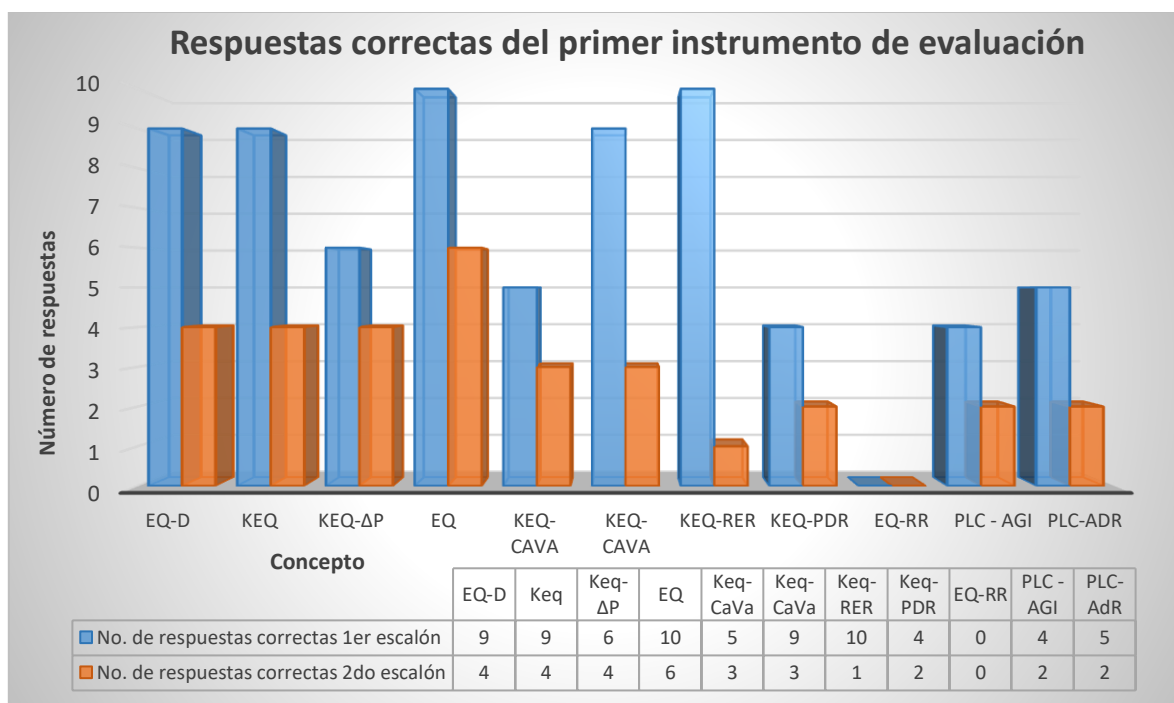
Tomando como base el diagrama de flujo (figura 4.1) de este trabajo se analizaron los resultados obtenidos en los dos instrumentos de evaluación aplicados al grupo de estudio, buscando la evaluación del aprendizaje de los conceptos relacionados con el equilibrio químico en los alumnos y sus concepciones alternativas.

Primero se realizó un análisis general de los argumentos del segundo escalón para identificar las ideas más recurrentes de los alumnos y si existía una evolución de estas entre el primer y segundo instrumento de evaluación.

5.1 Análisis general del primer instrumento de evaluación.

En el primer instrumento de evaluación se puede observar que los alumnos argumentaron sus respuestas con ideas adecuadas, pero no del todo completas, anexo 2. Se mostró una comprensión limitada de los conceptos relacionados al equilibrio químico ya que, justificaron sus respuestas con los conocimientos de reacción química, ácido base, óxido reducción y cinética que han estudiado.

Gráfica No. 5.1. Respuestas de los alumnos del primer instrumento de evaluación.



5.1.1 Características del equilibrio químico. Preguntas 1, 6 y 7.

Las preguntas que evalúan las características del equilibrio químico presentaron un mayor número de aciertos en el primer escalón, pero no así en su justificación. Disminuyó a la mitad, en promedio, la justificación correcta del segundo escalón.

Los estudiantes identificaron que en el equilibrio hay movimiento de reactivos y productos, sin embargo, no mencionaron que la reacción continúa, ya que, aún no conocen el concepto de reacción reversible, ni equilibrio dinámico.

A continuación, se presentan algunas de las ideas que los alumnos exponen acerca del equilibrio químico.

- Se identifica una posible idea de igualdad de cantidad en reactivos y productos cuando se establece el equilibrio.
- No identifican que existen dos procesos simultáneos en sentidos opuestos.
- Existe una idea del equilibrio relacionada al movimiento continuo en una dirección.
- Los alumnos comprenden que conforme avanza la reacción la concentración de reactivos disminuye.

5.1.2 Constante de equilibrio. Preguntas 3, 7, 8, 9 y 10.

Al igual que en la categoría anterior casi la mitad de los alumnos respondió correctamente el primer escalón, sin embargo, solo la mitad de estos justificaron su respuesta de forma adecuada. Esto se debe a que en dos de las preguntas solo se pide calcular el valor de K_c y, aunque aún no saben cómo hacerlo, relacionan la proporción de cantidades entre reactivos y productos.

Considerando sus conocimientos de cinética, los alumnos comprenden que la temperatura afecta la rapidez de reacción y esta idea la aplican a la constante de equilibrio e intuyen la dependencia entre ellas. Relacionan el valor de K_c con la rapidez de reacción, y para calcular el K_c los alumnos suman las concentraciones de reactivos y productos y comparan si este valor es menor a uno.

La pregunta diez es la que presenta menor cantidad de respuestas correctas para el primer escalón, ya que, aún no se estudia la relación entre el valor de K_c y la dirección a la que se desplaza el equilibrio.

Algunas ideas que presentan los alumnos en las preguntas de la categoría constante de equilibrio son las siguientes:

- Sinonimia entre masa y concentración.
- Relacionan K_c con la rapidez de reacción.
- Perciben a la ecuación química como una suma de términos.
- No diferencian entre elemento y compuesto.

5.1.3 Principio de Le Chatelier. Preguntas 2, 4, 5.

Para comprender cómo se perturba el equilibrio químico es necesario conocer el tipo de reacción y las condiciones en las que se encuentra, así como el tipo de perturbación del equilibrio. Las preguntas correspondientes a esta categoría son las que presentaron menor cantidad de respuestas correctas, esto era de esperarse porque los alumnos aún no conocen los conceptos del equilibrio químico ni las condiciones que lo alteran.

Al adicionar una cantidad de reactivo a la reacción en equilibrio, los alumnos identifican que la reacción continua y aumenta la cantidad de productos o la cantidad de reactivos y productos; los estudiantes no conciben la idea de que reactivos y productos se encuentran en el mismo recipiente y piensan que si aumentamos la concentración de reactivos se debe aumentar en la misma proporción la concentración de los productos, lo que pone en evidencia la compartimentación e igualdad matemática de la ecuación química.

Cuando se adiciona un nuevo compuesto o elemento que no participa en la reacción, los alumnos mencionan que si reacciona con los reactivos formando más productos o formando reactivos y productos. También creen que al aumentar la presión aumenta la rapidez de reacción. En términos generales no consideran el estado de agregación de las sustancias.

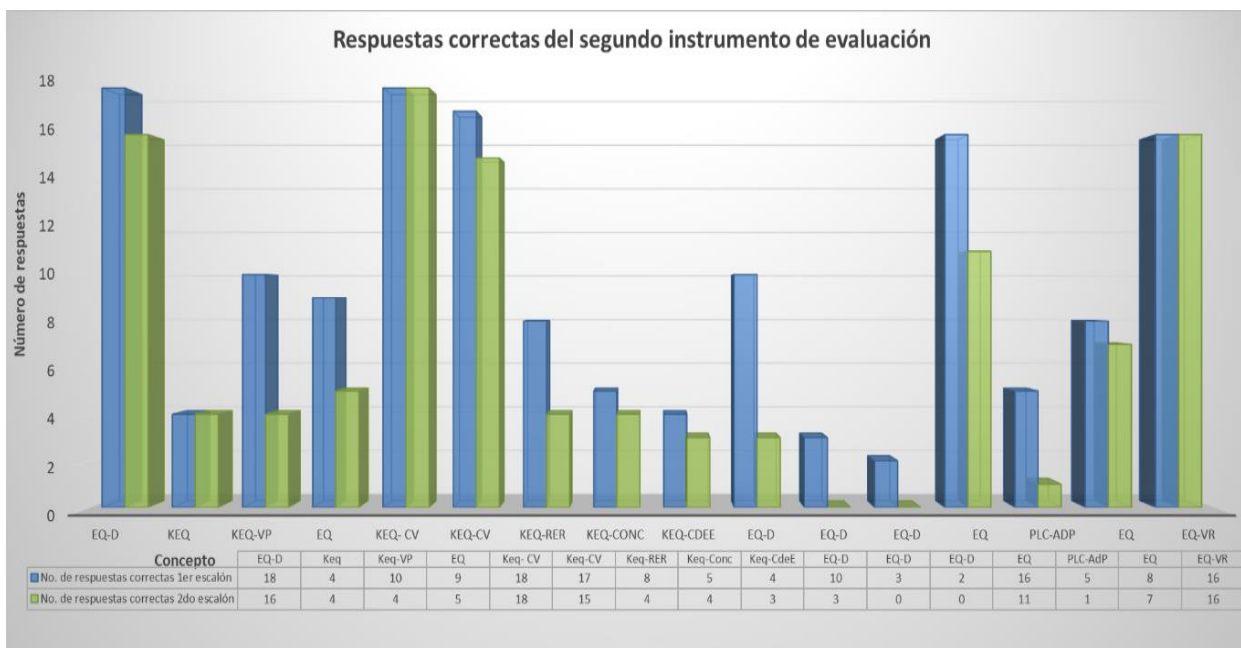
Algunas de las ideas de los alumnos en la categoría de Principio de Le Chatelier son:

- A mayor concentración de reactivos mayor rapidez de reacción.
- El concepto de cantidad es igual al de concentración.
- Un aumento en la rapidez de reacción altera el valor de la constante de equilibrio.
- El valor de la constante depende de la presión.
- La ecuación química presenta una igualdad como una ecuación matemática.

5.2 Análisis general del segundo instrumento de evaluación.

El análisis de los argumentos de los alumnos para el segundo instrumento de evaluación se encuentra en el anexo 4.

Gráfica No. 5.2. Respuestas de los alumnos del segundo instrumento de evaluación.



5.2.1 Características del equilibrio químico. Preguntas 1, 4, 10, 11, 12, 13, 15 y 16.

Los estudiantes comprenden que una característica del equilibrio es cuando existe una continua transformación de reactivos y productos, lo que da origen a un estado dinámico. Una de las dificultades de aprendizaje fue que los alumnos no logran diferenciar entre las reacciones que se “completan” (en las que todos los reactivos han reaccionado) y las que alcanzan el equilibrio (en las que las concentraciones de reactivos y productos ya no varían), sobre todo cuando se enfrentan a una pregunta donde se les muestran reacciones presentes en la vida cotidiana, con diferentes estados de agregación y con sistemas cerrados y abiertos.

El 50 % de los estudiantes identificaron que cuando se establece el equilibrio la velocidad de la reacción directa e inversa es igual, sin embargo, algunos lo mencionaron de forma implícita al indicar la conversión de reactivos a productos. El 84 % de los alumnos identificaron que cuando se alcanza el equilibrio las concentraciones de reactivos y productos se mantienen constantes.

Por otro lado, algunos alumnos aún refieren que en el equilibrio existen cantidades iguales de reactivos y de productos, sobre todo cuando analizan sistemas heterogéneos.

5.2.2 Constante de equilibrio. Preguntas 2, 3, 5, 6, 7, 8 y 9.

Para las respuestas del primer escalón, en la evaluación final más del 50 % de los alumnos relacionaron un cambio de concentración de reactivos y productos con un cambio en el valor de la constante de equilibrio, en comparación con la evaluación inicial donde el 52 % de estos lo relacionaban con un cambio en la temperatura. Esta concepción alternativa puede deberse a que entre las actividades de enseñanza que se aplicaron se encontraba el cálculo de K_c con diferentes

concentraciones, las que representan diferentes reacciones. En su cálculo los alumnos emplearon la ecuación adecuada y pudieron comparar satisfactoriamente que el sistema presenta un mayor valor de K_c .

Pero cuando se trató de identificar el rendimiento de una reacción los alumnos refirieron que cuando K_c es igual a uno, se obtiene el 100 % de rendimiento. El 42 % de los alumnos identificaron un valor de K_c menor a uno con un rendimiento bajo de reacción, además, comentaron que se obtendrán más productos si el valor de K_c es mayor a uno. Sin embargo, presentaron confusión respecto al valor de K_c y su relación con el desplazamiento del equilibrio pues cuando se les pide analizar sistemas diferentes aplicaron parcialmente los criterios de comparación de los valores entre Q_c y K_c .

5.2.3 Principio de Le Chatelier. Pregunta 14.

La idea que los alumnos mostraron en esta pregunta es que debe haber una igualdad entre la concentración de reactivos y productos, por eso cuando se adiciona un producto sólido a un equilibrio heterogéneo, el equilibrio deberá desplazarse ya sea hacia reactivos o hacia productos.

5.3 Análisis por pregunta-escalón del segundo instrumento de evaluación.

Después de realizar las actividades de aprendizaje, el estudiante debió haber adquirido nuevas habilidades y conocimientos, los cuales pueden evaluarse si se adapta la taxonomía de Bloom de tal manera que permita identificar el grado del conocimiento que desarrollaron los estudiantes. Para el análisis de los argumentos del segundo escalón en este trabajo se adaptaron tres niveles cognitivos, los cuales se definen a continuación de menor a mayor nivel de conocimiento (López, 2021).

Recordar: recuperar conocimiento que está en la memoria, sin comprenderlo. Esta categoría se considera como respuesta incorrecta.

Conocer: repetir algún dato, teoría o principio en su forma original, pero sin poder relacionarlo con otros contenidos o aplicaciones, se encuentra en proceso de comprensión. Esta categoría se considera como respuesta correcta, pero el estudiante se encuentra en el proceso de construcción del conocimiento.

Comprender: Construir significado a partir de diferentes tipos de funciones, sean estas escritas o gráficas. Esta categoría se considera como respuesta correcta y el alumno relaciona este concepto con otros contenidos o aplicaciones (Sáez, 2010).

5.3.1 Equilibrio dinámico. Preguntas 1, 10 y 11.

En la pregunta número 1 el 94.7 % de los estudiantes responde correctamente el primer escalón, de estos, el 66.7 % se encuentran en la categoría de conocer el concepto de equilibrio dinámico, donde la idea más recurrente entre los alumnos es la de movimiento constante en los extremos del puente, y el otro 27.8 % se encuentran en el nivel de comprender ya que relacionan la idea de movimiento con la transformación de reactivos a productos y viceversa. Debido a que los alumnos se encuentran en el proceso de construcción del concepto es necesario identificar si para

ellos un proceso dinámico se realiza en un solo sentido o es un proceso pendular; para la construcción del segundo escalón se recomienda utilizar como distractores las ideas que mencionan los alumnos, es decir, analogías que evoquen la idea de rapidez constante o cantidad constante, que se relacionen a procesos no simultáneos; lo que podría permitir la identificación del grado de construcción del concepto.

En la pregunta número 10 el 52.6 % de los alumnos responde correctamente el primer escalón, sin embargo, solo el 20 % de estos logra tener el nivel de conocer y el 10 % el nivel de comprender. El 60 % de los alumnos se queda en el nivel de recordar donde la idea que prevalece es la de igualdad de concentraciones de reactivos y productos en el equilibrio. En esta pregunta se analiza el equilibrio dinámico de un cambio físico y no la evolución de una reacción química por lo que no es factible la elaboración del segundo escalón de opción múltiple; es por ello que no formó parte del instrumento de dos escalones.

La pregunta número 11 presentó un alto grado de dificultad para los alumnos ya que sólo el 15.8 % de ellos respondieron correctamente el primer escalón, pero, ninguno respondió con un argumento satisfactorio el segundo escalón. En general los estudiantes argumentan que el equilibrio se establece en sistemas cerrados, pero no diferencian entre una reacción química y una mezcla, identifican al equilibrio dinámico con movimiento de las partículas sin que exista un cambio químico o de estado de agregación. Esta pregunta se diseñó con la finalidad de identificar si los alumnos comprendían el equilibrio que presenta un ácido débil con su base fuerte pues revisaron con anterioridad las reacciones ácido base de Brönsted-Lowry. Ya que los alumnos no logran identificar que el vinagre presenta un equilibrio químico se propone rediseñar este reactivo para que los alumnos identifiquen el equilibrio de disociación del ácido acético, ver tablas 5.3 y 5.4.

Tabla 5.3. Rúbrica de evaluación para equilibrio dinámico.

| Categoría | Argumento |
|-----------|---|
| Recuerda | La concentración de reactivos y productos son iguales. |
| Conoce | Existe movimiento e intercambio constante entre reactivos y productos, su concentración no cambia. |
| Comprende | Coexisten dos procesos simultáneos en sentido contrario, es decir, existe una inter conversión constante (rapidez) de reactivos en productos y de productos en reactivos. |

Tabla 5.4. Conocimiento para el equilibrio dinámico.

| Categoría | Pregunta | | |
|-----------|----------|------|-----|
| | 1 | 10 | 11 |
| Recuerda | 5.6 % | 60 % | 2 % |
| Conoce | 66.7 % | 20 % | 0 |
| Comprende | 27.8 % | 10 % | 0 |

5.3.2 Características del equilibrio químico. Preguntas 4, 12, 13, 15 y 16.

Las preguntas 4 y 13 evalúan la constancia de concentraciones, las preguntas 15 y 16 evalúan la igualdad de velocidades y la pregunta 12 identifica si un sistema presenta un equilibrio.

En la pregunta número 4 de los argumentos considerados como correctos en la prueba final, el 55.6 % de los alumnos corresponde al nivel de recordar, el 33.3 % de ellos presenta el nivel de conocer y 11.1 % el nivel de comprender. Estos resultados indican que los estudiantes se encuentran en el proceso de asimilación del conocimiento ya que relacionan los temas de cinética con los del equilibrio químico. Los alumnos presentan dificultad en interpretar las gráficas. Es por ello que presentan confusión entre concentración inicial y final de los reactivos y algunos no identifican que cada gráfica corresponde a dos reacciones diferentes, también les es difícil de identificar si se realiza un cambio de concentración o velocidad. Por lo anterior se decide trabajar el segundo escalón de opción múltiple para esta presunta y así identificar las ideas de los alumnos.

En la pregunta número 12 el 10.5 % de los alumnos responden correctamente el primer escalón, sin embargo, entre sus argumentos mencionan que las cantidades permanecerán constantes en el equilibrio, la explicación es incorrecta ya que no relaciona la disociación del CO_2 en el agua.

El 89.5 % identifica a las reacciones de neutralización como reacciones reversibles, existe una posible confusión entre el comportamiento de un ácido y base fuerte en una reacción de neutralización respecto al equilibrio que presentan ácidos y bases débiles.

Esta pregunta se diseñó contemplando que en el programa de estudio se propone el estudio de la destrucción de los arrecifes de coral por la acidificación del agua de mar con dióxido de carbono, tema bastante complejo ya que requiere de conocer los equilibrios ácido-base y los factores que desplazan el equilibrio. Debido a que el tema de equilibrio químico es el último tema en enseñarse usualmente quedan pocas sesiones de clase para explicar sus características y los factores que lo alteran lo que dificulta la enseñanza de este tipo de aplicaciones, las cuales a veces se mencionan en clase, pero no se realiza un análisis profundo.

En la pregunta número 13 el 84.2 % de los alumnos responde satisfactoriamente el primer escalón, de estos, el 68.8 % argumentan su respuesta adecuadamente mencionando en general que las concentraciones de reactivos y productos ya no cambian cuando se establece el equilibrio.

El 31.3 % de los alumnos que respondieron correctamente el segundo escalón presenta el nivel de comprender y el 18.8 % se encuentra en la categoría de conocer; mientras que el 43.8 % está en la categoría de recordar. En esta última categoría, la idea recurrente es la de que el equilibrio se presenta a partir de la intersección de las rectas. Esta pregunta muestra que algunos de los alumnos no logran interpretar estas gráficas adecuadamente pues existe confusión entre concentración y velocidad de reacción.

En la pregunta número 15 se obtiene el 42.1 % de respuestas correctas en el primer escalón, de estas el 87.5 % de los argumentos del segundo escalón son considerados como correctos. El 50 % de las explicaciones se encuentran en la categoría de comprensión y el 37.5 % en el nivel de conocer. La idea más recurrente para esta pregunta fue “en el equilibrio las concentraciones de reactivos y productos son iguales” la cual se clasifica en el nivel de recordar.

En la pregunta número 16 el 84.2 % de los alumnos responde correctamente el primer escalón, de estos el 100 % responde con argumentos correctos en el segundo escalón. El 81.3 % de los argumentos corresponden al nivel de comprensión y el 18.8 % al nivel de conocer. Los estudiantes identifican que cuando la rapidez de la reacción es constante se establece el equilibrio.

Las preguntas 4, 13 y 16 utilizan las gráficas para representar el equilibrio químico, de estas se selecciona la pregunta 4 para desarrollar el segundo escalón de opción múltiple ya que nos muestra la evolución de las concentraciones de reactivos y productos conforme avanza la reacción hacia el equilibrio; además de que nos muestra dos sistemas con concentraciones en el equilibrio diferentes, ver tablas 5.5 y 5.6.

Tabla 5.5 Rúbrica de evaluación para equilibrio químico.

| Categoría | Argumento |
|------------------|--|
| Recuerda | <p>Se establece el equilibrio al realizarse una neutralización porque existen reactivos y productos en cantidades iguales o las reacciones de neutralización de ácidos y bases fuertes son reversibles (pregunta 12).</p> <p>Existe un cambio en la concentración de reactivos hasta que su concentración es igual a la de productos y su rapidez también es igual (preguntas 4 y 13).</p> <p>En el equilibrio las concentraciones de reactivos y productos se mantienen iguales y su rapidez también es igual (pregunta 15 y 16).</p> |
| Conoce | <p>El CO₂ (g) reacciona para formar un ácido débil que se disocia (pregunta 12).</p> <p>Conforme avanza la reacción, la concentración de los reactivos disminuye o aumenta y después no cambia (preguntas 4 y 13).</p> <p>En el equilibrio la rapidez es la variable que se afecta y las concentraciones permanecen constantes (pregunta 15 y 16).</p> |
| Comprende | <p>El CO₂ (g) se disuelve en agua formando ácido carbónico, esta reacción reversible establece un equilibrio (pregunta 12).</p> <p>El equilibrio químico se alcanza cuando las rapidezces de las reacciones en un sentido y en otro se igualan (pregunta 12, 15 y 16); la concentración de reactivos y productos cambia mientras avanza la reacción química hasta que se establece el equilibrio y la concentración de los reactivos y productos permanece constante (preguntas 4 y 13).</p> |

Tabla 5.6. Conocimiento del equilibrio químico.

| Categoría | Pregunta | | | | |
|-----------|----------|------|--------|--------|--------|
| | 4 | 12 | 13 | 15 | 16 |
| Recuerda | 55.6 % | 50 % | 43.8 % | 0 | 0 |
| Conoce | 33.3 % | 0 | 18.8 % | 37.5 % | 18.8 % |
| Comprende | 11.1 % | 0 | 31.3 % | 50 % | 81.3 % |

5.3.3 Constante de equilibrio. Preguntas 2, 3, 5, 6, 7, 8 y 9.

En la pregunta número 2 el 75 % de los alumnos que respondieron correctamente el primer escalón mencionan que el valor de K_c varía con la temperatura debido al aumento del movimiento de las partículas o rapidez de reacción por lo que se encuentran en el nivel de conocimiento y el 25 % se encuentra en el nivel de comprensión ya que relacionan un aumento en la temperatura con mayor número de choques que formaran reactivos o productos.

En la pregunta número 3 el 60 % de los alumnos solo se quedan en el nivel de recordar, mientras que 20 % de los alumnos presentan el nivel de comprender y 20 % el nivel de conocer. Los alumnos presentan dificultad para valorar cuales son las condiciones o perturbaciones que no afectan el valor de K_c en un sistema en equilibrio.

En la pregunta número 5 el 5.6 % de los alumnos confunden las esferas que corresponden a reactivos y productos, mientras que, otro tanto piensa que el valor de K_c indica si la reacción continua o llegó a su fin. El 88.9 % de los estudiantes saben aplicar la ecuación de la constante de equilibrio y calculan su valor adecuadamente.

En la pregunta número 6 el 89.5 % de los alumnos responde correctamente el segundo escalón, de estos, el 70.6 % se encuentran en el nivel de comprender ya que aplican satisfactoriamente la ecuación de la constante de equilibrio y, 17.6 % presentan el nivel de conocer pues relacionan el valor de K_c con alcanzar el equilibrio o con una igualdad de concentraciones entre reactivos y productos.

En la pregunta número 7 se obtiene el 42 % de respuestas correctas en el primer escalón, de estas el 50 % de los argumentos dados se encuentran en el nivel de recordar ya que, relacionan el valor de K_c igual a uno con el 100 % de rendimiento de reacción o presentan confusión para calcular Q_c . El 37.5 % se encuentra en el nivel de conocer porque relacionan el rendimiento con el valor de K_c y las concentraciones, aunque no indican si de reactivos y/o productos.

En la pregunta número 8 en el primer escalón se identificaron solo el 26.3 % de respuestas correctas, de estas el 80 % se encuentran en la categoría de comprender, encontrando argumentos como "si la constante de equilibrio es mayor a uno habrá una mayor concentración de productos".

Entre los argumentos encontrados en las respuestas incorrectas destaca la idea de que el hidrógeno será el que presentará mayor concentración, ya que relacionan su coeficiente estequiométrico de la reacción con su concentración o cantidad.

En la pregunta número 9 solo el 21 % de los alumnos selecciona la respuesta correcta en el primer escalón y de estos el 50 % se encuentra en el nivel de comprender. Identifican que un valor menor a uno significa que el equilibrio se encuentra desplazado hacia reactivos, ver tablas 5.7 y 5.8.

La redacción de esta pregunta confunde a los alumnos, ya que aún no alcanza el equilibrio y eso no lo identifican. Debido a que el valor de K_c es menor a uno el equilibrio se encuentra desplazado hacia reactivos, sin embargo, como el valor de Q_c es menor al de K_c el sistema se encuentra desplazado todavía más hacia la derecha, pero para que se establezca el equilibrio deberá desplazarse hacia la formación de productos para así igualar los valores de Q_c y K_c . La respuesta correcta a esta pregunta es el inciso c), el sistema se encuentra desplazado a hacia la formación de

reactivos, que es la situación inicial, pero los alumnos seleccionaron el inciso a), el sistema se encuentra desplazado a hacia la formación de productos; situación que debe pasar para establecer el equilibrio. Se presenta una dificultad para distinguir entre condición inicial de reacción y condiciones de equilibrio.

Tabla 5.7. Rúbrica de evaluación para constante de equilibrio.

| Categoría | Argumento |
|------------------|---|
| Recuerda | <p>La constante de equilibrio se define mediante un cociente que indica si se alcanzó el equilibrio (preguntas 5 y 6). El valor de K_c depende de la cantidad de reactivos y productos (pregunta 2). Si el valor de K_c es mayor a uno predominan las especies que tengan un mayor coeficiente (pregunta 8).</p> <p>Cuando K_c y Q_c son menores a 1 significa que la reacción aún no llega a un equilibrio (pregunta 9).</p> <p>El valor de la constante de equilibrio no cambia ya que es un valor previamente determinado (pregunta 3).</p> <p>Cuando la $K_c = 1$ el rendimiento es del 100 %, si su valor es menor a 1 el rendimiento es bajo (pregunta 7).</p> |
| Conoce | <p>La constante de equilibrio se define mediante un cociente, de la concentración de los productos entre las concentraciones de equilibrio de los reactivos (preguntas 5 y 6).</p> <p>El valor de K permanece constante si la temperatura no cambia (pregunta 2). Si el valor de K_c es mayor a uno predominan los productos (pregunta 8). La reacción alcanza el equilibrio mediante la formación de más productos; procede de izquierda a derecha (pregunta 9).</p> <p>Cambiar la presión no modifica la posición de equilibrio (pregunta 3).</p> <p>La relación entre las concentraciones iniciales de productos y de reactivos es muy pequeña (pregunta 7).</p> |
| Comprende | <p>La constante de equilibrio se define mediante un cociente, cuyo numerador se obtiene multiplicando las concentraciones de equilibrio de los productos, cada una de las cuales está elevada a una potencia igual a su coeficiente estequiométrico en la ecuación balanceada. El denominador se obtiene aplicando este mismo procedimiento para las concentraciones de equilibrio de los reactivos (preguntas 5 y 6).</p> <p>El valor de K_c para una reacción dada permanece constante, siempre y cuando la reacción esté en equilibrio y la temperatura no cambie (pregunta 2). La magnitud de la constante de equilibrio de una reacción nos da información sobre la composición de una mezcla en equilibrio. Si el valor de K_c es mayor a uno el equilibrio se encuentra a la derecha; predominan los productos (pregunta 8).</p> <p>Para determinar la dirección de la reacción neta para llegar al equilibrio, comparamos los valores de Q_c y K_c. Cuando $Q_c < K_c$ la concentración de los productos es pequeña y la de los reactivos grande. (pregunta 9)</p> <p>Cuando el número de moléculas de los productos gaseosos es igual al número de moléculas de los reactivos gaseosos, cambiar la presión no modifica la posición de equilibrio, además los cambios presión-volumen no modifican el valor de K, siempre y cuando la temperatura permanezca constante (pregunta 3).</p> |

| | |
|--|--|
| | Cuando $K_c < 1$, indica que, cuando se establece el equilibrio, la mayoría de los reactivos quedan sin reaccionar, formándose sólo pequeñas cantidades de productos, por tanto, el rendimiento será bajo (pregunta 7). |
|--|--|

Tabla 5.8 Conocimiento de la constante de equilibrio.

| Categoría | Pregunta | | | | | | |
|------------------|----------|------|--------|--------|--------|------|------|
| | 2 | 3 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Recuerda | 0 | 60 % | 5.6 % | 11.8 % | 50 % | 20 % | 25 % |
| Conoce | 75 % | 20 % | 5.6 % | 17.6 % | 37.5 % | 0 | 25 % |
| Comprende | 25 % | 20 % | 88.9 % | 70.6 % | 12.5 % | 80 % | 50 % |

5.3.4 Principio de Le Chatelier pregunta 14.

Esta pregunta es de alto grado de dificultad, sólo el 26.3 % de los estudiantes responde correctamente el primer escalón, sin embargo, de estos el 20 % se encuentra en el nivel de conocer y el 60 % en la categoría de recordar. El argumento más recurrente fue el de “al agregar un producto en estado sólido el equilibrio se desplaza hacia reactivos, ver tablas 5.9 y 5.10.

Tabla 5.9. Rúbrica de evaluación para Principio de Le Chatelier.

| Categoría | Argumento |
|-----------|--|
| Recuerda | Al adicionar uno de los productos a la reacción se altera el equilibrio. |
| Conoce | El valor de K_c no depende de la adición de un sólido. |
| Comprende | En un equilibrio heterogéneo entre sólidos y gases, el valor de K_c solo depende de la concentración de los compuestos gaseosos. El equilibrio se altera solo si cambia la concentración de CO_2 . |

Tabla 5.10 Conocimiento del Principio de Le Chatelier.

| Categoría | Pregunta |
|------------------|----------|
| | 14 |
| Recuerda | 60 % |
| Conoce | 20 % |
| Comprende | 0 % |

5.4 Comparación de las respuestas de los estudiantes de la primera y segunda evaluaciones.

En esta sección se realiza una comparación entre el número de respuestas correctas del primer y segundo escalón para identificar en cuál evaluación (ver figura 4.1) se obtienen un mayor número de aciertos, así como, los argumentos más completos y científicamente correctos, ver tabla 5.11.

En general los argumentos de la segunda evaluación contienen conceptos relacionados al equilibrio químico y presentan ideas más claras en su justificación al compararlas con los argumentos iniciales, donde el alumno plasmaba un conocimiento más intuitivo derivado del estudio de temas como reacción química.

Además, aumentó el número de respuestas correctas para las preguntas que evalúan los conceptos de equilibrio dinámico, cálculo del valor de la constante, K_c -rendimiento de reacción y concentraciones en equilibrio, mientras que preguntas que evalúan los factores que alteran el equilibrio, representación gráfica de la constancia de concentraciones y K_c con variación de presión disminuyeron su número de respuestas correctas, pero mejoró la cantidad de argumentos correctos del segundo escalón.

Tabla No 5.11. Porcentaje de respuestas correctas por evaluación.

| Número de pregunta | Concepto evaluado | Porcentaje de respuestas correctas | | | | | |
|--------------------|-------------------|------------------------------------|-------------|------------------|-------------|--------------------|------------------|
| | | Evaluación inicial | | Evaluación final | | Evaluación inicial | Evaluación final |
| | | 1er escalón | 2do escalón | 1er escalón | 2do escalón | | |
| 1 | EQ-D | 52.9 | 44.4 | 94.7 | 88.9 | 23.53 | 84.21 |
| 2 | K_{eq} | 52.9 | 44.4 | 21.1 | 100.0 | 23.53 | 21.05 |
| 3 | $K_{eq}-\Delta P$ | 35.3 | 66.7 | 52.6 | 40.0 | 23.53 | 21.05 |
| 4 | EQ | 58.8 | 60.0 | 47.4 | 44.4 | 35.29 | 21.05 |
| 5 | $K_{eq}-CaVa$ | 29.4 | 60.0 | 94.7 | 100.0 | 17.65 | 94.74 |
| 6 | $K_{eq}-CaVa$ | 52.9 | 33.3 | 89.5 | 88.2 | 17.65 | 78.95 |
| 7 | $K_{eq}-RER$ | 58.8 | 10.0 | 42.1 | 50.0 | 5.882 | 21.05 |
| 8 | $K_{eq}-Conc$ | 23.5 | 50.0 | 26.3 | 80.0 | 11.76 | 21.05 |

En la pregunta uno la cantidad de respuestas correctas en el primer escalón de la evaluación final es mucho mayor que en la evaluación inicial; considerando que una respuesta es adecuada si presenta ambos escalones correctos se puede observar que se duplican los argumentos finales correctos en comparación a los obtenidos antes de aplicar las actividades de enseñanza.

En la pregunta dos de la evaluación final se puede observar que disminuye casi a la mitad las respuestas correctas del primer escalón respecto a la evaluación inicial, pero cabe resaltar que, todos los argumentos descritos son correctos, mientras que en la primera evaluación se obtienen

44.4 % de ellos, al comparar estos resultados se puede concluir que el número de respuestas correctas no presenta una variación significativa en ambas evaluaciones.

El porcentaje de respuestas correctas para la pregunta tres es similar entre las dos evaluaciones ya que, en la evaluación final se presentaron un mayor número de aciertos en el primer escalón, pero un menor número de los argumentos correctos respecto a la evaluación inicial.

Para la pregunta cuatro se identifica un menor número de respuestas correctas en ambos escalones en la evaluación final. Al realizar el análisis de los argumentos se observa que en la evaluación inicial la idea más recurrente es que la concentración de los reactivos disminuye con el tiempo, mientras que en la segunda evaluación retoman esta idea y la relacionan con un cambio de equilibrio o velocidad de reacción.

La cantidad de respuestas correctas aumentó en las preguntas cinco y seis de la evaluación final ya que, solo se piden que los alumnos calculen el valor de K_c de diferentes representaciones, y saben aplicar la fórmula de la constante de equilibrio.

En la pregunta siete a pesar de que se identifican un menor número de respuestas correctas en el primer escalón de la segunda evaluación, la cantidad de argumentos correctos encontrados es cinco veces mayor, evidencia de algunos de los alumnos comprenden la relación entre el valor de K_c y el rendimiento de reacción.

En la pregunta ocho también se identifica que las respuestas correctas en ambas evaluaciones permanecen constantes ya que a pesar de encontrar un menor número de respuestas correctas en el primer escalón se presentan una cantidad mayor de argumentos correctos en la evaluación de cierre.

5.4.1 Argumentos del Equilibrio dinámico.

Del análisis en los argumentos iniciales se identifica una posible idea de igualdad de cantidad en reactivos y productos; y la existencia de movimiento continuo en el equilibrio. Mientras que en los argumentos finales sobresalen las ideas de movimiento de las moléculas, de igualdad en la rapidez e interacción constante entre reactivos y productos asociadas al equilibrio dinámico.

5.4.2 Argumentos del Equilibrio químico

Uno de los primeros argumentos que mencionan los alumnos es que durante el avance de la reacción los reactivos se consumen conforme avanza el tiempo, pero no indican que su concentración es constante al llegar al equilibrio. En sus justificaciones finales incluyen un cambio de concentración que se relaciona con la modificación del equilibrio o velocidad de reacción.

5.4.3 Argumentos de la constante de equilibrio

Las ideas que presentan en la primera evaluación respecto a la constante de equilibrio es que su valor está relacionado con la rapidez de reacción, rendimiento de reacción, su valor depende de la presión del sistema, es decir, a mayor valor de K_c mayor rapidez, y mejor rendimiento de reacción.

En la segunda evaluación se mantiene la relación del valor de K_c con la rapidez de reacción, con la cantidad o con el cociente de las masas molares de reactivos y productos, así como el

rendimiento de reacción será del 100 % si el valor de K_c es igual a uno. La mayoría de los estudiantes entre sus argumentos mencionan correctamente como calcular el valor de K_c y logran identificar cuales sistemas presentan un mayor valor.

Para algunas preguntas disminuye el número de respuestas correctas en la segunda evaluación respecto a la primera. Este cambio se debe a que se enseña a los alumnos el cálculo de K_c a partir de las concentraciones de reactivos y productos al equilibrio de forma sistemática debido a la falta de tiempo. Se necesita presentar ejercicios donde se evidencie la variación de K_c a partir de cambios en la temperatura.

5.5 Identificación de las concepciones alternativas en el grupo de estudio.

A través del análisis de los argumentos que justifican las respuestas del primer escalón se identificaron las concepciones alternativas para el equilibrio químico, algunas de ellas son producto de la enseñanza de temas anteriores a su estudio como reacción química, reacción redox, reacción ácido base, otras se generaron como producto de la enseñanza de este tema, ya que, en su estudio se revisan conceptos abstractos difíciles de enseñar y aprender.

1. Concepciones alternativas identificadas en los argumentos del primer instrumento de evaluación, ver tabla 5.12.

Tabla No 5.12. Identificación de las primeras concepciones alternativas.

| Concepto | Concepción alternativa |
|-----------------------------------|---|
| Equilibrio químico. | <ul style="list-style-type: none"> • Las reacciones entre ácidos y bases tienen que estar en equilibrio. • Si se tiene los mismos elementos de un lado y de otro de la ecuación química se considera que está en equilibrio. • En el equilibrio, la sustancia gaseosa que aumenta su concentración es aquella que presenta el mayor coeficiente en la ecuación química. |
| Constante de equilibrio. | <ul style="list-style-type: none"> • Los cambios de concentración afectan las masas de los reactivos y productos por lo que afectan su constante de equilibrio. • Un cambio en la concentración afecta el valor de la constante de equilibrio. • La constante de equilibrio disminuye porque hay una baja presión. • Un aumento en la rapidez de reacción debido a la temperatura altera el valor de la constante de equilibrio. • El valor de K_c se calcula mediante una proporción entre la cantidad de reactivos y productos. • Perciben a la ecuación química como una suma de términos, si el valor de K_c es menor a uno, el rendimiento es bajo. • Relacionan el valor de K_c con la rapidez de reacción. |
| Principio de Le Chatelier. | <ul style="list-style-type: none"> • Al adicionar N_2 (g) a un sistema en equilibrio, éste reacciona formando más producto |

Se identificó una mayor cantidad de concepciones alternativas en el concepto de constante de equilibrio, sobre todo en las preguntas donde se evalúa la aplicación de la constante de equilibrio, ver tabla 5.13.

2. Concepciones alternativas identificadas en los argumentos del segundo instrumento de evaluación.

Tabla No 5.13. Identificación de las concepciones alternativas derivadas de la instrucción.

| Concepto | Concepción alternativa |
|-----------------------------------|---|
| Equilibrio dinámico. | <ul style="list-style-type: none"> • Igualdad de concentraciones de reactivos y productos en el equilibrio. • Al estar en un sistema cerrado el helio y el aire chocan o interactúan entre sí, dándonos un equilibrio dinámico • En el equilibrio dinámico las partículas se mueven en todas direcciones. |
| Equilibrio químico. | <ul style="list-style-type: none"> • Confusión entre concentración inicial y final de los reactivos. • Confunden la concentración inicial de reactivos con su formación. • No diferencian entre rapidez de reacción y cambio de concentración. • Un cambio en la cantidad de reactivos modifica el equilibrio. |
| Constante de equilibrio. | <ul style="list-style-type: none"> • El valor de Kc depende de la cantidad de reactivos y productos y del cociente de las masas molares, de un cambio en la concentración debido a la rapidez de la reacción, la cual depende de la temperatura. • Disminuir la presión aumenta la rapidez de reacción y desplaza el equilibrio hacia productos y disminuye también el valor de Kc. • El cálculo de Kc es una relación entre productos y reactivos. • Los alumnos saben cómo calcular la constante de equilibrio y logran identificar entre sistemas cuál presenta el mayor valor para Kc. • Relación de un valor de Kc menor a uno con un rendimiento de reacción bajo, la reacción obtiene el 100 % de rendimiento cuando Kc = 1. • En el equilibrio las sustancias con mayor concentración son aquellas que presentan el mayor coeficiente en la ecuación química. • Los cambios de concentración afectan las masas de los reactivos y productos por lo que afectan su constante de equilibrio. |
| Principio de Le Chatelier. | <ul style="list-style-type: none"> • En un equilibrio heterogéneo la adición de un sólido desplaza el equilibrio. • El desplazamiento del equilibrio depende de la energía no de si le agregamos más reactivo o no. • Al aumentar la cantidad de producto se aumenta por consecuencia la cantidad de reactivos. • Adición de CaO a la reacción: $\text{CaCO}_3 (s) \rightleftharpoons \text{CaO} (s) + \text{CO}_2 (g)$ <ul style="list-style-type: none"> ○ Al aumentar la cantidad de producto se aumenta por consecuencia la cantidad de reactivos. ○ El equilibrio se desplaza hacia la derecha porque hay menos concentración o sustancia. |

| | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> ○ Porque será mayor la concentración en los productos que en los reactivos por lo tanto habrá un desplazamiento hacia los reactivos. ○ La reacción se desplaza hacia productos para que la reacción sea más rápida. |
|--|--|

5.6 Evaluación del conocimiento del equilibrio químico en el grupo de estudio.

Uno de los propósitos de este trabajo es el de conocer cómo fue la construcción del conocimiento del equilibrio en los estudiantes, después de aplicar una serie de actividades de enseñanza elaboradas con base en los contenidos del programa de estudio de la ENCCH (Anexo 3) pero con un tiempo para su aplicación reducido debido a que el profesor titular consideró dar un mayor tiempo de estudio a temas relacionados con reacción química y reacción ácido base.

Para identificar el grado de aprendizaje que los alumnos desarrollaron del equilibrio químico, se analiza por bloque de conceptos la cantidad de respuestas correctas que tuvieron, así como el grado de complejidad de cada pregunta. Los bloques de conocimiento son: equilibrio dinámico, equilibrio químico, constante de equilibrio y principio de Le Chatelier.

5.6.1 Construcción del conocimiento para el concepto de equilibrio dinámico.

El 73.7 % de los alumnos presenta una respuesta correcta de tres, ver tabla 5.14. Las preguntas 1 y 10 son las que presentan mayor número de aciertos y la pregunta 11 no presenta aciertos.

En general el conocimiento del equilibrio dinámico es suficiente, ya que, si bien la mayoría de los alumnos comprenden la analogía de un proceso dinámico, argumentan que existe una interacción constante entre reactivos y productos que se transforman; aproximadamente la mitad de ellos identifican que existe un equilibrio dinámico en un cambio de fase, sin embargo, ninguno de ellos relaciona que en una reacción de disociación de un ácido débil se presenta un equilibrio dinámico.

Tabla No. 5.14 Rúbrica del grado de conocimiento para el concepto de equilibrio dinámico.

| Conocimiento del equilibrio dinámico | | | |
|--------------------------------------|-----------------------|--|------------------------|
| Respuestas correctas | Porcentaje de alumnos | Descripción | Grado del conocimiento |
| 0 de 3 | 10.5 % | Justifica sus argumentos utilizando conceptos que no son los del equilibrio químico (cinética química, reacción química, etc.) | Insuficiente |
| 1 de 3 | 73.7 % | Sus argumentos no coinciden con el conocimiento científico, esboza una idea incompleta del concepto y puede presentar alguna concepción alternativa. | Suficiente |
| 2 de 3 | 15.8 % | Sus argumentos muestran ideas parcialmente compatibles con el conocimiento científico. | Bueno |
| 3 de 3 | 0 % | Sus argumentos muestran que comprenden los conceptos de acuerdo al conocimiento científico. | Muy bueno |

5.6.2 Construcción del conocimiento para el concepto de equilibrio químico.

El 63.2 % de los alumnos presenta una o dos respuestas correctas de cinco para este bloque de preguntas, ver tabla 5.15. A continuación, se listan las preguntas de menor a mayor grado de complejidad: preguntas 16, 13, 15, 4 y 12.

Las preguntas 13 y 16 son las que presentan mayor número de aciertos, mientras que, la pregunta 12 no presenta aciertos. En las primeras los alumnos identifican que cuando las concentraciones de reactivos y productos permanecen constantes y las rapidezces de las reacciones se igualan el sistema ha alcanzado el equilibrio. Saben interpretar diferentes tipos de gráficas.

En general el grado de conocimiento del concepto del equilibrio químico se encuentra entre la categoría de bueno y suficiente. Los estudiantes identifican en las gráficas que el equilibrio se establece cuando se igualan las rapidezces, pero no consideran esta igualdad como una característica del equilibrio químico.

Tabla No. 5.15. Rúbrica del grado de conocimiento para el concepto de equilibrio químico.

| Conocimiento del equilibrio químico | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------------|
| Respuestas correctas | Porcentaje de alumnos | Descripción | Grado del conocimiento |
| 0 de 5 | 10.5 % | Justifica sus argumentos utilizando conceptos que no son los del equilibrio químico (cinética química, reacción química, etc.) | Insuficiente |
| 1 de 5 | 31.6 % | Sus argumentos coinciden parcialmente con el conocimiento científico, esboza una idea incompleta del concepto de velocidad de reacción y el momento en que se establece el equilibrio, puede presentar alguna concepción alternativa. | Suficiente |
| 2 de 5 | 31.6 % | Sus argumentos muestran ideas parcialmente compatibles con el conocimiento científico. Relaciona la constancia de concentraciones y/o la igualdad de rapidezces de reacción como características del equilibrio | Bueno |
| 3 de 5 | 15.8 % | | |
| 4 de 5 | 10.5 % | Sus argumentos muestran que comprenden los conceptos de acuerdo al conocimiento científico. Relaciona la constancia de concentraciones y la igualdad de rapidezces de reacción como características del equilibrio | Muy bueno |
| 5 de 5 | 0 % | | |

5.6.3 Construcción del conocimiento para el concepto de constante de equilibrio

La construcción del concepto de constante de equilibrio se encuentra en la categoría de bueno pues presenta el 47.37 % de las respuestas correctas, ver tabla 5.16.

A continuación, se listan las preguntas de menor a mayor grado de complejidad: preguntas 5 y 6, 2, 3, 8, 7 y 9. Las preguntas 5 y 6 son las que presentan mayor número de aciertos, mientras que, las demás preguntas solo presentan cuatro aciertos. Estos resultados evidencian que los alumnos saben aplicar la ecuación de la constante de equilibrio y aproximadamente la mitad del

grupo de estudio puede relacionar el valor de la constante de equilibrio con los factores que la alteran, pueden identificar hacia donde se desplaza el equilibrio en función del valor de K_c y su comparación con Q_c .

Tabla No. 5.16. Rúbrica del grado de conocimiento para el concepto de constante de equilibrio.

| Conocimiento del equilibrio químico | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|--|------------------------|
| Respuestas correctas | Porcentaje de alumnos | Descripción | Grado del conocimiento |
| 0 de 7 | 0 % | Justifica sus argumentos utilizando conceptos que no son los del equilibrio químico (cinética química, reacción química, etc.) Saben calcular el valor de la constante de equilibrio y comparar los valores de K_c de diferentes sistemas | Insuficiente |
| 1 de 7 | 10.5 % | | |
| 2 de 7 | 36.8 % | Sus argumentos coinciden parcialmente con el conocimiento científico, puede presentar alguna concepción alternativa. Saben calcular el valor de la constante de equilibrio y comparar los valores de K_c de diferentes sistemas. Identifican incipientemente los factores de alteran el valor de la constante, así como su relación con el rendimiento de reacción. | Suficiente |
| 3 de 7 | 36.6 % | Sus argumentos muestran ideas parcialmente compatibles con el conocimiento científico. Saben calcular el valor de la constante de equilibrio y comparar los valores de K_c de diferentes sistemas. Identifican los factores que alteran el valor de la constante y/o que una variación en la presión no altera el valor de la constante, hacia donde se desplaza el equilibrio en función del valor de K_c y la relación entre el cociente de reacción y constante de equilibrio. | Bueno |
| 4 de 7 | 15.8 % | | |
| 5 de 7 | 0 % | Sus argumentos muestran que comprenden los conceptos de acuerdo al conocimiento científico. | Muy bueno |
| 6 de 7 | 5.2 % | Saben calcular el valor de la constante de equilibrio y comparar los valores de K_c de diferentes sistemas. Identifican los factores que alteran el valor de la constante, | |
| 7 de 7 | 0 % | su relación con el rendimiento de reacción, hacia donde se desplaza el equilibrio en función del valor de K_c y la relación entre el cociente de reacción y constante de equilibrio. | |

5.6.4 Construcción del conocimiento para el concepto de principio de Le Chatelier

Solo se aplica una pregunta para evaluar el Principio de Le Chatelier, y logra darnos una idea del grado de comprensión que presentan los alumnos. Para identificar el grado de conocimiento se evalúa la claridad y calidad de los argumentos de los alumnos mediante su comparación con la rúbrica que relaciona el argumento con el grado de conocimiento.

El grado de conocimiento del principio de Le Chatelier se encuentra en la categoría insuficiente, ver tabla 5.17. Se estudió en clase mediante una experiencia de cátedra algunos

equilibrios heterogéneos, pero no se hizo énfasis en cómo se perturba su equilibrio debido al poco tiempo empleado para su enseñanza.

Tabla No. 5.17. Rúbrica del grado de conocimiento para el concepto de principio de Le Chatelier.

| Conocimiento del principio de Le Chatelier | | | |
|--|-----------------------|--|------------------------|
| Respuestas correctas | Porcentaje de alumnos | Descripción | Grado del conocimiento |
| 1 de 1 | 5.26 % | Justifica sus argumentos utilizando conceptos que no son los del equilibrio químico (cinética química, reacción química, etc.) | Insuficiente |
| 1 de 1 | 0 % | Sus argumentos no coinciden con el conocimiento científico, esboza una idea incompleta del concepto y puede presentar alguna concepción alternativa. | Suficiente |
| 1 de 1 | 0 % | Sus argumentos muestran ideas parcialmente compatibles con el conocimiento científico. | Bueno |
| 1 de 1 | 0 % | Sus argumentos muestran que comprenden los conceptos de acuerdo al conocimiento científico. | Muy bueno |

Capítulo 6 Conclusiones.

El instrumento de evaluación de doble escalón con pregunta abierta aplicado en este estudio es una herramienta efectiva ya que es capaz de identificar concepciones alternativas, el grado de comprensión de los conocimientos y las ideas que construyeron de manera antecedente y después de la instrucción los estudiantes; con lo cual se responde la primer pregunta de investigación. "¿El diseño y aplicación de una prueba de doble escalón con el primer escalón de opción múltiple y el segundo escalón de pregunta abierta nos permitirá identificar las ideas, concepciones alternativas y el grado de conocimiento del equilibrio químico en un grupo de estudiantes de bachillerato?".

Permitió identificar once concepciones alternativas previas a la instrucción y veintiún concepciones alternativas después de la instrucción.

El dominio de los conceptos previos al estudio del equilibrio químico (reacción química, reacciones óxido reducción y ácido base) por parte de los estudiantes puede facilitar o dificultar la comprensión de nuevos conceptos. En la evaluación inicial los argumentos que justifican sus respuestas fueron construidos con base en sus aprendizajes previos. Por ejemplo, para la pregunta:

En un recipiente cerrado se coloca SO_3 y el sistema se calienta hasta que se alcanza el siguiente equilibrio $2 \text{SO}_3 (\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{SO}_2 (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g})$

Algunos de los argumentos encontrados son:

- Agregar el reactivo N_2 afecta toda la ecuación por lo que se tiene que volver a balancear la ecuación.
- Al agregarle N_2 reacciona con SO_3 y se forma SO_2 y O_2 .
- No tiene que afectarlo porque no reacciona.

Lo que evidencia una transposición de los conocimientos de temas anteriores hacia el equilibrio químico.

La selección de actividades de enseñanza impactó en el desarrollo de concepciones alternativas, por ejemplo, el estudio del equilibrio químico que se encuentra inmerso en un marco cinético como lo propone el programa de estudios, se encontró que algunos de los conceptos de cinética química son aplicados al tema de equilibrio químico, por ejemplo, los alumnos relacionan la rapidez de reacción con la constante de equilibrio; éstos al principio relacionan el cambio de valor de K_c con una variación de la temperatura, pues indican que a mayor temperatura existe mayor cantidad de choques entre los reactivos lo que provoca un aumento de concentración de productos, pero después de la instrucción, el valor de K_c lo relacionan con un cambio de concentración debido a los ejercicios realizados donde se aplicaban diferentes valores de concentración para calcular K_c .

A partir de los resultados de la aplicación de los instrumentos de dos escalones diseñados en esta investigación fue posible desarrollar un instrumento de evaluación de dos escalones de opción múltiple, por lo que se responde la segunda pregunta de investigación de este trabajo: "¿a partir de los resultados de la primera fase seremos capaces de diseñar una prueba de doble escalón

de opción múltiple robusta que sea capaz de identificar el grado de conocimiento y comprensión del equilibrio químico?”

El instrumento de evaluación de dos escalones con pregunta abierta permitió identificar el grado de conocimiento de los conceptos del equilibrio químico al analizar en los argumentos de los alumnos, su lenguaje empleado y las relaciones entre conceptos que estos realizaron, ver tabla 6.1. Con base en estos resultados se puede decir que los estudiantes comprendieron los conceptos básicos del equilibrio químico y constante de equilibrio, sin embargo, les fue difícil comprender la aplicación de estos conceptos en reacciones que aún no alcanzan el equilibrio o en el que éste fue desplazado, esto debido en gran medida a que el tiempo de la instrucción fue corto y faltó fortalecer los conceptos revisados.

Tabla 6.1 Comprensión del equilibrio químico en el grupo de estudio.

| Concepto | Grado de comprensión |
|---------------------------|----------------------|
| Equilibrio dinámico | Suficiente |
| Equilibrio químico | Bueno |
| Constante de equilibrio | Bueno |
| Principio de Le Chatelier | Insuficiente |

Además, esta herramienta permitió identificar que los alumnos presentaron como dificultades de aprendizaje problemas de lenguaje, como sinonimia entre cantidad y concentración o masa molar y concentración; dificultad para analizar gráficas y escribir argumentos lógicos.

Los problemas de aprendizaje encontrados para el equilibrio químico pueden deberse principalmente al exceso de contenidos enseñados, lo que propicia que los estudiantes no delimiten la aplicación de éstos y extrapolan sus propiedades de un concepto a otro. Considerando la teoría de Vygotsky de la zona de desarrollo próximo, los argumentos erróneos o incompletos se deben a que las preguntas aplicadas son difíciles de entender porque en el aula se exponen sistemas de estudio que no presentan significado para los alumnos, requieren de relacionar y aplicar los conceptos más complejos los cuales se encuentran en proceso de comprensión. Los estudiantes aún no desarrollan un aprendizaje significativo que les permita analizar cada sistema químico de forma independiente y cada una de sus características o variables.

Es necesario propiciar la argumentación del alumno mediante el uso de analogías, un lenguaje simbólico y gráfico; diseñar actividades de enseñanza de manera transversal que propicien que los estudiantes construyan sus ideas con evidencia científica; mejorar la consecución de actividades de enseñanza, hacer énfasis en los conceptos que presentan mayor cantidad de concepciones alternativas o dificultades de aprendizaje para que los estudiantes construyan conocimiento alineado a lo científicamente correcto.

Las ventajas de las pruebas de dos escalones es que se pueden conocer las razones por las que los alumnos seleccionan su respuesta en el primer escalón, pero cuando el segundo escalón es de opción múltiple, no se puede distinguir entre concepciones alternativas o una falta de comprensión de los conceptos. Para mejorar el nivel de confianza de este tipo de pruebas Jusniar et

al. (2020) diagnosticaron las concepciones alternativas del equilibrio químico mediante un instrumento de evaluación de tres escalones. Este instrumento presenta dos escalones de opción múltiple y en el tercer escalón les pregunta a los alumnos acerca del nivel de confianza de la respuesta elegida:

- Seguro.
- No estoy seguro.
- Adivinando.

Además, autores como Dewi, Parlan, y Suryadharna (2020) también diseñaron las pruebas de opción múltiple de cuatro escalones para identificar el nivel de confianza que tienen los alumnos en sus respuestas de cada escalón. Estas pruebas presentan dos escalones y a cada uno de ellos se le adiciona un escalón para evaluar el nivel de confianza de la respuesta del alumno, en el cual se pregunta su nivel de confianza al seleccionar las opciones:

- Muy inseguro.
- No muy inseguro.
- Promedio.
- Bastante seguro.
- Muy seguro.

Este tipo de preguntas solo identifican el nivel de satisfacción que el alumno presenta con las respuestas que dio en su evaluación, pero no evidencia cuáles son sus ideas acerca de los conceptos evaluados, ni las relaciones que presenta con otros conceptos.

Debido a que los alumnos pueden presentar diferentes concepciones alternativas, ideas incompletas o relacionar de forma incorrecta conceptos del equilibrio químico con otros conceptos previos nuestra propuesta desarrolló un nuevo instrumento de evaluación de doble escalón donde para cada opción del primer escalón se tiene tres opciones de justificación en el segundo escalón, las cuales se elaboraron contemplando las argumentaciones que dieron los alumnos, sus ideas incompletas y las concepciones alternativas identificadas en este estudio.

Este instrumento de evaluación permitirá identificar el grado de conocimientos de los alumnos, al detectar si los estudiantes presentan concepciones alternativas o si se encuentran en el proceso de construcción del conocimiento, lo que permitirá diseñar actividades de enseñanza que intenten corregir o prevenir estas dificultades de aprendizaje. Sin embargo, una de las desventajas en el diseño de pruebas de doble escalón es el tiempo invertido en su desarrollo, pues el diseño y redacción los distractores debe ser capaz de evaluar el grado y el tipo de dificultades de aprendizaje. El instrumento de evaluación con preguntas de doble escalón que diseñamos en este trabajo de investigación puede ser empleado por otros docentes para evaluar de forma diagnóstica las ideas previas de los alumnos y las concepciones alternativas provenientes de la transferencia de otros temas a conceptos del equilibrio químico. También puede emplearse al final de la instrucción para identificar las concepciones alternativas provenientes de la enseñanza, así como, conocer el grado de aprendizaje del equilibrio químico, sin embargo, una de sus limitaciones es que sólo evalúa los

conceptos básicos para comprender el equilibrio químico ya que no se consideró evaluar los conceptos relacionados al principio de Le Chatelier.

Es importante que los estudiantes comprendan correctamente cuáles son las características del equilibrio químico pues a partir de estos conocimientos podrán entender al equilibrio en términos de aspectos macroscópicos y submicroscópicos (Kurniawan *et al.*, 2020), debido a que estos últimos son difíciles de observar; los alumnos tendrán que emplear su pensamiento abstracto para identificar las condiciones de equilibrio en su conjunto para después interpretar cómo pueden ser alteradas. Considerando lo anterior el instrumento de dos escalones con opción múltiple que se diseñó evalúa las características del equilibrio químico como lo son el equilibrio dinámico, reacción reversible, concentración de reactivos y productos en el equilibrio y representación submicroscópica de una reacción reversible.

Este trabajo aporta un nuevo diseño de preguntas de doble escalón que puede ser aplicado en el futuro a alumnos de bachillerato que estudiaron el equilibrio químico, o a los alumnos que inician su estudio en las licenciaturas de la facultad de química; y que puede permitirles a los docentes no solo identificar el grado de aprendizaje de estos conceptos, sino que puede regular su actividad docente al permitir evaluar si las actividades de enseñanza aplicadas cumplieron con su objetivo didáctico.

Interferencias del estudio.

Una de las limitaciones de esta investigación fue la enseñanza de una gran cantidad de conceptos en muy poco tiempo, lo que derivó en un aprendizaje parcial del equilibrio químico. El programa de estudios de Química III sugiere que los contenidos relacionados con cinética se enseñen en 8 horas y el equilibrio se enseñe en 12 horas (seis sesiones de dos horas), sin embargo, debido a que se le dio prioridad a la enseñanza de los temas ácido base y óxido reducción, el profesor titular solo asignó cuatro sesiones de dos horas para el estudio de cinética y equilibrio químico, cabe mencionar que estos son los últimos contenidos del programa de estudios. Por lo tanto, las actividades de enseñanza del equilibrio químico se aplicaron en dos sesiones de dos horas en el aula, más una actividad extra clase de dos horas, incluidas las evaluaciones.

Después de aplicar los instrumentos de evaluación de dos escalones e identificar las concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje de los alumnos, creemos pertinente que en las próximas actualizaciones del programa de estudios de Química III de la ENCCH se priorice la enseñanza de la identificación de las reacciones reversibles y no reversibles, el equilibrio dinámico como proceso simultáneo, realizar ejercicios del cálculo de la constante de equilibrio con concentraciones diferentes de reactivos y productos, comparar el cociente de reacción y la constante para identificar si el sistema de estudio ha llegado al equilibrio, apoyarse en simuladores para identificar que la transformación de reactivos en productos y viceversa continua en el equilibrio, ser claros en el lenguaje utilizado, insistir que en el equilibrio se igualan las rapidez de la reacción directa e inversa.

No se recomienda enseñar el principio de Le Chatelier, en su lugar, se recomienda analizar las expresiones del cociente de reacción y de la constante de equilibrio, la variación de las concentraciones de reactivos y productos a una temperatura fija, realizar ejercicios para identificar si ya se alcanzó el equilibrio o todavía no, promover que los alumnos realicen gráficas de rapidez vs. tiempo para que comprendan en qué momento se establece el equilibrio.

Otra limitante en esta investigación fue la enseñanza simultánea de los temas cinética y equilibrio químico, lo que provocó la transferencia de conceptos entre estos temas. Si bien la enseñanza del equilibrio en el bachillerato se lleva a cabo desde un enfoque cinético que favorece la comprensión de la rapidez de reacción para su posterior aplicación en el desarrollo del concepto del equilibrio químico, se recomienda separar las actividades de enseñanza de estos temas.

Con base en las concepciones alternativas identificadas en esta investigación se recomienda implementar más actividades de enseñanza que apoyen el aprendizaje de reacciones reversibles y equilibrio dinámico, como simulaciones, analogías o metáforas; diseñar actividades que identifiquen problemas de lenguaje como la sinonimia entre conceptos, dar retroalimentación a los jóvenes en las actividades donde puedan generar concepciones alternativas, comparar sistemas que han alcanzado el equilibrio y los que aún no lo establecen

Anexo 1

Análisis de libros de texto

Tabla A1.1 Análisis del libro de texto: Química la ciencia central.

| | |
|--|---|
| Nombre del libro/Autor | L1: Brown, Theodore L.; Lemay Jr., H. Eugene; Bursten, Bruce E.; Murphy, Catherine J., Woodward y Patrick M. (2014) Química, la ciencia central. 12ª edición PEARSON EDUCACIÓN, México. |
| Capítulo | Capítulo 15. Equilibrio químico. No páginas: 31 páginas de texto y 7 páginas de ejercicios al final del capítulo. |
| Apartados del capítulo | Concepto de equilibrio. Constante de equilibrio. Interpretar y trabajar con las constantes de equilibrio. Equilibrios heterogéneos. Cálculos de las constantes de equilibrio. Aplicaciones de las constantes de equilibrio. Principio de Le Chatelier. |
| Enfoque de enseñanza del equilibrio químico | Enfoque cinético. En el capítulo 14 revisa el tema de cinética química. Factores que la afectan. Los conceptos revisados en este capítulo que se consideran antecedentes para comprender el equilibrio químico son: concentración y velocidad de reacción, temperatura y velocidad, energía de activación, cambio de la concentración con el tiempo. |
| Conceptos centrales del tema equilibrio químico | |
| Reversibilidad | Después de explicar qué es el equilibrio químico, se define la reacción reversible. Este concepto se estudia mediante la reacción $N_2O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$. También se definen las reacciones directa e inversa. Se hace algunas menciones en el Capítulo 4: Reacciones acuosas y estequiometría de disoluciones: “La doble flecha implica que la reacción es significativa en ambas direcciones.” Los químicos emplean una doble flecha para representar la ionización de los electrolitos débiles...” “Al representar la ionización de un electrolito débil en disolución, se usa una flecha doble para indicar que las reacciones hacia adelante y hacia atrás pueden lograr un balance llamado equilibrio químico.” |
| Equilibrio dinámico | El capítulo inicia con la explicación de qué es un equilibrio dinámico. Hace diferencia entre el equilibrio estático y dinámico. Y para ello menciona que existe una igualdad de velocidades en dos procesos opuestos, queda implícito que son simultáneos. Definen este concepto en el capítulo 11: Fuerzas intermoleculares, líquidos y sólidos en el subtema Presión de vapor. “La condición en que dos procesos opuestos están ocurriendo simultáneamente con la misma tasa se denomina equilibrio dinámico.” (procesos de evaporación y condensación). Retoma este concepto en el capítulo 13: Propiedades de las disoluciones en el subtema Disoluciones saturadas y solubilidad. |

| | |
|--|--|
| | <p>“... en el equilibrio, en una solución saturada, los dos procesos se efectúan con la misma rapidez.”, (disolución y cristalización). También explica el uso de la doble flecha: “...en una disolución que está en contacto con soluto no disuelto se dan dos procesos opuestos. Esta situación se representa en la ecuación 13.3 utilizando una doble flecha.”</p> |
| Definición textual del concepto de equilibrio químico en el libro | <p>“Se establece un equilibrio químico cuando reacciones opuestas avanzan a velocidades iguales.” “El equilibrio químico se presenta cuando reacciones opuestas ocurren con velocidades iguales: la velocidad a la que se forman los productos a partir de los reactivos es igual a la velocidad a la que se forman los reactivos a partir de los productos. “</p> |
| Equilibrio químico (EQ): ¿Se desarrolla el aprendizaje del concepto antes de establecer situaciones que muevan el EQ? | <p>Primero se analiza cómo se alcanza el equilibrio. Este capítulo inicia explicando el concepto de equilibrio químico con la ecuación eje: $N_2O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$. Esta ecuación es representada en los niveles macroscópico, submicroscópico y simbólico. Se ilustra la estructura de las moléculas, su disociación conforme avanza la reacción hacia el equilibrio y el cambio de color. Después de definir la reacción directa e inversa y cómo se establece el equilibrio a partir de la igualdad de la velocidad de la reacción directa e inversa y su constancia de concentraciones, concluye lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • En equilibrio, las concentraciones de los reactivos y de los productos no cambian con el tiempo. • Para que se establezca el equilibrio, ni los reactivos ni los productos pueden salir del sistema. • En equilibrio, una razón específica de los términos de concentración es igual a una constante. |
| Ley de acción de masas | <p>Ley de acción de masas, la cual expresa, para cualquier reacción, la relación entre las concentraciones de los reactivos y de los productos presentes en el equilibrio. Definida como “la relación entre las concentraciones (expresadas como presiones parciales en el caso de los gases y como molaridades en el de disoluciones) de los reactivos y productos presentes en el equilibrio en cualquier reacción.” Emplea la ecuación general de equilibrio:</p> $aA + bB \rightarrow cC + dD$ $K_{eq} = \frac{(P_C)^c (P_D)^d}{(P_A)^a (P_B)^b} \quad K_{eq} = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$ <p>Diferencia claramente entre la condición de equilibrio en fase gaseosa y en disolución.</p> |
| Velocidad de reacción/cinética | <p>El concepto de velocidad de reacción es revisado en el capítulo anterior y lo define como “es el cambio de concentración de los reactivos o productos por unidad de tiempo”. El concepto de velocidad de reacción permite definir el concepto de equilibrio para reacciones en fase gaseosa, se menciona en el texto que solo se examina esta fase y después se incluirá las fases sólidas, líquidas o soluciones acuosas. Relaciona matemáticamente las velocidades de reacción directa e inversa y la ecuación del gas ideal para definir la constante de una reacción en fase gaseosa que se relaciona finalmente con el equilibrio, expresando las concentraciones como presiones parciales. La reacción eje para explicar este concepto es:</p> $A_{(g)} \longrightarrow B_{(g)}$ $B_{(g)} \longrightarrow A_{(g)}$ <p>Describe cómo la reacción anterior llega al equilibrio de forma textual y con la descripción de dos gráficas: presión parcial vs tiempo y velocidad vs tiempo. “... en el equilibrio la razón de las presiones parciales de A y B, es igual a una constante, ...”</p> |

| | |
|--|---|
| | $\frac{(P_B/RT)}{(P_A/RT)} = \frac{P_B}{P_A} = \frac{k_d}{k_i} = \text{una constante}$ <p>Finalmente examina un sistema químico real: el proceso Haber al cual le dedica una página completa, emplea una narrativa histórica que describe la importancia del amoníaco en la producción de alimentos y su proceso de síntesis; emplea las representaciones simbólica, submicroscópica y gráfica para explicar la reacción de síntesis de amoníaco.</p> |
| <p>Constante de equilibrio/Cociente de la reacción:</p> <p>¿Cómo se introduce y de qué manera se utiliza la expresión de la constante de equilibrio?</p> <p>¿Se utiliza la expresión de la constante de equilibrio para prever los desplazamientos del equilibrio químico?</p> | <p>Para introducir este concepto menciona cómo con el tiempo varían las concentraciones de los productos y reactivos del proceso Haber.</p> <p>Las concentraciones relativas de reactivos y productos en el equilibrio dependen de las cantidades relativas iniciales presentes de reactivos, productos o ambos.</p> <p>Menciona que independientemente de las concentraciones relativas en la mezcla de reacción: “La condición de equilibrio se alcanza en uno u otro sentido.”</p> <p>Explica la constante de equilibrio mediante la ley de acción de masas</p> <p>Las reacciones eje son:</p> $\text{N}_2\text{O}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{NO}_{2(g)}$ $\text{N}_{2(g)} + 3\text{H}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{NH}_{3(g)}$ <p>“La constante de equilibrio es el valor numérico que se obtiene al substituir las presiones parciales o concentraciones molares de equilibrio en la expresión de la constante de equilibrio...La expresión de la constante de equilibrio depende únicamente de la estequiometría de la reacción, no de su mecanismo.”</p> <p>“El valor de la constante de equilibrio solo varía con la temperatura”.</p> <p>Mediante una analogía de dos experimentos verifica que el valor de Keq de la reacción del N₂O₄ es constante a pesar de que las cantidades iniciales de reactivos y productos sean diferentes.</p> <p>Muestra los resultados de los experimentos mediante una tabla y una gráfica de PNO₂ vs Tiempo.</p> <p>Se dedica un apartado para explicar la magnitud de las constantes de equilibrio “La magnitud de la constante proporciona importante información acerca de la composición de una mezcla de equilibrio”.</p> <p>Relaciona la magnitud de la constante con los valores en el numerador y denominador de su expresión, es decir, que tan grandes son las concentraciones de productos y reactivos; la magnitud de la constante nos dice en qué dirección se desplaza el equilibrio.</p> <p>Keq >> 1: El equilibrio está desplazado a la derecha.</p> <p>Keq << 1: El equilibrio está desplazado a la izquierda.</p> <p>Se ejemplifica estos desplazamientos mediante una figura que representa a los reactivos y producto como bloques de diferente tamaño (haciendo analogía a su concentración), la ecuación eje es la producción de fosgeno: CO_(g) + Cl_{2(g)} ⇌ COCl_{2(g)}.</p> <p>Relaciona el sentido de la ecuación química con la Keq: menciona que la aproximación al equilibrio se puede dar por cualquier extremo por lo que “La expresión de la constante de equilibrio de una reacción escrita en un sentido es el recíproco de la que corresponde a la reacción escrita en el sentido inverso.”</p> <p>La reacción eje es: N₂O_{2(g)} ⇌ 2NO_{2(g)}</p> <p>Menciona como se construye Keq cuando la ecuación neta se obtiene sumando ecuaciones individuales: para la suma de dos ecuaciones “... la constante de equilibrio es el producto de las expresiones correspondientes a los pasos individuales.” Menciona que se aplica a los problemas que utilizan la ley de Hess.</p> <p>La reacción eje es:</p> |

| | |
|--------------------------|--|
| | $2\text{NOBr}_{(g)} \rightleftharpoons 2\text{NO}_{(g)} + \text{Br}_{2(g)}$ $\text{Br}_{2(g)} + \text{Cl}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{BrCl}_{(g)}$ $2\text{NOBr}_{(g)} + \text{Cl}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{NO}_{(g)} + 2\text{BrCl}_{(g)} \quad K_{eq} = \frac{(P_{NO})^2 (P_{BrCl})^2}{(P_{NOBr})^2 P_{Cl_2}}$ <p>Después de revisar el subtema de equilibrios heterogéneos, indica como determinar la magnitud de las constantes de equilibrio, para ello retoma el proceso de síntesis de amoniaco y narra cómo Haber evaluó las constantes de equilibrio a diferentes temperaturas a partir de mezclas conocidas de N₂, H₂ y NH₃; y la estequiometría de la reacción. Indica el procedimiento para determinar cuál es el valor de la constante de equilibrio (cuatro pasos) y lo ilustra con un ejercicio tipo de la disolución de amoniaco en agua.</p> <p>A la mitad del capítulo menciona puntualmente cuáles son las aplicaciones de la contante de equilibrio: <i>“La magnitud de la K_{eq} indica hasta qué punto se lleva a cabo una reacción... hacia que sentido avanza... puede predecir la dirección en el que se llevará a cabo una reacción hasta alcanzar el equilibrio y calcular las concentraciones de reactivos y productos ya establecido el equilibrio”.</i></p> <p>A través de una analogía experimental de la síntesis de amoniaco nos enseña cómo predecir el sentido de la reacción, es aquí donde relaciona la constante de equilibrio con el cociente de reacción. Ilustra las magnitudes relativas del cociente de reacción Q y de la constante de equilibrio K_{eq} mediante un diagrama de barras de diferente altura que representan a Q y K_{eq} respectivamente. Solo se emplea equilibrios en fase gaseosa en la analogía experimental y en los ejercicios tipo. <i>“Cuando se sustituyen presiones parciales o concentraciones de reactivos y productos en una expresión de constante de equilibrio, el resultado se conoce como el cociente de reacción y se representa con la letra Q. El cociente de reacción será igual a la constante de equilibrio, K_{eq} sólo si el sistema está en equilibrio: Q=K_{eq} solo en el equilibrio.”</i></p> <p>Menciona una estrategia para calcular las cantidades de reactivos y productos presentes en el equilibrio, la estrategia didáctica consiste en tabular las presiones parciales o concentraciones iniciales, los cambios que experimentan y las presiones parciales de equilibrio o concentraciones finales; emplea la expresión de la constante de equilibrio de la cual despeja la cantidad no conocida, la que se transforma en una ecuación cuadrática de la cual se obtiene el resultado. Emplea dos ejercicios tipo para ilustrar lo anterior, un ejercicio del proceso Haber y otro de la síntesis de HI.</p> |
| Equilibrios heterogéneos | <p>Menciona que cuando las sustancias en equilibrio están en una misma fase se encuentran en un equilibrio homogéneo, pero si las sustancias en equilibrio están en otras fases se da origen a un equilibrio heterogéneo.</p> <p>Indica cómo construir la ecuación de la constante de equilibrio en equilibrios heterogéneos. <i>“...si en un equilibrio heterogéneo participa un sólido o líquido puro, su concentración no se incluye en la expresión de la constante de equilibrio de la reacción.”</i> <i>“...aunque no aparecen en la expresión de la contante de equilibrio, los sólidos y líquidos puros que participan en la reacción deben estar presentes en el equilibrio.”</i></p> <p>Se describe como construir la expresión de la constante de equilibrio en sistemas heterogéneos: sólido-disolución acuosa, sólido-gas y disoluciones acuosas.</p> <p>Las reacciones eje son:</p> $\text{PbCl}_{2(s)} \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}_{(ac)} + 2\text{Cl}^{-}_{(ac)}$ $\text{CaCO}_{3(s)} \rightleftharpoons \text{CaO}_{(s)} + \text{CO}_{2(g)}$ $\text{H}_2\text{O}_{(l)} + \text{CO}_3^{2-}_{(ac)} \rightleftharpoons \text{OH}^{-}_{(ac)} + \text{HCO}_3^{-}_{(ac)}$ <p>Describe la descomposición del carbonato de calcio empleando los tres niveles de representación en una figura al lado del texto.</p> |

| | |
|---|--|
| <p>Enunciado del Principio de Le Chatelier (LCh)</p> <p>Se presenta el Principio en expresión concisa o se hace uso de las reformulaciones más actuales que son menos ambiguas</p> | <p>Se menciona el enunciado general del principio.</p> <p><i>“Si un sistema en equilibrio se perturba mediante un cambio de temperatura, presión o la concentración de uno de los componentes, el sistema desplazará su posición de equilibrio de manera que se contrarreste el efecto de la perturbación.”</i></p> <p>Después se consideran tres formas en las que es posible perturbar un equilibrio químico:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. agregar o eliminar un reactivo o producto, 2. modificar la presión mediante un cambio de volumen y 3. cambiar la temperatura. |
| <p>Evolución del sistema para alcanzar el equilibrio:</p> <p>¿Se enseña el concepto en forma paralela con el Principio de LCh?</p> <p>En caso de que exista un paralelismo den la enseñanza del EQ con el Principio de LCh, se advierte que la aplicación del Principio no es universal y que puede causar resultados contradictorios</p> <p>¿Se fundamenta el principio de Le Chatelier sobre las bases de la termodinámica o se ofrece un principio surgido de un proceso de inducción a partir de múltiples experimentos o casos particulares?</p> | <p>En el apartado del Principio de Le Chatelier aplica dicho principio “para hacer predicciones cualitativas acerca de la respuesta de un sistema en equilibrio ante diversos cambios en las condiciones externas”.</p> <p>Revisa el efecto de los cambios de concentración de reactivos y productos. La reacción eje es:</p> $\text{N}_{2(g)} + 3\text{H}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{NH}_{3(g)}$ <p>Los recursos didácticos empleados en este apartado son dos gráficas para evaluar el efecto de temperatura y presión en el restablecimiento del equilibrio, muestra el diagrama industrial de la producción de amoníaco.</p> <p>Revisa el efecto de los cambios de volumen y presión. La reacción eje es: $\text{N}_2\text{O}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{NO}_{2(g)}$</p> <p>Los recursos didácticos empleados en este apartado son 2 figuras que explican macro y sub microscópicamente el desplazamiento de la reacción del N_2O_2 y NO_2 al variar la presión y el volumen.</p> <p>Revisa el efecto de los cambios de temperatura. La reacción eje es:</p> $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}(\text{ac}) + 4\text{Cl}^{-}(\text{ac}) \rightleftharpoons \text{CoCl}_4^{2-}(\text{ac}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ <p>Menciona que el valor de casi todas las constantes cambia con la temperatura.</p> <p>Para explicar la dependencia de este equilibrio respecto a la temperatura menciona que “...tratar el calor como si fuese un reactivo químico.”</p> <p>“Cuando se aumenta la temperatura, es como si se hubiese agregado un reactivo, o un producto, al sistema en equilibrio. El equilibrio se desplaza en el sentido que consume el reactivo (o producto), esto es, el calor en exceso.”</p> <p>Los recursos didácticos empleados en este apartado son dos figuras que explican macro y sub microscópicamente el desplazamiento de la reacción del $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ y CoCl_4^{2-} al variar la temperatura.</p> <p>Muestra en una tabla los valores de K_{eq} a diferentes temperaturas para la reacción:</p> $\text{N}_{2(g)} + 3\text{H}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{NH}_{3(g)}$ <p>Revisa el efecto de los catalizadores: menciona que reducen la barrera de energía de activación entre reactivos y productos.</p> <p>“...un catalizador aumenta la rapidez con la que se alcanza el equilibrio, pero no modifica la composición de la mezcla de equilibrio.”</p> <p>Retoma el proceso de síntesis de amoníaco y menciona que al descubrir Haber un catalizador idóneo fue posible aproximarse más rápido al equilibrio a una determinada temperatura y presión, lo que dio por resultado un ahorro en equipo para la síntesis de amoníaco.</p> <p>El recurso didáctico empleado en este apartado es una gráfica que esquematiza el equilibrio químico de una reacción de A que forma B y sus velocidades de reacción de las reacciones directa e inversa con ausencia y presencia de catalizador.</p> |
| <p>Contenidos procedimentales y recursos didácticos</p> | |
| <p>Utilización de modelos:</p> | <p>Los modelos empleados en el desarrollo de este tema son los mencionados en la siguiente tabla:</p> |

| | | |
|--------------|----------|--|
| | Modelos: | Uso didáctico: |
| Matemáticos. | | <p>Ecuación del gas ideal: $PV=nRT$</p> <p>Se emplea esta ecuación para calcular las presiones parciales en el equilibrio y calcular K_p, hacer conversiones de presión parcial a cantidad de moles.</p> <p>Velocidad de reacción: <i>velocidad</i> $f = kf [N_2O_4]$, <i>velocidad</i> $r = kr [NO_2]^2$</p> <p>Ayuda a ilustrar cómo se alcanza el equilibrio.</p> <p>Constante de equilibrio:</p> $K_p = \frac{(P_D)^d (P_E)^{ce}}{(P_A)^a (P_B)^b} \quad o \quad K_c = \frac{[D]^d [E]^e}{[A]^a [B]^b} \quad o \quad K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$ <p>La magnitud de K_c indica hasta qué punto se lleva a cabo una reacción, permite predecir hasta qué punto se llevará a cabo una reacción, calcula las concentraciones de reactivos y productos cuando se ha establecido el equilibrio.</p> <p>Cociente de reacción Q:</p> $Q = \frac{(P_C)^c (P_D)^d}{(P_A)^a (P_B)^b} \quad o \quad Q = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$ <p>Predice el sentido de la reacción.</p> <p>Ecuación cuadrática:</p> <p>Cálculo de las presiones parciales de reactivos y productos en el equilibrio.</p> |
| Visuales. | | <p>Gráficas con fórmulas para representar:</p> <p>La velocidad de reacción y el equilibrio de las reacciones: N_2O_2 y NO_2, N_2, H_2 y NH_3. Cómo se llega al mismo equilibrio con diferentes presiones iniciales de NO_2. Restablecimiento del equilibrio al adicionar más H_2 en una mezcla en equilibrio para la síntesis de amoníaco. Gráfica de los efectos en la variación de la temperatura y la presión en el porcentaje de amoníaco presente en una mezcla de N_2, H_2 y NH_3 en el equilibrio. Efecto de agregar H_2 a una mezcla en equilibrio de N_2, H_2 y NH_3. Equilibrio y temperatura, variación de K_p.</p> |

| | | |
|---|--|--|
| | | <p>Diagrama: Relación entre la magnitud de K y la composición de una mezcla en equilibrio. Predicción de la dirección de una reacción comparando Q y K a una temperatura dada. Enunciado del principio de Le Chatelier con variación de concentración, presión y temperatura. Un catalizador incrementa la velocidad con que se alcanza el equilibrio.</p> <p>Tabla: Variación de Kp respecto a la temperatura.</p> |
| | Didácticos análogos concretos. | <p>Figuras: estructura de las moléculas. Reacción entre: N₂O₂ y NO₂: se representan mediante fórmulas moleculares, modelo de esferas y barras N₂, H₂ y NH₃: se representan mediante fórmulas moleculares y un modelo espacial CaO y CaCO₃: se representan mediante fórmulas moleculares y un modelo espacial. Co(H₂O)₆²⁺ y CoCl₄²⁻: se representan mediante ecuación química, fórmulas y representación macroscópica. Diagrama esquemático que resume la producción industrial de amoníaco. Modelos de esferas para explicar efecto de la presión y el principio de Le Châtelier. Modelos de esferas en ejercicios en el texto y ejercicios al final del capítulo.</p> |
| Representación macroscópica submicroscópica y simbólica | <p>El concepto de equilibrio químico se explica utilizando estos tres niveles de representación. Para explicar los conceptos relacionados al equilibrio en este capítulo se utilizan las representaciones simbólicas. Mediante las representaciones submicroscópicas se explican la interpretación de la magnitud de una constante de equilibrio, equilibrios heterogéneos, establecimiento del equilibrio después de una perturbación, cambio de concentración, de presión y temperatura, diagrama de la producción industrial de amoníaco.</p> | |
| Modelos didácticos: analogías. | <p>Se explica el equilibrio dinámico como automóviles que viajan en ambos sentidos sobre un puente. Se emplea una analogía experimental para: explicar que se produce una mezcla en equilibrio a partir de dos presiones diferentes de NO₂ y N₂O₂ y predecir el sentido de la reacción de la síntesis de amoníaco.</p> | |
| Experimentos y reacciones mencionados. | <p>La reacción de N₂O₂ y NO₂ se emplea en la mayor parte del desarrollo del capítulo para definir el concepto de equilibrio químico, expresión de la constante de equilibrio, el sentido de la ecuación de equilibrio químico, las unidades de las constantes de equilibrio, en el Principio de Le Chatelier para explicar cómo afectan el equilibrio los cambios de presión, volumen y temperatura.</p> <p>Otra reacción ampliamente usada es la de la síntesis de NH₃, proceso Haber, para examinar el equilibrio químico de un sistema real, expresión de la constante de equilibrio, aplicaciones de las constantes de equilibrio, predicción del sentido de una reacción (<i>Q</i> vs <i>K_{eq}</i>), cálculo de las concentraciones de reactivos y productos en el equilibrio, en el Principio de Le Chatelier para explicar cómo afectan el equilibrio los cambios de concentración de reactivos y productos, cambios de presión, volumen, temperatura y el efecto de uso de catalizadores en la aproximación del equilibrio (velocidad de reacción).</p> <p>Otras reacciones empleadas en el desarrollo de este tema son las siguientes:</p> | |

| Reacción: | Uso didáctico: |
|---|--|
| <p>Equilibrio entre NO₂ y N₂O₄</p> $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2(\text{g})$ $2 \text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ | <p>Análisis inicial del estado de equilibrio, velocidad de la reacción directa e inversa.</p> <p>Evaluación de Kc</p> <p>Dirección de la ecuación química y K.</p> <p>Relación de la estequiometría de la ecuación química y las constantes de equilibrio.</p> |
| <p>Reacción de síntesis del amoníaco</p> $\text{N}_2(\text{g}) + 3 \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3(\text{g})$ | <p>Momento en el que se establece el equilibrio.</p> <p>Plantea la constante de equilibrio de la reacción.</p> <p>Predicción del sentido de la reacción.</p> <p>Principio de Le Chatelier:</p> <ul style="list-style-type: none"> Cambio en la concentración de un reactivo o producto. Efectos de los cambios de volumen y presión. Cálculo de las constantes de equilibrio. |
| <p>Reacción de producción de fosgeno COCl₂.</p> $\text{CO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{COCl}_2(\text{g})$ | <p>Explicar la magnitud de la constante de equilibrio.</p> |
| <p>Reacción de producción de cloruro de bromo BrCl. La suma neta de estas dos ecuaciones es:</p> $2 \text{NOBr}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}(\text{g}) + 2 \text{BrCl}(\text{g})$ | <p>Expresión de la constante de equilibrio en la suma de reacciones.</p> |
| <p>Reacción de descomposición de cloruro de plomo PbCl₂,</p> $\text{PbCl}_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(\text{ac}) + 2 \text{Cl}^{-}(\text{ac}), \text{ carbonato de calcio CaCO}_3,$ $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$ <p>Reacción de la disolución acuosa del ion carbonato CO₃²⁻</p> $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{ac}) \rightleftharpoons \text{OH}^{-}(\text{ac}) + \text{HCO}_3^{-}(\text{ac})$ | <p>Ejemplificar equilibrios heterogéneos.</p> |
| <p>Formación de ácido yodhídrico HI.</p> $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{HI}(\text{g})$ | <p>Calcular las concentraciones de reactivos y productos en el equilibrio.</p> <p>Predicción de la dirección de aproximación al equilibrio.</p> <p>Cálculo de las constantes de equilibrio.</p> |
| <p>Disolución de cloruro de cobalto CoCl₂ en una disolución de ácido clorhídrico HCl_(ac)</p> $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}(\text{ac}) + 4 \text{Cl}^{-}(\text{ac}) \rightleftharpoons \text{CoCl}_4^{2-}(\text{ac}) + 6 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ | <p>Principio de Le Chatelier: efecto del cambio de temperatura.</p> |

| | |
|--|---|
| <p>Resolución de ejercicios en el texto y al final del capítulo:</p> <p>¿Qué tipo de problemas se proponen?, ¿Se pide una reflexión cualitativa previa con el fin de hacer un planteamiento previo acerca de lo que hay que resolver o se procede directamente a resolver el problema planteando las ecuaciones correspondientes? Para los problemas propuestos, ¿se pide un análisis de resultados? ¿Tienen los alumnos las estrategias necesarias para resolver los problemas propuestos?</p> | <p>En la sección de IMAGINE, el libro presenta preguntas de análisis y para comprobar la asimilación de los contenidos se encuentra la sección PIÉNSELO UN POCO. Utilizan una gran variedad de representaciones.</p> <p>En el texto se encuentran ejercicios tipo resueltos en tres secciones, una de análisis de la información proporcionada en el ejercicio y del resultado que se va a obtener, en la sección de estrategia se menciona cuál es el método o pasos a seguir para resolver el ejercicio y en la sección de resolución se fundamenta cada respuesta o se indica cuál es el procedimiento de resolución completo para obtener el resultado.</p> <p>Después del ejercicio tipo se presenta un ejercicio de aplicación que se resuelve con una estrategia y resolución similar al ejercicio tipo.</p> <p>Los ejercicios al final del capítulo se dividen en temas: 12 ejercicios del concepto de equilibrio, 20 ejercicios de constante de equilibrio, 10 ejercicios para el cálculo de constantes de equilibrio, 18 ejercicios sobre las aplicaciones de la constante de equilibrio, 8 ejercicios sobre el Principio de Le Chatelier, 24 ejercicios adicionales y 8 ejercicios integradores.</p> |
| <p>Relación Química–Vida Diaria</p> <p>¿El tratamiento del tema tiene una funcionalidad cercana al estudiante?</p> | <p>En la sección la química en acción se analiza el control de emisiones de óxido nítrico, se describe la reacción endotérmica de formación del NO y cómo la temperatura modifica el valor numérico de la constante de equilibrio. Se explica por qué constituye un problema de contaminación en los automóviles y cómo los catalizadores en los convertidores catalíticos de un automóvil convierten el NO en N₂ y O₂.</p> |

Tabla A1.2. Análisis de libro de texto Química IV Área II.

| | |
|--------------------------------------|---|
| <p>Nombre del libro/Autor</p> | <p>L2: Libro de texto. Química IV Área II. Autor(es): Coordinación: Yolanda Flores Jasso. Castillo, C.J. Del Rey, L.M, Gutiérrez, R.A., León, O.F., Martínez, M.G., Pedraza, G.L., Pérez R.R., Vidal, S.F. 1a edición electrónica EPUB, 2013.</p> |
| <p>Capítulo</p> | <p>Unidad 1 Líquidos vitales. 24 páginas son para el subtema Equilibrio ácido y base para la vida y 11 páginas para tratar el tema de equilibrio químico y Principio de Le Chatelier</p> |
| <p>Apartados del capítulo</p> | <p>Capítulo 1. Líquidos vitales. Disoluciones: Estructura del agua. Concentración: molar y normal. Dilución de disoluciones. Disoluciones isotónicas. Sueros. Equilibrio ácido y base para la vida.</p> |

| | |
|---|---|
| | <p>Ácidos y bases. Teoría de Brønsted-Lowry. Equilibrio, su constante y Principio de Le Chatelier. Concentraciones de iones H⁺ y pH. Acidez estomacal. La sangre, un tesoro vital. Neutralización. Titulaciones. Sistemas amortiguadores. Sangre.</p> |
| Enfoque de enseñanza del equilibrio químico | Cinético molecular. Se estudia el equilibrio químico y los factores que lo alteran, a través del texto mencionan los conceptos cinéticos necesarios para comprender el equilibrio. No existe un apartado dedicado a cinética química. |
| Conceptos centrales del tema equilibrio químico | |
| Reversibilidad | <p>Se analiza la reacción entre el hidrógeno gaseoso y yodo molecular a alta temperatura en un recipiente cerrado.</p> <p><i>De acuerdo con la teoría cinético molecular, las moléculas de yodo y de hidrógeno chocan entre ellas y con las paredes del recipiente, algunas veces estos choques tendrán la suficiente energía para formar moléculas de yoduro de hidrógeno. Después de cierto tiempo, las moléculas de yoduro de hidrógeno pueden interaccionar entre sí y formar nuevamente moléculas de yodo y de hidrógeno, ... Lo anterior significa que la reacción puede proceder en ambas direcciones, es decir, es un proceso reversible...</i></p> |
| Equilibrio dinámico | <p>Analiza el cambio de fase de un líquido en un sistema cerrado.</p> <p><i>... si un líquido se mantiene en un recipiente cerrado dentro de un tiempo determinado, las moléculas comienzan a evaporarse y posteriormente se condensan, nuevas moléculas se evaporan y en seguida se condensan, el proceso continúa indefinidamente, hasta que la velocidad con que se condensan es igual a la velocidad con que se evaporan, cuando esto sucede, el nivel de líquido se mantiene constante y se dice que el sistema se encuentra en un estado de equilibrio dinámico.</i></p> <p>Después de definir el equilibrio químico retoma su carácter dinámico haciendo énfasis en las concentraciones constantes en el equilibrio.</p> <p><i>Si una reacción ha alcanzado el equilibrio, no significa que se encuentre estática, al contrario, a nivel molecular continuamente se están formando productos y reactivos, pero sus concentraciones permanecen inalterables.</i></p> |
| Definición textual del concepto de equilibrio químico en el libro | <p>Se analiza la reacción $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$ y una gráfica de la variación de las concentraciones de reactivos y productos respecto al tiempo, para después dar la definición de equilibrio químico.</p> <p><i>“En general, el equilibrio químico es alcanzado en una reacción química cuando las concentraciones de reactivos y productos permanecen constantes en el tiempo y la velocidad de formación de productos es igual a la velocidad de formación de reactivos. El equilibrio químico en un sistema se determina dentro de un recipiente cerrado, a temperatura y presión constantes”.</i></p> |
| Equilibrio químico (EQ): | Se revisa las características y definición del equilibrio químico, la expresión e interpretación de la constante de equilibrio. Después se analizan los factores que influyen en el equilibrio químico, cambios de concentración, presión y temperatura. |

| | |
|--|---|
| ¿Se desarrolla el aprendizaje del concepto antes de establecer situaciones que muevan el EQ? | |
| Ley de acción de masas | <p>La ley de acción de masas establece que la velocidad de una reacción química es proporcional al producto de las concentraciones de los reactivos, para la reacción directa... Bajo las condiciones de equilibrio, la velocidad directa es igual a la velocidad inversa, ...</p> $A a + b B \rightleftharpoons c C + d D$ <p>Para la reacción directa: $v = k[A]^a[B]^b$, para la reacción inversa: $v' = k'[C]^c[D]^d$</p> |
| Velocidad de reacción/cinética | Se menciona solo la velocidad de reacción para desarrollar la ecuación de la constante de equilibrio. $v = v'$ |
| <p>Constante de equilibrio/Cociente de la reacción:</p> <p>¿Cómo se introduce y de qué manera se utiliza la expresión de la constante de equilibrio?</p> <p>¿Se utiliza la expresión de la constante de equilibrio para prever los desplazamientos del equilibrio químico?</p> | <p>Después de definir la ley de acción de masas y sus ecuaciones se define la constante de equilibrio.</p> $k[A]^a[B]^b = k'[C]^c[D]^d, K_{eq} = \frac{k}{k'} = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}, K_{eq} = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$ <p><i>El cociente de las dos constantes es igual a otra constante, para este caso, se utiliza la Keq que representa la relación entre las dos constantes en los sentido directo e inverso, llamada constante de equilibrio.</i></p> <p><i>La constante de equilibrio relaciona las concentraciones de todos los componentes del sistema y tiene un valor determinado a una temperatura dada.</i></p> <p>Indica hacia donde se desplaza el equilibrio en función del valor de Keq. Si Keq > 1, el equilibrio se desplaza hacia productos; sí Keq < 1 el equilibrio se desplaza hacia reactivos.</p> <p><i>La constante de equilibrio carece de unidades y su valor es útil para predecir la dirección que seguirá el sistema químico hasta llegar al equilibrio e indicar cuál es la concentración que predomina en dicho sistema. Un valor de Keq mayor a uno... significa que la concentración de por lo menos uno de los productos es considerablemente mayor que la de los reactivos. El equilibrio se encuentra desplazado a la derecha... cuando el valor de Keq es menor a uno indica que se favorece la formación de los reactivos y el equilibrio se desplaza hacia la izquierda...</i></p> <p>Define la constante de acidez y basicidad, a partir de su valor clasifica la fortaleza de ácidos y bases: <i>“La constante de equilibrio de la reacción de ionización de un ácido o una base recibe el nombre de constante de acidez (Ka) o constante de basicidad (Kb) respectivamente, e indica el grado en que éstos se ionizan. Cuanto más pequeño sea el valor de la constante más débil será la sustancia.”</i></p> <p>Define Kw a partir de Keq y la [H₂O].</p> |
| Equilibrios heterogéneos | Indica cómo se expresa la ecuación de la constante de equilibrio en un sistema heterogéneo con base en la concentración de sólidos o líquidos puros. |

| | |
|--|--|
| | <p><i>Cuando en la reacción química se encuentra un sistema heterogéneo, es decir los componentes del sistema están por lo menos en dos fases distintas, ya sea líquida, sólida o gaseosa, la constante de equilibrio se expresa sin tomar en cuenta a los sólidos ni a los líquidos puros y no aparecen en la expresión de la constante de equilibrio, ya que la concentración de éstos permanece prácticamente constante y no cambia por la reacción química ni por la adición o sustracción de ellos.</i></p> |
| <p>Enunciado del Principio de Le Chatelier (LCh)</p> <p>Se presenta el Principio en expresión concisa o se hace uso de las reformulaciones más actuales que son menos ambiguas</p> | <p>Los factores que pueden influir en el equilibrio químico son: concentración, presión y temperatura.</p> <p>Principio de Le Chatelier <i>“si un sistema en equilibrio es perturbado por un cambio de temperatura, presión o concentración de uno de los componentes, el sistema desplazará su posición de equilibrio de modo que se contrarreste el efecto de las perturbaciones”.</i></p> |
| <p>Evolución del sistema para alcanzar el equilibrio:</p> <p>¿Se enseña el concepto en forma paralela con el Principio de LCh? En caso de que exista un paralelismo den la enseñanza del EQ con el Principio de LCh, se advierte que la aplicación del Principio no es universal y que puede causar resultados contradictorios</p> <p>¿Se fundamenta el principio de Le Chatelier sobre las bases de la termodinámica o se ofrece un principio surgido de un proceso de inducción a partir de múltiples experimentos o casos particulares?</p> | <p>Después de mencionar el enunciado del Principio de Le Chatelier, se estudia la perturbación del equilibrio químico debido a un cambio de concentración, presión y temperatura.</p> <p>Se estudia el desplazamiento del equilibrio químico a través del Principio de Le Chatelier, sin embargo, no se indican sus excepciones ni su fundamento termodinámico.</p> <p>Cómo se desplaza el equilibrio si se adiciona un reactivo o se elimina un poco de producto (desplazamiento hacia la derecha).</p> <p><i>...para restablecer el equilibrio, la reacción se desplazará hacia el sentido en donde se consume parte de la sustancia adicionada...</i></p> <p>La presión de un gas es proporcional a su número de moles.</p> <p><i>Los cambios de presión sólo afectan a un sistema químico en equilibrio cuando se trata de gases. Si un sistema está en equilibrio y se modifica la presión, el principio de Le Chatelier indica que el sistema reaccionará desplazando su posición de equilibrio para contrarrestar el cambio de presión.</i></p> <p>La energía forma parte de la ecuación química, ya sea como reactivo en las reacciones endotérmicas o como producto en las reacciones exotérmicas.</p> <p><i>De acuerdo con el principio de Le Chatelier una disminución de temperatura hace que el equilibrio de la reacción se desplace en dirección hacia la liberación de energía, mientras que un aumento de temperatura hace que el equilibrio se desplace hacia el sentido de la absorción de energía.</i></p> |
| Contenidos procedimentales y Recursos didácticos | |
| <p>Utilización de modelos:</p> | <p>Utiliza diferentes tipos de modelos y representaciones:</p> |

| | | Modelos. | Uso didáctico. |
|--|--|--------------|---|
| | | Matemáticos. | <p>Velocidad de la reacción directa e inversa: $V_a = k[A]^a[B]^b$, $V_r = k'[C]^c[D]^d$, $V = k[C]^c[D]^d$</p> <p>Ayuda a ilustrar cómo se construye la ecuación de la constante de equilibrio.</p> <p>Constante de equilibrio:</p> $k [A]^a [B]^b = k' [C]^c [D]^d$ $K_{eq} = \frac{k}{k'} = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$ <p>La constante de equilibrio relaciona las concentraciones de los componentes del sistema y tiene un valor determinado a una temperatura dada.</p> <p>Explica la auto ionización del agua.</p> $K_{eq} = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]}$ <p>A partir de esta ecuación deduce la constante del producto iónico del agua (Kw).</p> <p>Para encontrar la concentración de iones hidrógeno $[H^+]$: $pH = -\log [H^+]$, $[H^+] = \text{antilog} (-pH)$; para encontrar los iones hidroxilo $[OH^-]$: $[OH^-] = \text{antilog} (-pOH)$.</p> |
| | | Visuales. | <p>Gráficas con fórmulas para representar:</p> <p>Representa el avance de la reacción entre I_2 y H_2 hasta alcanzar el equilibrio.</p> <p>Diagramas:</p> <p>Representación esquemática del equilibrio químico para mostrar el valor de K.</p> <p>Representación de la variación de las concentraciones $[H^+]$ $[OH^-]$ en una disolución.</p> |

| | | | |
|---|---|--|---|
| | Didácticos análogos concretos. | Representación del avance de una reacción hasta que se establece el equilibrio. Utiliza diferente tamaño y dirección de flecha, representa la reacción con modelos submicroscópicos. | |
| Representación macroscópica submicroscópica y simbólica | Representación gráfica y submicroscópica para explicar el progreso de una reacción hasta alcanzar el equilibrio. Utiliza esquemas para ejemplificar el desplazamiento del equilibrio para $K_{eq} < 1$ o $K_{eq} > 1$ | | |
| Modelos didácticos: Analogías | Se explica el equilibrio dinámico con los cambios de fase líquido-vapor. | | |
| Experimentos y reacciones mencionados | Tipo de reacción: | | Uso didáctico: |
| | Reacción de síntesis: $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$. | | Explica: El equilibrio químico y su cinética. Equilibrio y cambio de concentración. |
| | Síntesis de amoníaco: $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ | | Explica: Equilibrio y cambio de concentración. Cambio de presión. |
| | Formación de dióxido de azufre y óxido de nitrógeno: $S(s) + O_2(g) \rightleftharpoons SO_2(g) + 80 \text{ Kcal/mol}$ $N_2(g) + O_2(g) + 43.2 \text{ Kcal/mol} \rightleftharpoons 2NO(g)$ | | Explica: Equilibrio y cambio de temperatura. |
| | Disociación del ácido acético: $CH_3COOH(ac) \rightleftharpoons H^+(ac) + CH_3COO^-(ac)$ | | Explica: Disoluciones amortiguadoras y su reacción con ácidos y bases. |
| Resolución de ejercicios en el texto y al final del capítulo: ¿Qué tipo de problemas se proponen?, ¿Se pide una reflexión cualitativa previa con el fin de hacer un planteamiento previo acerca de lo que hay que resolver o se procede directamente a resolver el problema planteando las ecuaciones correspondientes? | Se presentan diversos ejercicios en el texto: Cálculo de la constante de equilibrio en una reacción química en fase homogénea y heterogénea. Indicar el significado del valor de la constante de equilibrio respecto a la concentración de reactivos y productos. Indicar hacia donde se desplaza el equilibrio cuando existe un cambio de concentración, presión o temperatura. Escribir la constante de acidez o basicidad de la disociación de un ácido o base débil y relacionar su valor con la fuerza del ácido o la base No presenta un apartado de ejercicios al final del capítulo. | | |

| | |
|--|--|
| Para los problemas propuestos, ¿se pide un análisis de resultados? ¿Tienen los alumnos las estrategias necesarias para resolver los problemas propuestos? | |
| Relación Química–Vida Diaria: ¿El tratamiento del tema tiene una funcionalidad cercana al estudiante? | <p>Constante de acidez y basicidad. La constante de equilibrio se relaciona con el grado de ionización y la fuerza del ácido o la base.</p> <p>Auto ionización del agua $K_w = [H^+][OH^-]$.</p> <p>Sistema amortiguador en sangre. Se describe el equilibrio ácido carbónico/bicarbonato.</p> <p><i>El organismo humano utiliza tres mecanismos para controlar el valor del pH sanguíneo. El primero es a través de los sistemas amortiguadores, que incluyen los pares conjugados: H_2CO_3/HCO_3^-, HPO_4^- / HPO_4^{2-} y la hemoglobina HHb / Hb.</i></p> |

Tabla A1.3 Análisis de libro de texto Conceptos base de la química.

| | |
|--|--|
| Nombre del libro/Autor | L3: Sosa, F. P. 2008. Conceptos base de la química. Libro de apoyo para bachillerato. CCH UNAM |
| Capítulo | Capítulo 12. Equilibrio químico. Presenta 24 páginas de texto y 3 páginas de ejercicios. |
| Apartados del capítulo | Calistenia conceptual. Presentación del equilibrio químico. La constante de equilibrio. Algunos equilibrios químicos interesantes. Dinámica de grupo. Laboratorio 12. Tareas. |
| Enfoque de enseñanza del equilibrio químico | Enfoque cinético. |
| Conceptos centrales del tema equilibrio químico | |
| Reversibilidad | Se describen las reacciones reversibles a partir de la reacción entre monóxido de carbono y agua que produce dióxido de carbono e hidrógeno. <i>“...la reacción se va de reactivos a productos. Y luego de productos a reactivos...”.</i> |

| | |
|---|--|
| Equilibrio dinámico | Mediante una analogía, este capítulo inicia describiendo la reversibilidad de reacción, presenta preguntas de reflexión acerca de cómo se ajusta el equilibrio después de una perturbación. |
| Definición textual del concepto de equilibrio químico en el libro | <i>"... el sistema llega a un punto en el que las velocidades hacia ambos lados se igualan. En este punto, ya no cambian las concentraciones, ni de reactivos ni de productos. La reacción terminó en el sentido de que ya no cambian las concentraciones. Aunque continúa, en el sentido de que siguen reaccionando las sustancias. Lo más preciso es decir que la reacción ha alcanzado del equilibrio."</i> |
| Equilibrio químico (EQ): ¿Se desarrolla el aprendizaje del concepto antes de establecer situaciones que muevan el EQ? | Primero se describe el concepto de equilibrio dinámico, después el de reversibilidad y a partir de ellos el de equilibrio químico. |
| Ley de acción de masas | No hace mención explícita de la ley de acción de masas. Estudia diferentes equilibrios y la expresión de la constante para cada uno de ellos. $A a + b B \rightleftharpoons c C + d D$ $K_{eq} = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$ |
| Velocidad de reacción/cinética | Menciona los factores que afectan la velocidad de reacción. |
| Constante de equilibrio/Cociente de la reacción: ¿Cómo se introduce y de qué manera se utiliza la expresión de la constante de equilibrio? ¿Se utiliza la expresión de la constante de equilibrio para prever los desplazamientos del equilibrio químico? | La constante de equilibrio se describe después del concepto de equilibrio. "Cada reacción tiene una constante de equilibrio que indica en qué punto (qué concentraciones) se equilibra el proceso. La constante de equilibrio, K_{eq} , es igual al producto de las concentraciones de las sustancias en el lado derecho dividido entre el producto de las concentraciones de las sustancias en el lado izquierdo (elevadas a sus respectivos coeficientes) $K_{eq} = \frac{[CO_2][H_2]}{[CO][H_2O]} = 0.78$ Indica hacia dónde se desplaza el equilibrio en función del valor de K_{eq} . Si es menor a uno hay más reactivos que productos, el equilibrio está desplazado hacia la izquierda. Describe la constante de equilibrio de un ácido débil: $CH_3COOH + H_2O \rightleftharpoons CH_3COO^- + H_3O^+$ Y de forma general: $HA (ac) \rightleftharpoons A^- (ac) + H^+ (ac)$ |

| | |
|--|--|
| | $K_{eq} = \frac{[A^-][H^+]}{[HA]}$ <p>Describe la disociación del agua y hacia dónde se desplaza el equilibrio a partir del valor de su constante.</p> $H_2O(l) + H_2O(l) \rightleftharpoons OH^-(ac) + H_3O^+(ac)$ $K_a = \frac{[OH^-][H_3O^+]}{[H_2O]^2} = 3.24 \times 10^{-18}$ $K_w = [OH^-][H_3O^+] = 1 \times 10^{-14}$ |
| Equilibrios heterogéneos | <p>Equilibrio redox:</p> <p>Distingue entre agentes oxidantes y reductores débiles y fuertes mediante la reacción de combustión del metano.</p> <p>Describe la constante de equilibrio redox mediante la reacción entre nitrato de plomo (II) y nitrato de estaño (II).</p> $aOx_1(ac) + bRed_2(ac) \rightleftharpoons cRed_1(ac) + dOx_2(ac)$ $K_{eq} = \frac{[Red_1]^c [Ox_2]^d}{[Ox_1]^a [Red_2]^b}$ $Sn(s) + Pb^{2+}(ac) + 2NO_3^-(ac) \rightleftharpoons Sn^{2+}(ac) + 2NO_3^-(ac) + Pb(s)$ $K_{eq} = \frac{[Sn^{2+}]}{[Pb^{2+}]} = 2.36$ |
| <p>Enunciado del Principio de Le Chatelier (LCh)</p> <p>Se presenta el Principio en expresión concisa o se hace uso de las reformulaciones más actuales que son menos ambiguas</p> | <p>No se menciona el principio de Le Chatelier, tampoco indica las condiciones que perturban el estado de equilibrio y cómo se reestablece.</p> <p>En su analogía de gacelas y leones pregunta cómo se restablece el equilibrio si cambia la cantidad de estos mamíferos.</p> |
| Evolución del sistema para alcanzar el equilibrio: | No se trabaja. |

| | | | | | |
|---|--|---|----------------|--------------|---|
| <p>¿Se enseña el concepto en forma paralela con el Principio de LCh? En caso de que exista un paralelismo den la enseñanza del EQ con el Principio de LCh, se advierte que la aplicación del Principio no es universal y que puede causar resultados contradictorios ¿Se fundamenta el principio de Le Chatelier sobre las bases de la termodinámica o se ofrece un principio surgido de un proceso de inducción a partir de múltiples experimentos o casos particulares?</p> | | | | | |
| Contenidos procedimentales y Recursos didácticos | | | | | |
| Utilización de modelos: | <p>Los modelos empleados en el desarrollo de este tema son los mencionados en la siguiente tabla:</p> | | | | |
| | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 20%;">Modelos:</td> <td>Uso didáctico:</td> </tr> <tr> <td>Matemáticos.</td> <td> Constante de equilibrio. $K_{eq} = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}, K_{eq} = \frac{[A^-][H^+]}{[HA]}, K_{eq} = \frac{[Red_1]^c[Ox_2]^d}{[Ox_1]^a[Red_2]^b}$ $K_w = [OH^-][H_3O^+] = 1 \times 10^{-14}$ </td> </tr> </table> | Modelos: | Uso didáctico: | Matemáticos. | Constante de equilibrio. $K_{eq} = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}, K_{eq} = \frac{[A^-][H^+]}{[HA]}, K_{eq} = \frac{[Red_1]^c[Ox_2]^d}{[Ox_1]^a[Red_2]^b}$ $K_w = [OH^-][H_3O^+] = 1 \times 10^{-14}$ |
| | Modelos: | Uso didáctico: | | | |
| | Matemáticos. | Constante de equilibrio. $K_{eq} = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}, K_{eq} = \frac{[A^-][H^+]}{[HA]}, K_{eq} = \frac{[Red_1]^c[Ox_2]^d}{[Ox_1]^a[Red_2]^b}$ $K_w = [OH^-][H_3O^+] = 1 \times 10^{-14}$ | | | |
| Visuales. | Tablas: Concentraciones de los iones hidronio e hidroxilo, su valor de pH y tipo de disolución ácida, neutra o básica. Presenta recuadros a un lado del texto para las definiciones importantes. | | | | |
| Didácticos análogos concretos. | Figuras: Se representa mediante estructuras de Lewis las disociaciones de un ácido fuerte, un ácido débil y reacciones de combustión. | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|----------------|---|---|--|---|---|--------------------------------------|--|--------------------------------------|---|----------------------------------|---|--|---|--|
| Representación macroscópica submicroscópica y simbólica | Se encuentran representaciones simbólicas a lo largo del capítulo. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Modelos didácticos: Analogías | Se describe al equilibrio dinámico a través de una analogía de gacelas y leones, además relaciona la proporción de gacelas y leones con la constante de equilibrio. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Experimentos y reacciones mencionados | <table border="1"> <tr> <td>Tipo de reacción:</td> <td>Uso didáctico:</td> </tr> <tr> <td> Reacción de formación: $\text{CO (g)} + \text{H}_2\text{O (g)} \rightleftharpoons \text{CO}_2\text{(g)} + \text{H}_2 \text{(g)}$ </td> <td> Explica: Reacción reversible. Equilibrio dinámico. Equilibrio químico. Constante de equilibrio. </td> </tr> <tr> <td> Reacción de formación: $\text{H}_2 \text{(g)} + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2 \text{HI(g)}$ </td> <td> Explica: Indica hacia dónde se desplaza el equilibrio. Constante de equilibrio. </td> </tr> <tr> <td> Reacción de formación: $\text{N}_2 \text{(g)} + 3 \text{H}_2 \text{(g)} \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3 \text{(g)}$ </td> <td> Explica: Constante de equilibrio. </td> </tr> <tr> <td> $a\text{A} + b\text{B} \rightleftharpoons c\text{C} + d\text{D}$ </td> <td> Explica: Constante de equilibrio. </td> </tr> <tr> <td> Reacción de disociación: $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_3\text{O}^+$ $\text{HA (ac)} \rightleftharpoons \text{A}^- \text{(ac)} + \text{H}^+ \text{(ac)}$ </td> <td> Explica: Constante de acidez. </td> </tr> <tr> <td> $\text{H}_2\text{O (l)} + \text{H}_2\text{O (l)} \rightleftharpoons \text{OH}^- \text{(ac)} + \text{H}_3\text{O}^+ \text{(ac)}$ </td> <td> Explica: Constante de equilibrio. Constante de ionización. </td> </tr> <tr> <td> Reacción redox: $\text{Sn (s)} + \text{Pb}^{2+} \text{(ac)} + 2\text{NO}_3^- \text{(ac)} \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+} \text{(ac)} + 2\text{NO}_3^- \text{(ac)} + \text{Pb (s)}$ </td> <td> Explica: Constante de equilibrio redox. </td> </tr> </table> | Tipo de reacción: | Uso didáctico: | Reacción de formación: $\text{CO (g)} + \text{H}_2\text{O (g)} \rightleftharpoons \text{CO}_2\text{(g)} + \text{H}_2 \text{(g)}$ | Explica: Reacción reversible. Equilibrio dinámico. Equilibrio químico. Constante de equilibrio. | Reacción de formación: $\text{H}_2 \text{(g)} + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2 \text{HI(g)}$ | Explica: Indica hacia dónde se desplaza el equilibrio. Constante de equilibrio. | Reacción de formación: $\text{N}_2 \text{(g)} + 3 \text{H}_2 \text{(g)} \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3 \text{(g)}$ | Explica: Constante de equilibrio. | $a\text{A} + b\text{B} \rightleftharpoons c\text{C} + d\text{D}$ | Explica: Constante de equilibrio. | Reacción de disociación: $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_3\text{O}^+$ $\text{HA (ac)} \rightleftharpoons \text{A}^- \text{(ac)} + \text{H}^+ \text{(ac)}$ | Explica: Constante de acidez. | $\text{H}_2\text{O (l)} + \text{H}_2\text{O (l)} \rightleftharpoons \text{OH}^- \text{(ac)} + \text{H}_3\text{O}^+ \text{(ac)}$ | Explica: Constante de equilibrio. Constante de ionización. | Reacción redox: $\text{Sn (s)} + \text{Pb}^{2+} \text{(ac)} + 2\text{NO}_3^- \text{(ac)} \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+} \text{(ac)} + 2\text{NO}_3^- \text{(ac)} + \text{Pb (s)}$ | Explica: Constante de equilibrio redox. |
| | Tipo de reacción: | Uso didáctico: | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Reacción de formación: $\text{CO (g)} + \text{H}_2\text{O (g)} \rightleftharpoons \text{CO}_2\text{(g)} + \text{H}_2 \text{(g)}$ | Explica: Reacción reversible. Equilibrio dinámico. Equilibrio químico. Constante de equilibrio. | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Reacción de formación: $\text{H}_2 \text{(g)} + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2 \text{HI(g)}$ | Explica: Indica hacia dónde se desplaza el equilibrio. Constante de equilibrio. | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Reacción de formación: $\text{N}_2 \text{(g)} + 3 \text{H}_2 \text{(g)} \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3 \text{(g)}$ | Explica: Constante de equilibrio. | | | | | | | | | | | | | | | |
| | $a\text{A} + b\text{B} \rightleftharpoons c\text{C} + d\text{D}$ | Explica: Constante de equilibrio. | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Reacción de disociación: $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_3\text{O}^+$ $\text{HA (ac)} \rightleftharpoons \text{A}^- \text{(ac)} + \text{H}^+ \text{(ac)}$ | Explica: Constante de acidez. | | | | | | | | | | | | | | | |
| | $\text{H}_2\text{O (l)} + \text{H}_2\text{O (l)} \rightleftharpoons \text{OH}^- \text{(ac)} + \text{H}_3\text{O}^+ \text{(ac)}$ | Explica: Constante de equilibrio. Constante de ionización. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Reacción redox: $\text{Sn (s)} + \text{Pb}^{2+} \text{(ac)} + 2\text{NO}_3^- \text{(ac)} \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+} \text{(ac)} + 2\text{NO}_3^- \text{(ac)} + \text{Pb (s)}$ | Explica: Constante de equilibrio redox. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Resolución de ejercicios en el texto y al final del capítulo: ¿Qué tipo de problemas se proponen?, ¿Se pide una reflexión cualitativa previa con el fin de hacer un planteamiento previo acerca de lo que hay que resolver o se procede directamente a resolver el problema planteando las ecuaciones correspondientes? | Al final del capítulo presenta una dinámica de grupo que consiste en resolver varios cálculos químicos de la constante de acidez, porcentaje de moléculas disociadas y no disociadas, concentración de iones hidrógeno, valor de pH y concentraciones al equilibrio. Presenta una sección de falso o verdadero. | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | |
|--|--|
| <p>Para los problemas propuestos, ¿se pide un análisis de resultados? ¿Tienen los alumnos las estrategias necesarias para resolver los problemas propuestos?</p> | <p>Sección de Laboratorio 12.1. Se diseña un experimento donde los alumnos proponen un procedimiento para preparar disoluciones de ácido acético y acetato de sodio con un determinado valor de pH. Este ejercicio invita a los alumnos a reflexionar y seguir una estrategia para lograr su objetivo.</p> <p>Presenta una sección de tareas donde se pide calcular el valor de pH o las concentraciones en el equilibrio, la constante de equilibrio y acidez.</p> <p>Los ejercicios son para reflexionar y pensar.</p> |
| <p>Relación Química–Vida Diaria: ¿El tratamiento del tema tiene una funcionalidad cercana al estudiante?</p> | <p>El contexto bajo el cual se describe las reacciones reversibles y el equilibrio dinámico es la eliminación de CO (sustancia venenosa que provoca asfixia).</p> |

Tabla A1.4 Análisis de libro de texto Química universitaria.

| | |
|---|---|
| Nombre del libro/Autor | L4: Garritz Ruiz Andoni, Gasque Silva Laura, Martínez Vázquez Ana. (2005). Química universitaria Primera edición México Pearson Education |
| Capítulo | Capítulo 10 equilibrio químico. |
| Apartados del capítulo | <p>CON ESCEPTICISMO: ¿En qué dirección ocurrirá la reacción? LA LEY DE ACCIÓN DE MASAS. La reacción reversible y su cinética. La ley de acción de masas. La constante de equilibrio de una esterificación. Constancia de la constante de equilibrio. Equilibrios heterogéneos. La constante de equilibrio Kp. Cálculo de las concentraciones en el equilibrio. Evolución de los sistemas en equilibrio que han sido perturbados. PROBLEMAS Y ACTIVIDADES BIBLIOGRAFÍA</p> |
| Enfoque de enseñanza del equilibrio químico | Enfoque cinético. |
| Conceptos centrales del tema equilibrio químico. | |
| Reversibilidad | El capítulo inicia describiendo qué es una reacción reversible mediante la reacción: |

| | |
|--|--|
| | $2 \text{NO}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4 (\text{g})$ <p>Explica el significado de la doble flecha.</p> <p><i>“Las reacciones químicas pueden suceder en una dirección dada o en la dirección contraria. De hecho, suceden a menudo en ambas direcciones, por lo que se conocen como reacciones reversibles.”</i></p> |
| Equilibrio dinámico | <p>No señala su definición. Menciona al sistema dinámico.</p> <p><i>“...manteniéndose como constantes las tres concentraciones en un sistema dinámico, donde ocurren las dos reacciones, la “hacia adelante” y la “inversa”, pero suceden ambas a la misma velocidad.”</i></p> <p>Después de definir la ley de acción de masas menciona que:</p> <p><i>“En el equilibrio, las velocidades de reacción en ambas direcciones se igualan y se alcanza un equilibrio dinámico.”</i></p> |
| Definición textual del concepto de equilibrio químico en el libro | <i>“Cuando las reacciones ocurren a la misma velocidad se dice que se ha alcanzado el equilibrio químico, las concentraciones de ambas especies se mantienen constantes.”</i> |
| Equilibrio químico (EQ): ¿Se desarrolla el aprendizaje del concepto antes de establecer situaciones que muevan el EQ? | <p>Se plantea el concepto de equilibrio químico y después se retoma el concepto de reacción reversible y plantea las ecuaciones de velocidad de reacción.</p> <p><i>“...Debe llegar un momento en que ambas velocidades se igualen. En este momento se dice que se ha alcanzado el equilibrio químico.”</i></p> |
| Ley de acción de masas | <p>Menciona como se define la constante de equilibrio para cualquier reacción.</p> $a A + b B \rightleftharpoons r R + s S \quad K_c = \frac{[R]_{eq}^r [S]_{eq}^s}{[A]_{eq}^a [B]_{eq}^b}$ <p><i>“...existe una relación sencilla entre las concentraciones de las sustancias presentes, denominada constante de equilibrio, Kc, cuya expresión viene determinada por el producto de las concentraciones de equilibrio de los productos elevadas cada una de ellas a sus respectivos coeficientes estequiométricos, dividido por el producto de las concentraciones de equilibrio de los reactivos, elevadas también a cada uno de sus coeficientes estequiométricos. Esta expresión se conoce como la ley de acción de masas...”</i></p> |
| Velocidad de reacción/cinética | $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{HI} (\text{g}), v_a = k_a[\text{H}_2][\text{I}_2], 2\text{HI} (\text{g}) \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}), v_i = k_i[\text{HI}][\text{HI}] = k_i[\text{HI}]^2$ <p>Se analiza la cinética de la reacción reversible y a partir de este análisis se describe la constante de equilibrio.</p> |
| Constante de equilibrio/Cociente de la reacción: | Se introduce mediante el análisis de la velocidad de reacción de la reacción $\text{H}_2 (\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{HI} (\text{g})$. |

| | |
|--|--|
| <p>¿Cómo se introduce y de qué manera se utiliza la expresión de la constante de equilibrio? ¿Se utiliza la expresión de la constante de equilibrio para prever los desplazamientos del equilibrio químico?</p> | $\frac{[HI]_{eq}^2}{[H_2]_{eq}[I_2]_{eq}} = \frac{k_a}{k_i} = K_c$ <p>Se define el concepto y la ecuación de constante de equilibrio.</p> <p><i>“La constante de equilibrio es, como vemos, una medida que compara las constantes de velocidad de reacción para la reacción hacia adelante y la reacción inversa”.</i></p> <p>Después de la definición de constante de equilibrio se analiza la reacción de esterificación y se calcula su Kc:</p> $CH_3CH_2OH (l) + CH_3COOH (l) \longrightarrow CH_3COO-CH_2CH_3 (l) + H_2O (l) \quad K_c = \frac{[CH_3COOC_2H_5][H_2O]}{[CH_3COOH][C_2H_5OH]}_{eq}$ <p>Analiza diferentes condiciones iniciales y de equilibrio para la reacción de esterificación para obtener el valor promedio de Kc.</p> <p>Mediante el estudio de la reacción de formación de HI se define el cociente de reacción.</p> <p>El cociente de reacción, Qc, es idéntico a Kc pero se calcula con concentraciones que no son las del equilibrio. Permite reconocer la dirección que tomará la reacción.</p> <p>Describe hacia donde se desplaza el equilibrio en función de valor de Qc respecto a Kc.</p> <p><i>“En general, cuando Qc ≠ Kc, el sistema está fuera del equilibrio, por lo que alguna reacción ocurrirá de tal forma que Qc = Kc y se alcance un nuevo estado de equilibrio.”</i></p> <p>A partir de las concentraciones iniciales de reactivos y del valor de la constante de equilibrio, calculada en condiciones conocidas, se puede calcular las concentraciones al equilibrio.</p> |
| <p>Equilibrios heterogéneos</p> | <p>Describe cuál es la ecuación de K'c en sistemas heterogéneos como NH₄Cl (s) ⇌ NH₃ (g). HCl (g) y CaCO₃ (s) ⇌ CaO (s) + CO₂ (g). La expresión queda en función de la concentración de las especies que están en estado gaseoso. Podemos hacer la identificación inmediata de las especies sólidas o líquidas, para no colocarlas como una concentración en la ley de acción de masas. ...podemos expresar la constante de equilibrio Kp, a través de las presiones parciales de cada componente de la mezcla en equilibrio, elevadas cada una de ellas al coeficiente estequiométrico respectivo</p> $K_p = \frac{P_R^r P_S^s}{P_A^a P_B^b}$ <p>Menciona que la relación entre Kc y Kp para una reacción A (g) + b B (g) ⇌ r R (g) + s S (g) es: $K_p = K_c (RT)^{\Delta V}$</p> |
| <p>Enunciado del Principio de Le Chatelier (LCh) Se presenta el Principio en expresión concisa o se hace uso de las reformulaciones más actuales que son menos ambiguas</p> | <p>No menciona el principio de Le Chatelier.</p> |

| | |
|---|--|
| <p>Evolución del sistema para alcanzar el equilibrio:</p> <p>¿Se enseña el concepto en forma paralela con el Principio de LCh?</p> <p>En caso de que exista un paralelismo den la enseñanza del EQ con el Principio de LCh, se advierte que la aplicación del Principio no es universal y que puede causar resultados contradictorios</p> <p>¿Se fundamenta el principio de Le Chatelier sobre las bases de la termodinámica o se ofrece un principio surgido de un proceso de inducción a partir de múltiples experimentos o casos particulares?</p> | <p>Se estudia cómo perturba el equilibrio un cambio de concentración, un incremento de presión, un cambio de temperatura compara el cociente de reacción con la constante de equilibrio para indicar hacia dónde procede el cambio.</p> <p><i>“Siempre que el sistema se aleja del equilibrio, conviene calcular el cociente de reacción, Q_c. Esta variable nos permite decidir en qué dirección sucederá la reacción una vez que el sistema ha sido perturbado y se orienta hacia una segunda situación de equilibrio.”</i></p> |
|---|--|

Contenidos procedimentales y Recursos didácticos

| | | |
|--------------------------------|---|--|
| <p>Utilización de modelos:</p> | <p>Los modelos empleados en el desarrollo de este tema son los mencionados en la siguiente tabla:</p> | |
| | <p>Modelos:</p> | <p>Uso didáctico:</p> |
| | <p>Matemáticos.</p> | <p>Ecuación del gas ideal: $PV=nRT$.</p> <p>Se emplea esta ecuación para calcular la presión del sistema y construir K_p.</p> <hr/> <p>Velocidades de las reacciones directa e inversa:</p> <p>$V_a = k_a [H_2][I_2]$, $V_i = k_i [HI][HI]$</p> <p>Ayuda a ilustrar como se alcanza el equilibrio.</p> |

| | | | |
|--|--------------------------------|---|--|
| | | <p>Constante de equilibrio. En equilibrios homogéneos y heterogéneos.</p> $\frac{[HI]_{eq}^2}{[H_2]_{eq}[I_2]_{eq}} = \frac{k_a}{k_i} = K_c, K_p = K_c(RT)^{\Delta V}$ <p>Ley de acción de masas.</p> $K_c = \frac{[R]_{eq}^r [S]_{eq}^s}{[A]_{eq}^a [B]_{eq}^b}$ <p>Cociente de reacción Q:</p> $Q_c = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$ <p>Predice el sentido de la reacción.</p> | |
| | Visuales. | <p>Gráficas con fórmulas para representar:</p> <p>El avance de la reacción: H₂ y I₂.</p> <p>Tablas:</p> <p>Datos experimentales de concentración y K_c del avance de una reacción de esterificación.</p> <p>Diagramas:</p> <p>Representación de las presiones parciales y presión total de un sistema.</p> <p>Representación del sentido de la reacción por comparación de los valores de K_c y Q_c.</p> <p>Diagrama que ejemplifica la posición de equilibrio de partida, la perturbación y la posición de equilibrio.</p> | |
| | Didácticos análogos concretos. | <p>Figuras:</p> <p>Se representa mediante fórmulas y modelo de esferas un equilibrio dinámico.</p> | |

| <p>Representación macroscópica submicroscópica y simbólica</p> | <p>Se describe una reacción química mediante una representación submicroscópica.</p> <p>Se muestra la formación de estalactitas y estalagmitas mediante una representación macroscópica y simbólica.</p> <p>Mediante una gráfica se describe el avance de una reacción y sentido de la reacción cuando se restablece el equilibrio.</p> | | | | | | | | | | | | |
|---|--|-------------------|----------------|---|---|--|--|---|--|--|---|--|---|
| <p>Modelos didácticos: Analogías</p> | <p>No menciona analogías.</p> | | | | | | | | | | | | |
| <p>Experimentos y reacciones mencionados</p> | <table border="1" data-bbox="800 537 1803 1122"> <thead> <tr> <th data-bbox="800 537 1314 589">Tipo de reacción.</th> <th data-bbox="1314 537 1803 589">Uso didáctico.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="800 589 1314 711"> <p>Reacción de síntesis.</p> $\text{H}_2 (\text{g}) + \text{I}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{HI}$ </td> <td data-bbox="1314 589 1803 711"> <p>Explica: Reacción reversible. Constancia de la constante de equilibrio. Cálculo de las concentraciones en el equilibrio.</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="800 711 1314 768"> $\text{A} + \text{b B} \rightleftharpoons \text{r R} + \text{s S}$ </td> <td data-bbox="1314 711 1803 768"> <p>Explica: La ley de acción de masas.</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="800 768 1314 914"> <p>Reacciones de síntesis.</p> $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}(\text{l}) + \text{CH}_3\text{COOH}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}-\text{CH}_2\text{CH}_3(\text{l}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\text{N}_2 (\text{g}) + 3 \text{H}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3 (\text{g})$ $\text{A} (\text{g}) + \text{b B} (\text{g}) \rightleftharpoons \text{r R} (\text{g}) + \text{s S} (\text{g})$ </td> <td data-bbox="1314 768 1803 914"> <p>Explica: Constante de equilibrio.</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="800 914 1314 1036"> <p>Reacción de descomposición.</p> $\text{NH}_4\text{Cl} (\text{s}) \rightleftharpoons \text{NH}_3 (\text{g}) + \text{HCl} (\text{g})$ $\text{CaCO}_3 (\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO} (\text{s}) + \text{CO}_2 (\text{g})$ $\text{CaCO}_3 (\text{s}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) + \text{CO}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 (\text{ac})$ </td> <td data-bbox="1314 914 1803 1036"> <p>Explica: Equilibrios heterogéneos.</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="800 1036 1314 1122"> <p>Reacción de descomposición y formación.</p> $\text{PCl}_5 (\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3 (\text{g}) + \text{Cl}_2 (\text{g})$ $2 \text{NO}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4 (\text{g})$ </td> <td data-bbox="1314 1036 1803 1122"> <p>Explica: Evolución de los sistemas en equilibrio que han sido perturbados.</p> </td> </tr> </tbody> </table> <p>Experimentos propuestos:</p> <p>Reacciones reversibles: cromato y dicromato, NO₂ y N₂O₄.</p> | Tipo de reacción. | Uso didáctico. | <p>Reacción de síntesis.</p> $\text{H}_2 (\text{g}) + \text{I}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{HI}$ | <p>Explica: Reacción reversible. Constancia de la constante de equilibrio. Cálculo de las concentraciones en el equilibrio.</p> | $\text{A} + \text{b B} \rightleftharpoons \text{r R} + \text{s S}$ | <p>Explica: La ley de acción de masas.</p> | <p>Reacciones de síntesis.</p> $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}(\text{l}) + \text{CH}_3\text{COOH}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}-\text{CH}_2\text{CH}_3(\text{l}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\text{N}_2 (\text{g}) + 3 \text{H}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3 (\text{g})$ $\text{A} (\text{g}) + \text{b B} (\text{g}) \rightleftharpoons \text{r R} (\text{g}) + \text{s S} (\text{g})$ | <p>Explica: Constante de equilibrio.</p> | <p>Reacción de descomposición.</p> $\text{NH}_4\text{Cl} (\text{s}) \rightleftharpoons \text{NH}_3 (\text{g}) + \text{HCl} (\text{g})$ $\text{CaCO}_3 (\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO} (\text{s}) + \text{CO}_2 (\text{g})$ $\text{CaCO}_3 (\text{s}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) + \text{CO}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 (\text{ac})$ | <p>Explica: Equilibrios heterogéneos.</p> | <p>Reacción de descomposición y formación.</p> $\text{PCl}_5 (\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3 (\text{g}) + \text{Cl}_2 (\text{g})$ $2 \text{NO}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4 (\text{g})$ | <p>Explica: Evolución de los sistemas en equilibrio que han sido perturbados.</p> |
| Tipo de reacción. | Uso didáctico. | | | | | | | | | | | | |
| <p>Reacción de síntesis.</p> $\text{H}_2 (\text{g}) + \text{I}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{HI}$ | <p>Explica: Reacción reversible. Constancia de la constante de equilibrio. Cálculo de las concentraciones en el equilibrio.</p> | | | | | | | | | | | | |
| $\text{A} + \text{b B} \rightleftharpoons \text{r R} + \text{s S}$ | <p>Explica: La ley de acción de masas.</p> | | | | | | | | | | | | |
| <p>Reacciones de síntesis.</p> $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}(\text{l}) + \text{CH}_3\text{COOH}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}-\text{CH}_2\text{CH}_3(\text{l}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\text{N}_2 (\text{g}) + 3 \text{H}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3 (\text{g})$ $\text{A} (\text{g}) + \text{b B} (\text{g}) \rightleftharpoons \text{r R} (\text{g}) + \text{s S} (\text{g})$ | <p>Explica: Constante de equilibrio.</p> | | | | | | | | | | | | |
| <p>Reacción de descomposición.</p> $\text{NH}_4\text{Cl} (\text{s}) \rightleftharpoons \text{NH}_3 (\text{g}) + \text{HCl} (\text{g})$ $\text{CaCO}_3 (\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO} (\text{s}) + \text{CO}_2 (\text{g})$ $\text{CaCO}_3 (\text{s}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) + \text{CO}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 (\text{ac})$ | <p>Explica: Equilibrios heterogéneos.</p> | | | | | | | | | | | | |
| <p>Reacción de descomposición y formación.</p> $\text{PCl}_5 (\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3 (\text{g}) + \text{Cl}_2 (\text{g})$ $2 \text{NO}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4 (\text{g})$ | <p>Explica: Evolución de los sistemas en equilibrio que han sido perturbados.</p> | | | | | | | | | | | | |

| | |
|--|--|
| <p>Resolución de ejercicios en el texto y al final del capítulo:</p> <p>¿Qué tipo de problemas se proponen?, ¿Se pide una reflexión cualitativa previa con el fin de hacer un planteamiento previo acerca de lo que hay que resolver o se procede directamente a resolver el problema planteando las ecuaciones correspondientes? Para los problemas propuestos, ¿se pide un análisis de resultados? ¿Tienen los alumnos las estrategias necesarias para resolver los problemas propuestos?</p> | <p>Ejercicios en el texto:</p> <p>Se presenta un ejemplo en la sección ¿CÓMO SE RESUELVE? Donde se explica la estrategia de resolución, después en la sección TE TOCA A TI, se dejan los ejercicios que resolverán los alumnos, las temáticas que se presentan son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cálculo de la constante de equilibrio. • Análisis de las expresiones de las constantes K_c y K'_c • Reacción de auto ionización del agua. • Escribir la constante de equilibrios heterogéneos. • Identificar si un sistema se encuentra en equilibrio. • Predecir la dirección de la reacción como resultado del aumento de la presión. <p>Ejercicios al final del capítulo:</p> <p>Se pide determinar las unidades de K_c, la relación entre constantes para la reacción directa e inversa, predecir hacia dónde procede la reacción debido a una perturbación, en algunos ejercicios se pide analizar diferentes condiciones de reacción, calcular las concentraciones al equilibrio, cálculo de K_p.</p> |
| <p>Relación Química–Vida Diaria:</p> <p>¿El tratamiento del tema tiene una funcionalidad cercana al estudiante?</p> | <p>Los autores nos muestran un panorama histórico y la importancia del estudio de las reacciones químicas para la industria y su aplicación en la vida cotidiana.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Napoleón en Egipto y la ley de acción de masas. • Haber y el proceso Haber-Bosch. • Biotecnología. Definición a través de una mirada regional a las aplicaciones de los microorganismos. |

Anexo 2

Evaluación de las respuestas de los alumnos al primer instrumento de evaluación.

Tabal A2-1. Respuestas correctas para cada escalón.

| Pregunta | Concepto evaluado | Respuesta correcta | No. de respuestas correctas 1er escalón | No. de respuestas correctas 2do escalón | % Respuestas correctas | |
|----------|-------------------|--------------------|---|---|------------------------|-------------|
| | | | | | 1er escalón | 2do escalón |
| 1 | EQ-D | A | 9 | 4 | 52.9 | 44.4 |
| 2 | Keq | B | 9 | 4 | 52.9 | 44.4 |
| 3 | Keq-ΔP | C | 6 | 4 | 35.3 | 66.7 |
| 4 | EQ | C | 10 | 6 | 58.8 | 60.0 |
| 5 | Keq- CaVa | B | 5 | 3 | 29.4 | 60.0 |
| 6 | Keq- CaVa | C | 9 | 3 | 52.9 | 33.3 |
| 7 | Keq-RER | A | 10 | 1 | 58.8 | 10.0 |
| 8 | Keq-PDR | C | 4 | 2 | 23.5 | 50.0 |
| 9 | EQ-RR | A | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 |
| 10 | PLC - AGI | C | 4 | 2 | 23.5 | 50.0 |
| 11 | PLC-AdR | A | 5 | 2 | 29.4 | 40.0 |

EQ-D= Equilibrio químico dinámico
 Keq = Constante de equilibrio
 ΔP= Variación de presión
 EQ= Equilibrio químico
 CaVa= Cálculo de su valor
 RER= Rendimiento de reacción
 PDR=Predicción de la Dirección de una Reacción
 RR= Reacción reversible
 PLC= Principio de Le Chatelier
 AdR= Adición de reactivo
 VR= velocidad de reacción
 AGI= Agrega gas inerte

Tabla A2-2. Respuestas de los alumnos

| Pregunta | Concepto evaluado | Respuesta por alumno | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-------------------|----------------------|---|------|------|---|------|---|------|---|------|----|------|------|----|----|------|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 1 | EQ-D | A | A | A | B | C | A | A | B | A | NADA | A | A | B | | | C | B | C | A |
| 2 | Keq | B | A | B | A | B | B | B | A | B | B | A | A | B | | | A | A | B | A |
| 3 | Keq-ΔP | B | C | B | B | C | B | B | B | B | C | C | B | B | | | C | B | C | B |
| 4 | EQ | B | C | C | C | C | NADA | C | C | B | B | C | A | A | | | C | B | C | C |
| 5 | Keq- CaVa | B | C | B | NADA | A | C | A | C | B | C | B | A | A | | | A | C | B | A |
| 6 | Keq- CaVa | C | C | C | C | B | B | B | NADA | B | C | B | B | C | | | C | B | C | C |
| 7 | Keq-RER | A | A | NADA | A | A | NADA | A | A | C | A | A | B | A | | | B | B | C | A |
| 8 | Keq-PDR | B | C | B | A | B | C | B | B | B | B | A | B, C | NADA | | | C | B | B | C |
| 9 | EQ-RR | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | C | | | B | B | C | B |
| 10 | PLC - AGI | B | B | C | C | B | B | C | B | B | B | A | B | B | | | NADA | C | B | B |
| 11 | PLC-AdR | C | C | C | C | A | C | C | A | C | A | C | C | A | | | C | C | A | C |

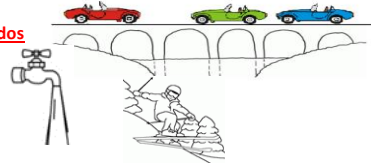
Tabla A2-3. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

1. ¿Cuál de los siguientes es un en equilibrio dinámico?

A) Coches cruzando un puente, en ambos sentidos

B) Agua saliendo de una llave continuamente

C) Esquiador bajando de la montaña



Argumento correcto: Analogía para explicar el aspecto dinámico del equilibrio químico a nivel nanoscópico. En un estado dinámico, las concentraciones de reactivos y producto permanecen constantes. Hay dos procesos en sentido contrario porque existe una interconversión constante de reactivos en productos y de productos en reactivos, es decir se llevan a cabo simultáneamente la reacción directa e inversa a la misma velocidad.

Concepción alternativa relacionada: Consideran al equilibrio como estático.

| No Alumno | Respuesta | Explicación de la respuesta: | Comentarios |
|-----------|-----------|---|--|
| 1 | A | Porque están andando unos en una dirección y otros en dirección encontrada. | Se identifica una posible idea de igualdad de cantidad en reactivos y productos. |
| 2 | A | Si no hubiera equilibrio entre los coches el puente se caería. | |
| 3 | A | Se cumple con una constante de flujo y contra reflujo de ambos sentidos. | |
| 4 | B | Porque siempre habrá una constante de velocidad y magnitud. | No identifican que existen dos procesos simultáneos en sentidos opuestos. |
| 5 | C | Nada. | |
| 6 | A | Porque hay movimiento en diferentes partes. | Existe una idea del equilibrio relacionada al movimiento continuo. |
| 7 | A | Porque si hay autos que van en una dirección, los demás autos contrarrestan yendo hacia el otro lado. | |
| 8 | B | Se puede cambiar la velocidad con que sale el agua y siempre sale una cantidad de agua constante. | |
| 9 | A | Porque van en ambos sentidos por lo tanto hay equilibrio. | |
| 10 | NADA | No lo se. | |
| 11 | A | Nada. | |
| 12 | A | Entiendo por dinámico que algo de ¿? para entender mejor. | |
| 13 | B | Pues puede ser controlada la velocidad del agua con la llave. | |
| 14 | | | |
| 15 | | | |
| 16 | C | La elegí al azar. | |
| 17 | B | Porque tiene presión la llave y eso lo hace un equilibrio muy dinámico. | |
| 18 | C | Porque ésta en constante movimiento, pero siempre o casi siempre mantiene el equilibrio. | |
| 19 | A | Los coches pueden pasar sin ningún problema cada cual en su dirección sin haber una interacción o colisión entre ellos. | |

Código de colores: Respuesta correcta para el segundo escalón.

Respuesta incorrecta para el segundo escalón.

Tabla A2-4. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

2. Qué factores alteran el valor de la constante de equilibrio

A) Un cambio de concentración de los reactivos y/o productos

B) Un cambio de temperatura del sistema

C) Un cambio de volumen y/o presión en el sistema

Argumento correcto: Cuando aumenta la temperatura de un sistema en equilibrio, el sistema reacciona como si se agregara un reactivo a una reacción endotérmica o un producto a una reacción exotérmica.

El equilibrio se desplaza en la dirección en que consume al reactivo en exceso (o producto), es decir, el calor.

Concepción alternativa relacionada: No identifican que las concentraciones se mantienen constantes cuando no hay un cambio de temperatura.

| No Alumno | Respuesta | Explicación de la respuesta: | Comentarios |
|-----------|-----------|---|--|
| 1 | B | La temperatura es un factor que influye mucho. | A mayor concentración de reactivos mayor rapidez de reacción. Al aumentar fuerza de coque, mayor rapidez de reacción. El concepto de cantidad es igual al de concentración. Un aumento en la rapidez de reacción altera el valor de la constante de equilibrio. |
| 2 | A | Los cambios de concentración afectan las masas de los reactivos y productos por lo que afectan su constante de equilibrio. | |
| 3 | B | A mayor cinética molecular, es mayor el choque entre moléculas | |
| 4 | A | Debido a que si los reactivos o productos aumentan se tendrá una alteración en la constante de equilibrio habiendo tal vez menos aceleración o menor temperatura. | |
| 5 | B | Depende de la temperatura porque no es lo mismo suministrar 20 °C que 150 °C, la constante de equilibrio se ve relacionada con la temperatura. | |
| 6 | B | Dependiendo de la temperatura es cómo reaccionan los elementos. | |
| 7 | B | A mayor temperatura las moléculas chocan con más fuerza y eso cambia la velocidad de reacción. | |
| 8 | A | La adición de reactivos y productos supongo que altera de manera proporcional la constante de acuerdo a las cantidades que se quiten o adicione. | |
| 9 | B | Porque influye en la velocidad o rapidez con la que van a reaccionar. | |
| 10 | B | La temperatura influye para que haya alteraciones y esto por ejemplo puede provocar que algo se ¿? | |
| 11 | A | Hace que se tengan productos distintos en cuanto a cantidad. | |
| 12 | A | Porque estas ayudarán a saber su valor y puede ser mayor o menor dependiendo de los mismos. | |
| 13 | B | Pues el punto de ebullición de cada reactivo es distinto. | |
| 14 | | | |
| 15 | | | |
| 16 | A | Creo que si se altera la concentración se altera todo. | |
| 17 | A | Entre más concentración haya va a cambiar la constante de equilibrio al igual de si es chica la concentración. | |
| 18 | B | Al aumentar o disminuir la temperatura igualmente aumenta o disminuye el equilibrio. | |
| 19 | A | Si hay más reactivos en un sistema el producto cambiará y dependiendo de que tan concentrado sea, se mostrará una reacción más rápida o lenta. | |

Código de colores: Respuesta correcta para el segundo escalón.

Respuesta incorrecta para el segundo escalón.

Tabla A2-5. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

3. Para el siguiente sistema en equilibrio:



si se disminuye la presión a la mitad, a temperatura constante, ¿qué sucede con la constante de equilibrio?

- A) Aumenta, aunque el volumen aumente.
- B) Disminuye, aunque el volumen aumente.

C) No cambia, aunque el volumen aumente.

Argumento correcto: En la reacción, el número de moléculas de los productos gaseosos (dos) es igual al número de moléculas de los reactivos gaseosos; por consiguiente, cambiar la presión no modifica la posición de equilibrio.

alternativa relacionada: Aplicación de Le Chatelier a situaciones que conducen a predicciones incorrectas. Cuando se fija la temperatura y se reduce el volumen, el equilibrio se desplazará en la dirección del número de moles más pequeño, y el valor de K se reducirá.

| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta: | Comentarios |
|-----------|-----------|--|--|
| 1 | B | Disminuye porque hay una baja presión. | El valor de la constante depende de la presión. Al disminuir la presión también disminuye la rapidez de reacción y viceversa. |
| 2 | C | La temperatura afecta la velocidad de la reacción no la constante de equilibrio la presión aumenta el volumen. | |
| 3 | B | Porque disminuye la presión y los reactivos y productos permanecen los mismos por tanto no modifica la Kc sino el volumen. | |
| 4 | B | Al restarle temperatura a alguna reacción esta "reaccionara" disminuyendo su constante, aunque cuente aún con la misma cantidad de sustancias. | |
| 5 | C | La constante de equilibrio solo se ve relacionada con la temperatura. | |
| 6 | B | No sé cómo explicarlo. | |
| 7 | B | A mayor presión las velocidades de reacción aumentan. | |
| 8 | B | Las partículas, tienen un mayor volumen que cubrir al carecer de presión. | |
| 9 | B | Porque bajará la rapidez con la que van a reaccionar. | |
| 10 | C | Nada ya que solo se afecta la temperatura. | |
| 11 | C | No cambia, solo cambiaría el volumen, pero no tiene nada que ver con los reactivos y productos. | |
| 12 | B | Porque la presión disminuye, pero el volumen aumenta por la temperatura constante. | |
| 13 | B | Ya que el cambio de presión afecta a cada reactivo. | |
| 14 | | | |
| 15 | | | |
| 16 | C | Ya que la presión disminuye la C. de E. no cambia solo el volumen, ya que deja de estar a presión. | |
| 17 | B | Si se va a disminuir la presión la constante va a disminuir, aunque el volumen aumente. | |
| 18 | C | No cambiaría la temperatura, pero su volumen sí. | |
| 19 | B | La reacción se vuelve más lenta debido a que el espacio es mayor. | |

Código de colores:

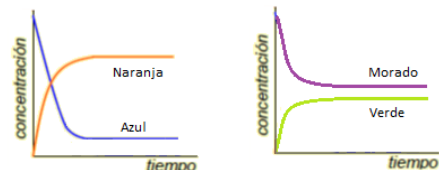
| |
|---|
| Respuesta correcta para el segundo escalón. |
| Respuesta incorrecta para el segundo escalón. |

Tabla A2-6. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

4. En las siguientes gráficas que representan dos equilibrios químicos independientes, ¿qué línea representa el cambio de concentración en los reactivos?

- A) Azul-verde
- B) Naranja-morado

C) Azul-morado



Argumento correcto: La concentración de reactivos va disminuyendo conforme avanza la reacción y se mantiene constante cuando se alcanza el equilibrio.

Concepción alternativa relacionada: La reacción continua hasta que se agotan todos los reactivos, por lo que la reacción se termina.

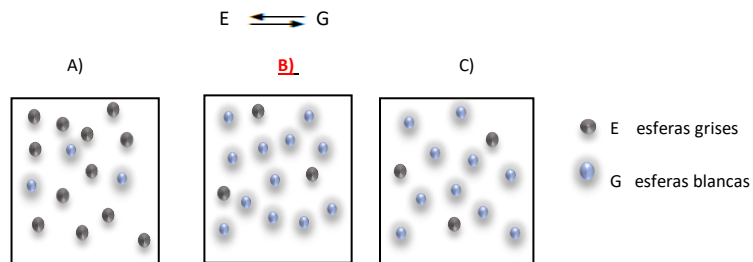
| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta: | Comentarios |
|-----------|-----------|--|---|
| 1 | B | Los reactivos aumentan. | Identifican que la concentración de reactivos disminuye conforme avanza la reacción. Solo hay un cambio de concentración respecto al tiempo. |
| 2 | C | Porque la concentración disminuye con el tiempo. | |
| 3 | C | La gráfica muestra que cuando la concentración de reactivos es mayor el t aumenta. | |
| 4 | C | Porque va aumentando o disminuyendo según el tiempo empleado. | |
| 5 | C | Si se tiene al inicio de la reacción una cierta concentración se ira perdiendo conforme pase el tiempo, por lo que los colores que nos indican este fenómeno es el azul y el morado. | |
| 6 | NADA | Nada. | |
| 7 | C | Esas gráficas van disminuyendo lo cual indica que los reactivos se van consumiendo. | |
| 8 | C | Pasa de una concentración grande a otra más pequeña, dentro de un tiempo determinado. | |
| 9 | B | Porque aumenta en la naranja y disminuye en la morada. | |
| 10 | B | Porque está marcando cada línea un cambio y muestra en el choque dando ¿? mientras que las otras son independientes. | |
| 11 | C | Porque siempre van de más concentración a menos concentración. | |
| 12 | A | Porque se puede notar como aumenta o disminuye la concentración. | |
| 13 | A | Pues existe un cambio de concentración en los reactivos. | |
| 14 | | | |
| 15 | | | |
| 16 | C | "Sentido común". | |
| 17 | B | Porque me acuerdo de un gráfico que nos mostró en la clase. | |
| 18 | C | Porque las líneas no se mantienen constantes en donde dice concentración. | |
| 19 | C | En ambos su concentración disminuye. | |

Código de colores: Respuesta correcta para el segundo escalón.

Respuesta incorrecta para el segundo escalón.

Tabla A2-7. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

5. En cuál de los siguientes diagramas se representa el equilibrio de la reacción química cuya constante de equilibrio es $K_c = 4$:



Argumento correcto: La ecuación para calcular la constante de equilibrio es $K_c = [G]/[E]$, la relación entre esferas blancas y grises es 4:1.

Concepción alternativa relacionada: Incapacidad en el manejo de la proporcionalidad.

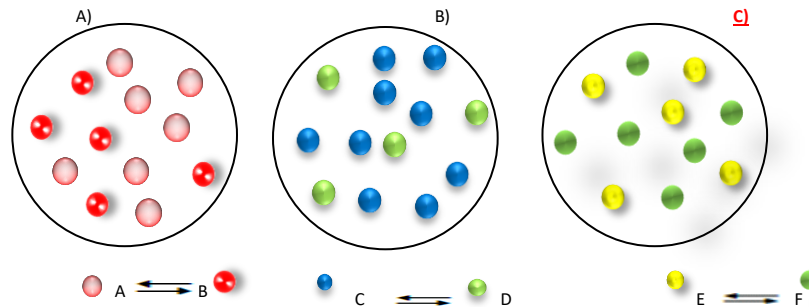
| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta: | Comentarios |
|-----------|-----------|---|--|
| 1 | B | Por cada esfera gris hay cuatro blancas. | En el equilibrio existe igualdad de concentraciones de reactivos y productos. Posible sinonimia entre cantidad y concentración. |
| 2 | C | Porque E es más grande y G más pequeña, pero combinando todo puede haber una igual concentración. | |
| 3 | B | El reactivo E debe permanecer en equilibrio con el producto G. | |
| 4 | NADA | Nada. | |
| 5 | A | Nada. | |
| 6 | C | Nada. | |
| 7 | A | La cantidad de E es 4 veces mayor a G. | |
| 8 | C | La cantidad de reactivos, al juntarse producen ¿? moléculas múltiplo de 4. | |
| 9 | B | Porque por cada esfera gris hay 4 esferas blancas. | |
| 10 | C | Porque es la más cercana ya que si agregamos una esfera más de E serian 4:E y 9:G. | |
| 11 | B | $4 : 3 = 12$ | |
| 12 | A | Porque en este diagrama puede mostrarse un equilibrio en esferas grises. | |
| 13 | A | Porque aumenta la reacción química cuando la constante aumenta. | |
| 14 | | | |
| 15 | | | |
| 16 | A | La elegí al azar. | |
| 17 | C | Siento que está en equilibrio ya que son casi los mismos múltiplos. | |
| 18 | B | La elegí al azar. | |
| 19 | A | Si tomamos en cuenta que $K_c = G$ y $4 = G$ por cada E debe haber 4 G. | |

Código de colores: Respuesta correcta para el segundo escalón.

Respuesta incorrecta para el segundo escalón.

Tabla A2-8. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

6. Los siguientes diagramas representan tres reacciones químicas diferentes en equilibrio, ¿cuál de ellas tiene la constante de equilibrio con mayor valor?



Argumento correcto: La reacción E ⇌ F presenta el valor más alto de constante de equilibrio por tener mayor concentración de productos. El equilibrio se encuentra desplazado hacia productos.

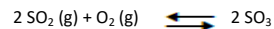
Concepción alternativa relacionada: Incapacidad en el manejo de la proporcionalidad.

| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta: | Comentarios |
|-----------|-----------|--|---|
| 1 | C | Hay más esferas unidas. | En el equilibrio existe igualdad de concentración o cantidad de reactivos y productos. Posible sinonimia entre cantidad y concentración. |
| 2 | C | Porque las mismas moléculas están en el mismo vaso. | |
| 3 | C | Los reactivos E son menores al producto F lo cual E<F y esto quiere decir que reacciona más. | |
| 4 | C | La tercera porque ya han reaccionado más reactivos. | |
| 5 | B | Porque existe un mayor número de productos que de reactivos. | |
| 6 | B | 12 5 13 4 11 6 | |
| 7 | B | Nada. | |
| 8 | NADA | Supongo que es la que tiene más reactivos. | |
| 9 | B | Porque por cada esfera D hay más de 2 esferas C. | |
| 10 | C | Porque hay 6 con F y b con E mientras que en las otras hay más diferencia. | |
| 11 | B | Cada esfera blanca tiene poco más de 3 esferas negras. | |
| 12 | B | Esta tiene más esferas unidas las cuales muestran el equilibrio. | |
| 13 | C | Nada. | |
| 14 | | | |
| 15 | | | |
| 16 | C | Al azar. | |
| 17 | B | Tiene más bolitas negras y siento que tiene mayor valor. | |
| 18 | C | Hay casi el mismo número de bolitas de los 2 colores. | |
| 19 | C | Hay casi la misma cantidad de moléculas E que F. | |

Código de colores: Respuesta correcta para el segundo escalón.
Respuesta incorrecta para el segundo escalón.

Tabla A2-9. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

7. Se tiene un sistema en equilibrio a 1000 °C, las concentraciones de las especies presentes son: [SO₂] = 0.34 M, [O₂] = 0.17 M y [SO₃] = 0.06 M, explica por qué el rendimiento de la reacción es bajo:



A) Porque su K_c es menor a uno.

B) Porque su K_c es mayor a uno.

C) Porque su K_c es igual a uno.

Argumento correcto: Cuando el rendimiento de una reacción es bajo significa que se tiene menor concentración de productos que de reactivos, por lo tanto, el equilibrio este desplazado a la derecha.

Concepción alternativa relacionada: El aumento de temperatura siempre aumenta el valor de la constante de equilibrio. Cuando aumenta la temperatura, la reacción se desplaza hacia adelante y, por lo tanto, la constante de equilibrio aumenta. Redactar la pregunta indicando el valor de K_c menor a uno y preguntar cómo es el rendimiento de la reacción.

| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta: | Comentarios |
|-----------|-----------|---|--|
| 1 | A | Esta limitado la constante de equilibrio. | Sinonimia entre masa y concentración. Relacionan K _c con la rapidez de reacción. Perciben a la ecuación química como una suma de términos. No diferencian entre elemento y compuesto. |
| 2 | A | Porque la suma de sus masas es menor a 1. | |
| 3 | NADA | Nada. | |
| 4 | A | Si la constante de equilibrio fuera mayor a uno reaccionaría obvio más rápido. | |
| 5 | A | Al sumar las M de cada elemento se tiene 0.57 por lo que puede que su rendimiento sea bajo debido a que es menor a 1. | |
| 6 | NADA | Nada. | |
| 7 | A | Nada. | |
| 8 | A | Creo que la constante de equilibrio (que se obtiene a partir de las concentraciones) determina el rendimiento de una reacción, cuando K _c es 1 fue una excelente reacción. | |
| 9 | C | Porque es igual. | |
| 10 | A | Porque tendría más que aumentar el K _c para que sea más rápido. | |
| 11 | A | Porque tardará más tiempo. | |
| 12 | B | Las cantidades de cada elemento reaccionarán para dar 1. | |
| 13 | A | Pues se encuentra involucrada la temperatura. | |
| 14 | | | |
| 15 | | | |
| 16 | B | No lo sé, fue al azar. | |
| 17 | B | Me acuerdo que, con anterioridad había visto ese tema, pero ahorita no me acuerdo, pero puse que es mayor porque se me hace más lógica. | |
| 18 | C | La elegí al azar. | |
| 19 | A | Si las concentraciones de reactivos son menores a 1 la concentración de productos no puede ser mayor. | |

Código de colores: Respuesta correcta para el segundo escalón.

Respuesta incorrecta para el segundo escalón.

Tabla A2-10. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

8. Para la síntesis de amoníaco, la constante de equilibrio K_c a 375 °C es 1.2, al iniciar la reacción, las concentraciones de las especies presentes son: $[H_2] = 0.76 M$, $[N_2] = 0.6 M$ y $[NH_3] = 0.48 M$, ¿qué gas habrá aumentado su concentración en el equilibrio?



- A) Nitrógeno
- B) Hidrógeno
- C) Amoníaco**

Argumento correcto: Como el valor de K_c es mayor a 1, la mayoría de los reactivos se han convertido en productos. Aumenta la concentración de amoníaco.

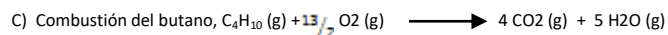
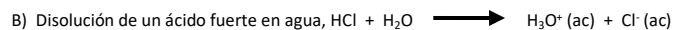
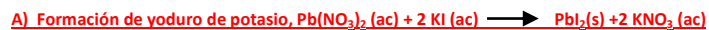
Concepción alternativa relacionada: Los estudiantes tienen dificultad para predecir la dirección del cambio de equilibrio si el equilibrio está sujeto a una interferencia.

| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta: | Comentarios |
|-----------|-----------|---|---|
| 1 | B | Nada. | Igualdad de concentraciones en reactivos y productos. |
| 2 | C | Porque el amoníaco tiene una mayor concentración. | |
| 3 | B | Aumentará debido a que en el producto aumenta la concentración por la reacción. | |
| 4 | A | El nitrógeno aumenta ya que es más difícil que rompa sus enlaces y por ende tiende a adquirir más enlaces. | |
| 5 | B | Porque se tiene una mayor cantidad de ese elemento. | |
| 6 | C | Nada. | |
| 7 | B | Nada. | |
| 8 | B | Hay más hidrógeno. | |
| 9 | B | Porque en los productos hay más H_3 . | |
| 10 | B | Porque cuando hubo algún cambio aumentó el hidrógeno en los productos. | |
| 11 | A | Por sus # de oxidación. | |
| 12 | B, C | Este al ser mayor podrá aumentar su concentración y también amoníaco porque es el resultante de la reacción. | |
| 13 | NADA | No tengo idea. | |
| 14 | | | |
| 15 | | | |
| 16 | C | No lo se. | |
| 17 | B | Siento que es lo más lógico poner hidrógeno (sentido común). | |
| 18 | B | Aumenta el número en la reacción. | |
| 19 | C | El amoníaco debió aumentar su concentración porque de no hacerlo la concentración de productos sería menor que la de los reactivos. | |

Código de colores: Respuesta correcta para el segundo escalón.
Respuesta incorrecta para el segundo escalón.

Tabla A2-11. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

9. Cuál de las siguientes ecuaciones representa un cambio químico que debiera llevar doble flecha por estar en equilibrio:



Argumento correcto: La reacción de nitrato de plomo con yoduro de potasio, ya que se presenta un equilibrio entre el nitrato de plomo acuoso y el yoduro de plomo sólido.

Concepción alternativa relacionada: Los estudiantes tienen dificultad para comprender reacciones reversibles.

| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta: | Comentarios |
|-----------|-----------|---|---|
| 1 | B | Las reacciones entre ácidos y bases tienen que estar en equilibrio. | Confusión entre la teoría ácido base de Arrhenius y Brønsted Lowry. No identifican que los ácidos fuertes se disocian por completo en disolución. Sinonimia entre equilibrio y conservación de la masa. |
| 2 | B | Porque entre los dos están balanceados. | |
| 3 | B | Se forma tanto un ácido conjugado y una base conjugada lo cual representa un equilibrio. | |
| 4 | B | Porque consta de pares conjugados. | |
| 5 | B | Es la única que está balanceada. | |
| 6 | B | Esta balanceada. | |
| 7 | B | Nada. | |
| 8 | B | Al estar el ion hidronio y el ion cloro, el hidronio actúa como ácido (donador de protones) y el cloro como base (aceptor de protones). | |
| 9 | B | Porque hay un cambio químico. | |
| 10 | B | Porque es la única que está balanceada. | |
| 11 | B | Contado sus átomos de cada uno, están en equilibrio. | |
| 12 | B | Esto forma un equilibrio químico. | |
| 13 | C | Pues ocurre un cambio de temperatura. | |
| 14 | | | |
| 15 | | | |
| 16 | B | Está en equilibrio. | |
| 17 | B | Tiene los mismos elementos de un lado y de otro y considero que ese está en equilibrio. | |
| 18 | C | Porque se forma O lo cual hace que cambie. | |
| 19 | B | Ácido cede H ⁺ y la base acepta OH ⁻ . | |

Código de colores:

Respuesta correcta para el segundo escalón.

Respuesta incorrecta para el segundo escalón.

Tabla A2-12. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

10. En un recipiente cerrado se coloca trióxido de azufre, SO₃, y el sistema se calienta hasta que se alcanza el estado de equilibrio representado por la siguiente ecuación:



Manteniendo la temperatura constante se agrega N₂ (g) al sistema, indica ¿qué es lo que sucede?

- A) El N₂ reacciona desplazando el equilibrio hacia la formación de SO₃.
- B) El N₂ reacciona desplazando el equilibrio hacia la formación de SO₂ y O₂.

C) El N₂ no reacciona por lo que no se afecta el equilibrio de SO₃.

Argumento correcto: La adición de N₂, gas que no participa en la reacción, no modifica las concentraciones ni la presión de los reactivos y productos, por lo tanto, no ocasiona un desplazamiento del equilibrio.

Concepción alternativa relacionada: Aplicación de Le Chatelier a situaciones que conducen a predicciones incorrectas. Incomprensión del efecto de agregar gas inerte al sistema en equilibrio.

| No Alumno | Respuesta | Explicación de la respuesta: | Comentarios |
|-----------|-----------|---|---|
| 1 | B | Porque el producto de la reacción es SO ₂ + O ₂ . | El nitrógeno aumenta la presión del sistema y esto desplaza el equilibrio. Relacionan al equilibrio con un balance de masa en ambos extremos de la ecuación química. El nitrógeno reacciona con reactivos y desplaza el equilibrio hacia productos. |
| 2 | B | Agregar el reactivo N ₂ afecta toda la ecuación por lo que se tiene que volver a balancear la ecuación. | |
| 3 | C | Nada. | |
| 4 | C | El N ₂ sólo es un gas que no va a reaccionar con los reactivos ni con los productos, tal vez sólo ayude a acelerar la reacción. | |
| 5 | B | Al tener reactivos de más o de menos, se afectan los productos si se deseara tener un equilibrio se necesitaría realizar los cálculos correspondientes. | |
| 6 | B | Porque se adiciona N ₂ y "sustituye" a una desplazándolo. | |
| 7 | C | El N ₂ es muy difícil que reaccione por sus fuertes enlaces. | |
| 8 | B | Supongo que descompone el SO ₃ . | |
| 9 | B | Porque SO ₂ y O ₂ son los productos. | |
| 10 | B | Está reaccionando el N ₂ con el SO ₃ . | |
| 11 | A | Aumenta el equilibrio constante. | |
| 12 | B | El N ₂ reaccionará con SO ₃ y afectará a SO ₂ y O ₂ . | |
| 13 | B | Pues se agrega N ₂ después de que es calentado el SO ₃ . | |
| 14 | | | |
| 15 | | | |
| 16 | NADA | Nada. | |
| 17 | C | No tiene que afectarlo porque no reacciona. | |
| 18 | B | Al agregarle N ₂ reacciona con SO ₃ y se forma SO ₂ y O ₂ . | |
| 19 | B | El N ₂ desplaza al SO ₂ para formar NO ₂ . | |

Código de colores: Respuesta correcta para el segundo escalón.

 Respuesta incorrecta para el segundo escalón.

Tabla A2-13. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

11. La siguiente ecuación representa un sistema que está en equilibrio:



¿Cómo se modifican las concentraciones de las sustancias participantes si se adiciona cierta cantidad de Cl_2 (g)?

A) Solo aumenta la concentración de producto.

B) Solo aumenta la concentración de reactivos.

C) Aumenta la concentración de reactivos y productos.

Argumento correcto: Al adicionar cloro gaseoso, este reaccionará con el monóxido de carbono presente y aumentará la concentración de producto.

Concepción alternativa No consideran todos los factores que afectan al equilibrio (control de variables).

relacionada: Dificultades al comparar las concentraciones entre un equilibrio inicial y uno final.

| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta: | Comentarios |
|-----------|-----------|--|--|
| 1 | C | Está presente en reactivos y productos. | La ecuación química presenta una igualdad como una ecuación matemática. Igualdad de concentraciones en reactivos y productos. |
| 2 | C | Se modifican porque sus concentraciones cambian. | |
| 3 | C | La cantidad de dicha sustancia Cl_2 modifíco la concentración de reactivos y productos. | |
| 4 | C | Va a aumentar la concentración de reactivos y productos ya que para producirlo debe estar antes en los reactivos. | |
| 5 | A | Se modifica la cantidad de concentración en ambas partes, tanto en reactivos como en productos, pero en ocasiones al tener menos reactivos se tendrá menos producto. | |
| 6 | C | Es para que esté equilibrada. | |
| 7 | C | Se complementa el Cl_2 que ya estaba y así el CO tiene más posibilidades de reaccionar con el Cl_2 . | |
| 8 | A | Creo que el sobrante Cl_2 no reaccionara con el CO . | |
| 9 | C | Porque es equilibrio por lo tanto tiene que aumentar en reactivos como productos. | |
| 10 | A | Porque mientras más le adicionemos este seguirá reaccionando y lo que aumentará será el producto ósea el resultado de la reacción. | |
| 11 | C | Se tienen que equilibrar, por lo tanto, de los 2 lados reactivos y productos se aumenta. | |
| 12 | C | Esta afectará a ambos porque al aumentar la cantidad habrá una concentración diferente. | |
| 13 | A | Pues afecta el resultado de la ecuación. | |
| 14 | | | |
| 15 | | | |
| 16 | C | No dicen si se le añade a él reactivo o al producto. | |
| 17 | C | Si se va ha modificar de un lado también tiene que hacerlo del otro lado. | |
| 18 | A | Al mezclarse se aumentan reaccionando. | |
| 19 | C | Porque si lo agregas en los reactivos a fuerza tienes que agregar en los productos para que se mantenga el equilibrio. | |

Código de colores: Respuesta correcta para el segundo escalón.

Respuesta incorrecta para el segundo escalón.

Anexo 3

Actividades de enseñanza del equilibrio químico.

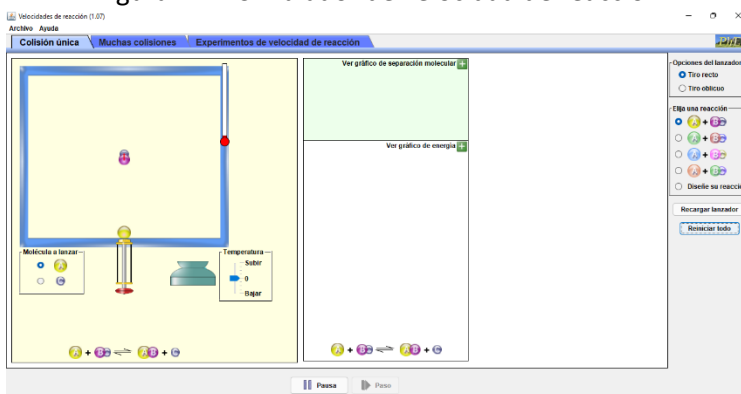
El plan de estudios de Química III de 1996 contemplaba el estudio del equilibrio químico desde un marco cinético, donde previamente se introducen los conceptos de rapidez de reacción y factores que la afectan (temperatura, concentración, presión, superficie de contacto, catalizadores), teoría de las colisiones, y energía de activación. Después de introducir estos temas se inicia con el estudio del equilibrio químico, donde se estudia el concepto de reversibilidad de reacción, el estado de equilibrio de una reacción y factores que lo afectan: concentración, presión y temperatura. Tomando como marco de referencia el programa de estudios de Química III y las recomendaciones del profesor titular se diseñaron las siguientes actividades de enseñanza.

Las actividades de enseñanza se realizaron en cuatro sesiones de dos horas cada una, las primeras dos sesiones corresponden a la enseñanza de la cinética química y las restantes corresponden al estudio del equilibrio químico.

Primera sesión, actividad 1: Resolución del primer instrumento de evaluación. Los alumnos tienen 40 minutos aproximadamente para responder 13 preguntas y justificar su respuesta.

Primera sesión, actividad 2: En la segunda hora se utilizó el simulador *phet* colorado de velocidades de reacción (figura A2-1) y, mediante el análisis de la reacción química hipotética de $A + B \rightleftharpoons AB + C$ se estudió el modelo de colisiones, y la velocidad de reacción en función del aumento de la concentración y el incremento de la temperatura, también se analiza la orientación molecular para obtener una colisión efectiva y la energía de activación.

Figura A2-1 Simulador de velocidad de reacción



Primera sesión, actividad 3: Como última actividad en esta sesión se realizó una experiencia de cátedra; el profesor muestra a los alumnos la reacción de tiosulfato de sodio con ácido clorhídrico, para ello se preparó una disolución de tiosulfato de sodio de aproximadamente 0.1 M, se colocaron

diferentes alícuotas en cinco vasos de precipitado, debajo de cada vaso de precipitado se colocó un cuadro de papel blanco marcado con una X; después a cada disolución se le adiciona suficiente agua para completar 50 mL y finalmente se adiciona a cada vaso 10 mL de HCl 3 M, se agita vaso por vaso durante 5 segundos aproximadamente, y a partir de ese momento se mide el tiempo en segundos con un cronómetro hasta que los alumnos ya no puedan ver la X escrita en el papel. Las disoluciones se tornan blancas y lechosas por la formación de azufre coloidal, ver tablas A2-2 y A2-3, (FlinnScientific, 2012).

Reacción:

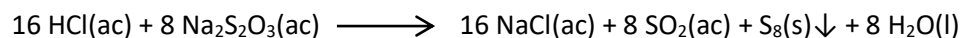


Tabla No A2-2. Preparación de las disoluciones.

| Vol disol. Tiosulfato 0.1 M (ml) | Vol HCl 3 M (mL) | Vol. agua (mL) | Vol. total (ml) | Conc Tiosulfato (Molar) |
|----------------------------------|------------------|----------------|-----------------|-------------------------|
| 50 | 10 | 0 | 60 | 0.083 |
| 40 | 10 | 10 | 60 | 0.067 |
| 30 | 10 | 20 | 60 | 0.050 |
| 20 | 10 | 30 | 60 | 0.033 |
| 10 | 10 | 40 | 60 | 0.017 |

Después de cada medición se anota el tiempo de reacción en la siguiente tabla.

Tabla A2-3 Registro del tiempo de reacción.

| Concentración de Tiosulfato de sodio | 0.083 M | 0.067 M | 0.050 M | 0.033 M | 0.017 M |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Tiempo (s) | | | | | |

Sesión extra clase, actividad 4:

Se les dieron las instrucciones de las actividades que tienen que realizar en su casa correspondiente a la Cinética química: factores que afectan la velocidad de una reacción, (Bayer Global, 2022).

Instrucciones.

Para este experimento casero necesitas agua a temperatura ambiente, agua caliente, agua fría, una caja de Alka Seltzer (los de caja azul), un cronómetro y cuatro vasos de vidrio o plástico transparentes del mismo tamaño (de una capacidad aproximada de 250 mL) y un martillo chico. Calentar aproximadamente 500 mL de agua hasta que aun puedas sumergir los dedos sin quemarte.

Enfriar aproximadamente 500 mL de agua en el congelador por aproximadamente una hora, sin que se congele.

Experimento No 1

Coloca tres vasos sobre la mesa y llena cada vaso con la misma cantidad de agua como indica la figura A2-4:

Figura A2-4. Experimento de la tableta de Alka Seltzer.



- Agrega una tableta de Alka Seltzer completa en el vaso con agua al tiempo y toma el tiempo en segundos en que tarda en disolverse (desaparecer) la pastilla.
- Agrega una tableta de Alka Seltzer completa en el vaso con agua fría y toma el tiempo en segundos en que tarda en disolverse (desaparecer) la pastilla.
- Agrega una tableta de Alka Seltzer completa en el vaso con agua caliente y toma el tiempo en segundos en que tarda en disolverse (desaparecer) la pastilla.
- Ordena los datos en la siguiente tabla y responde las preguntas:

Tabla A2-5. Registro tiempo de reacción.

| Alka Seltzer | Tiempo (s) |
|--------------|------------|
| Vaso 1 | |
| Vaso 2 | |
| Vaso 3 | |

- ¿En cuál vaso se disolvió la tableta de Alka Seltzer más rápido?
- ¿En cuál vaso se disolvió la tableta de Alka Seltzer más lento?
- ¿Por qué la tableta de Alka Seltzer se disolvió con diferente rapidez?
- ¿Cómo afecta el aumento o disminución de la temperatura a la rapidez de una reacción, explícalo con base en la teoría de las colisiones?

Experimento No 2

Coloca tres vasos sobre la mesa y llenar cada vaso con la misma cantidad de agua a temperatura ambiente como indica la figura A2-6:

Figura A2-6. Experimento de la tableta de Alka Seltzer.



- Agrega una tableta de Alka Seltzer completa al vaso 4 y toma el tiempo en segundos en que tarda en disolverse la pastilla.
- Divide una tableta de Alka Seltzer en cuatro o cinco pedazos y agrégalos al vaso 5 y toma el tiempo en segundos en que tardan en disolverse todos los fragmentos de la pastilla.
- Pulveriza una pastilla completa de Alka Seltzer con un martillo (cuida no tirar parte de esta) y adiciónala al vaso 6 y toma el tiempo en segundos en que tarda en disolverse la pastilla molida.
- Ordena los datos en la siguiente tabla y responde las preguntas:

Tabla A2-7. Registro tiempo de reacción.

| Alka Seltzer | Tiempo (s) |
|---------------|------------|
| Vaso 4 | |
| Vaso 5 | |
| Vaso 6 | |

- ¿En cuál vaso se disolvió la tableta de Alka Seltzer más rápido?
- ¿En cuál vaso se disolvió la tableta de Alka Seltzer más lento?
- ¿Por qué la tableta de Alka Seltzer se disolvió con diferente rapidez?
- ¿Cómo afecta la superficie de contacto de los reactivos en la velocidad de una reacción, explícalo con base en la teoría de las colisiones?

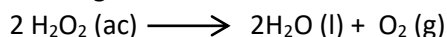
Segunda sesión actividad 5: Utilizando el pizarrón se analizó las actividades experimentales que se realizaron en la primera sesión y sesión extra clase.

Actividad de experiencia de cátedra. Se les presenta a los alumnos una gráfica de concentración de tiosulfato de sodio vs. tiempo se analiza cómo se modifica el tiempo de reacción en función de la concentración.

Actividad extra clase: Se analizó cómo la temperatura y el tamaño de partícula afectan la rapidez de una reacción.



Se realizó el experimento del genio en la botella frente a grupo. El profesor prepara dos botellas de plástico (HDPE) con la misma cantidad de peróxido de hidrógeno al 30 %, la primera botella de calienta paulatinamente en baño maría y se observa la formación de burbujas que evidencia la descomposición del peróxido de hidrógeno.



A la segunda botella se le adiciona un poco de polvo de óxido de manganeso (MnO_2), mediante este experimento se analizó el efecto que presenta un catalizador en la rapidez de reacción.

Segunda sesión actividad 6: Analogía de Reversibilidad y equilibrio en las reacciones químicas con esferas de hidrogel.

Con la finalidad de que los estudiantes aprendan los conceptos abstractos relacionados con el equilibrio químico y evitar en lo posible la generación de concepciones alternativas se adapta la analogía de canicas que desarrolló Pekmez (2010); se pretende que el alumno visualice el nivel submicroscópico del equilibrio químico y comprenda que es un equilibrio dinámico y lo diferencie del equilibrio estático de sus cursos de física. Que las rapidez de las reacciones directa e inversa son iguales en el equilibrio y las concentraciones de las especies involucradas son constantes.

Los tópicos que trata esta analogía son:

- Las rapidez de la reacción directa e inversa son iguales en el equilibrio.
- La rapidez de la reacción inversa va en aumento hasta llegar al equilibrio.
- La rapidez de la reacción directa va en decremento hasta llegar al equilibrio.
- El aspecto dinámico del equilibrio químico.
- Las reacciones directa e inversa son simultáneas.
- El concepto de reversibilidad de reacción.
- Cálculo de la constante de equilibrio y del cociente de reacción.

El uso de esta analogía trata de prevenir las siguientes concepciones alternativas:

- En el punto de equilibrio no hay reacción química.
- La reacción está en equilibrio cuando existe igual masa o concentración de reactivos y productos.
- La rapidez de la reacción directa es mayor que la rapidez de la reacción inversa en el equilibrio.

Se formaron cuatro equipos de cinco alumnos cada uno. Dos alumnos hacen el papel de reactivos y otros dos el papel de productos, el quinto alumno toma nota del tiempo y número de esferas que cambian de posición y quedan en cada vaso. La reacción hipotética en esta analogía es: $aA \longrightarrow bB$.

Reglas del juego:

Este experimento corresponde a una reacción ya iniciada.

Se tiene dos recipientes de igual tamaño con la misma cantidad de agua, el primero corresponde a la cantidad de reactivos presentes y el segundo a la formación de productos.

Al primer recipiente se le adiciona 61 esferas de hidrogel que representan las moléculas de los reactivos.

Al segundo recipiente se le adiciona 14 esferas de hidrogel que representan las moléculas de los productos.

A continuación, a cada alumno se le proporciona un vaso de igual tamaño que usarán para transportar las esferas.

Se pide al alumno que actúa como los reactivos que saque un determinado número de esferas y las coloque en el segundo recipiente. De inmediato se le pide al alumno que actúa como productos que regrese otro determinado número de esferas del segundo al primer recipiente, Se mide el tiempo

que los alumnos tardan en completar este primer ciclo de intercambio. Se realiza un total de nueve ciclos siguiendo las instrucciones de la tabla A2-8.

El número de esferas intercambiadas será equivalente a la velocidad neta de la reacción de los reactivos y productos. Los alumnos llenan la tabla de la evolución de la reacción.

Tabla A2-8. Evolución de la reacción.

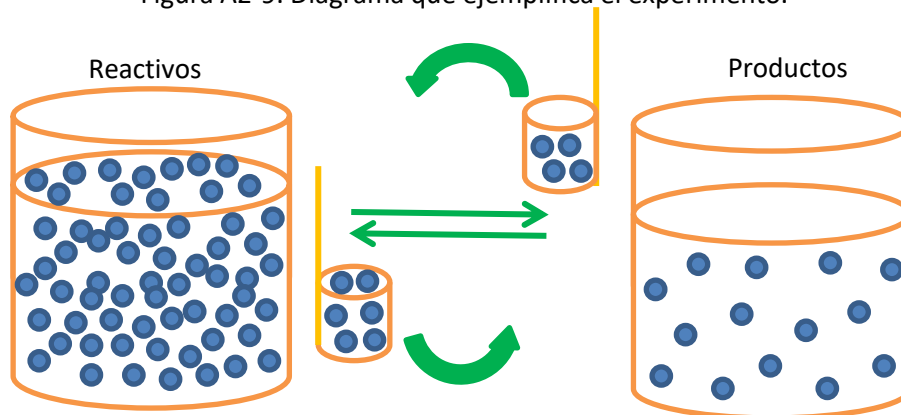
| Tiempo (minutos) | No. de esferas en el vaso de reactivos | No. de esferas en el vaso de productos | No de esferas de Reactivos a productos* | No de esferas de Productos a reactivos** | Valor de Q o Kc |
|------------------|--|--|---|--|-----------------|
| 0-1 | 61 | 14 | 23 | 5 | |
| | | | 21 | 7 | |
| | | | 19 | 9 | |
| | | | 17 | 11 | |
| | | | 16 | 13 | |
| | | | 15 | 15 | |
| | | | 15 | 15 | |
| | | | 15 | 15 | |
| | | | 15 | 15 | |

*Velocidad de la reacción directa

**Velocidad de la reacción inversa

Se pide a los alumnos que por equipo realicen las gráficas correspondientes a la evolución de la reacción y su velocidad neta e interpreten cada una de ellas.

Figura A2-9. Diagrama que ejemplifica el experimento.



Los alumnos en equipo calculan el cociente de la reacción y lo comparan con su constante de equilibrio y predicen hacia donde se favorece la reacción. Se explica hacia donde se encuentra desplazado el equilibrio en función del valor de Q y su comparación con Kc.

Para la reacción en equilibrio $aA \rightleftharpoons bB$ se calcula su cociente y constante de equilibrio.

$$Q = \frac{[B]^b}{[A]^a} \text{ y } Kc = \frac{[B]^b}{[A]^a}$$

Sí $Q < K$ la reacción tiende a formar productos. $aA \rightleftharpoons bB$.

Sí $Q > K$ la reacción tiende a formar reactivos $aA \rightleftharpoons bB$.

Sí $Q = K$ la reacción está en equilibrio.

Tercera sesión actividad 6: Mediante el uso del pizarrón se revisaron los conceptos de reversibilidad, equilibrio en las reacciones químicas y equilibrio dinámico, se emplea la analogía de alumnos entrando y saliendo del plantel. Se revisa la ley de acción de masas y la construcción de la constante de equilibrio y cociente de reacción.

Tercera sesión actividad 7: Se realiza una actividad experimental

Este experimento se puede utilizar para ilustrar el concepto de equilibrio, su aspecto dinámico, que los sistemas de equilibrio son reversibles y la influencia de la temperatura.

Materiales

Para el Baño de agua fría:

Vaso de precipitado de 500 mL

Hielo

Sal de mar

Acetona

Para el Baño de agua caliente:

Vaso de precipitado de 100 mL

Parrilla de calentamiento.

Viales con tapa de teflón de 40 mL

Pinzas para tubo de ensayo.

Espátula.

Gotero.

Ácido nítrico concentrado

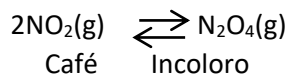
Alambre de cobre.

El profesor colocó unos pedazos pequeños de alambre de cobre en cada vial y unas gotas de ácido nítrico concentrado y cierra el vial.

Los alumnos formaron equipos de trabajo de cinco personas y a cada equipo se le entregó dos viales con la mezcla de NO_2 y N_2O_4 . Los alumnos preparan su baño de agua fría y caliente y sumergen en cada uno un vial.

1. Coloque un tubo en el baño frío. El equilibrio se desplazará hacia el N_2O_4 y el tubo perderá intensidad de color.

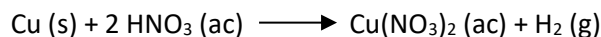
2. Coloque un tubo en el baño caliente. El equilibrio se desplazará hacia el NO_2 y la intensidad del color aumentará.



Actividad extra clase, actividad 8: Se pide a los alumnos que en equipo de cinco personas resuelvan una serie de problemas.

Serie de problemas de cinética y equilibrio químico

1. Describe dos formas con las que podrías seguir la velocidad de la siguiente reacción:



2. ¿Qué reacción será más rápida, la de cobre con ácido nítrico 4 M o la de cobre con ácido nítrico 2 M? Explica tu respuesta.

3. Plantea la expresión de la constante de equilibrio para las siguientes reacciones:

- a) $2\text{BrCl}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Br}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$
 b) $\text{AgBr}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ag}^+(\text{ac}) + \text{Br}^-(\text{ac})$
 c) $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$
 d) $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$

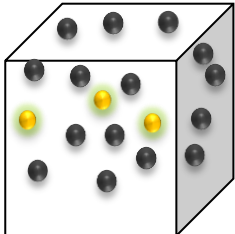
4. Calcula la constante de equilibrio de la siguiente reacción en equilibrio, donde la concentración molar de cada uno de los reactivos y productos es el siguiente: $[\text{CO}] = 0.2\text{ M}$, $[\text{H}_2\text{O}] = 0.5\text{ M}$, $[\text{H}_2] = 0.32\text{ M}$ y $[\text{CO}_2] = 0.42\text{ M}$



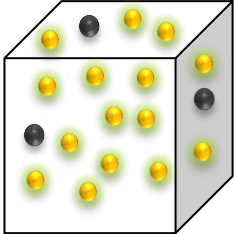
5. En cuál de los siguientes diagramas se representa el equilibrio de la reacción química cuya constante de equilibrio es $K_c = 5$:

$\text{F} \rightleftharpoons \text{J}$

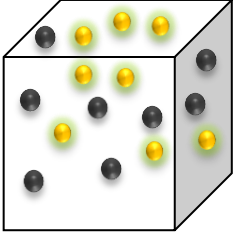
B)



B)

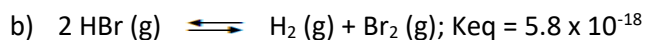


C)

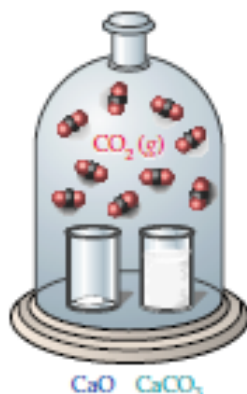


F ● esferas negras
 J ● esferas amarillas

6. ¿Cuál de las reacciones siguientes está desplazada a la derecha, en favor de la formación de productos, y cuál a la izquierda, en favor de la formación de reactivos?



7. Explica por qué el aire presente en el siguiente sistema en equilibrio no modifica la constante de equilibrio.



Nota: composición promedio del aire: nitrógeno (78%), oxígeno (21%), vapor de agua (0-7%), ozono, dióxido de carbono, hidrógeno y gases nobles como kriptón y argón; es decir, 1% de otras sustancias.

8. ¿Cómo se usa un cociente de reacción para saber si un sistema está en equilibrio?

Si $Q > K_{\text{eq}}$, ¿cómo debe llevarse a cabo la reacción para alcanzar el equilibrio?

Al comienzo de cierta reacción sólo hay reactivos; no se han formado productos. ¿Cuál es el valor de Q en este punto de la reacción?

9. Explique lo que tienen de incorrecto los enunciados siguientes:

(a) En el equilibrio ya no se transforman reactivos en productos.

(b) En el equilibrio la constante de velocidad de la reacción directa es igual a la de la reacción inversa.

(c) En el equilibrio hay cantidades iguales de reactivos y productos.

Cuarta sesión, actividad 9: Se analizan los resultados obtenidos en el experimento equilibrio $\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$. Se resuelve la guía de ejercicios en clase y las dudas de los temas revisados mediante una clase expositiva en el pizarrón.

Cuarta sesión actividad 10: Aplicación del segundo instrumento de evaluación con 18 preguntas de doble escalón, donde se evalúa los dos temas enseñados, equilibrio químico y cinética.

Anexo 4

Resultados del segundo instrumento de evaluación.

Tabla A4-1. Respuestas correctas para cada escalón.

| Pregunta | Concepto evaluado | Respuesta correcta | No. de respuestas correctas 1er escalón | No. de respuestas correctas 2do escalón | % Respuestas correctas | | Instrumento |
|----------|-------------------|--------------------|---|---|------------------------|-------------|-----------------|
| | | | | | 1er escalón | 2do escalón | |
| 1 | EQ-D | A | 18 | 16 | 94.7 | 88.9 | Inicial y final |
| 2 | Keq | B | 4 | 4 | 21.1 | 100.0 | Inicial y final |
| 3 | Keq- ΔP | C | 10 | 4 | 52.6 | 40.0 | Inicial y final |
| 4 | EQ | C | 9 | 4 | 47.4 | 44.4 | Inicial y final |
| 5 | Keq- CaVa | B | 18 | 18 | 94.7 | 100.0 | Inicial y final |
| 6 | Keq-CaVa | C | 17 | 15 | 89.5 | 88.2 | Inicial y final |
| 7 | Keq-RER | A | 8 | 4 | 42.1 | 50.0 | Inicial y final |
| 8 | Keq-Conc | C | 5 | 4 | 26.3 | 80.0 | Inicial y final |
| 9 | Keq-CdeE | C | 4 | 3 | 21.1 | 75.0 | Final |
| 10 | EQ-D | C | 10 | 3 | 52.6 | 30.0 | Final |
| 11 | EQ-D | A | 3 | 0 | 15.8 | 0.0 | Final |
| 12 | EQ | B | 2 | 0 | 10.5 | 0.0 | Final |
| 13 | EQ | B | 16 | 8 | 84.2 | 50.0 | Final |
| 14 | PLC-AdPr | C | 5 | 1 | 26.3 | 20.0 | Final |
| 15 | EQ | C | 8 | 7 | 42.1 | 87.5 | Final |
| 16 | EQ-VR | B | 16 | 16 | 84.2 | 100.0 | Final |

EQ= Equilibrio químico
 PLC= Principio de Le Chatelier
 AdPr= Adición de producto
 EQ-D= Equilibrio químico dinámico
 VR= velocidad de reacción
 ΔP = Variación de presión
 CaVa= Cálculo de su valor
 RER= Rendimiento de reacción
 Keq = Constante de equilibrio
 CdeE= Condiciones de equilibrio
 Conc = Concentración

Tabla A4-2. Respuestas de los alumnos

| Pregunta | Concepto evaluado | Respuesta por alumno | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-------------------|----------------------|------|---|---|---|---|------|------|---|----|------|----|------|------|----|------|----|------|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 1 | EQ-D | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | B | A | A | A | A | A | A |
| 2 | Keq | A | A | B | B | A | A | B | A | A | C | A | C | A | B | A | A | A | C | A |
| 3 | Keq-ΔP | C | C | C | C | B | C | B | C | A | A | B | B | C | B | B | C | C | C | A |
| 4 | EQ | B | NADA | C | C | C | B | C | NADA | B | B | C | B | B | C | C | C | B | C | A |
| 5 | Keq- CaVa | B | B | B | A | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B |
| 6 | Keq-CV | C | B | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | B | C |
| 7 | Keq-RER | C | B | B | B | B | A | A | B | A | B | NADA | A | NADA | A | A | NADA | A | A | C |
| 8 | Keq-Conc | C | C | B | A | B | B | C | C | C | B | NADA | B | B | A | A | NADA | B | B | B |
| 9 | Keq-CdeE | A | NADA | B | C | A | A | C | A | C | A | NADA | A | C | NADA | A | NADA | A | NADA | A |
| 10 | EQ-D | C | C | A | B | B | C | C | C | B | B | C | B | B | C | C | C | B | C | B |
| 11 | EQ-D | A | NADA | A | B | B | B | NADA | B | A | B | B | B | B | B | C | B | B | B | B |
| 12 | EQ | C | C | C | B | C | C | C | C | C | C | B | C | C | C | C | C | C | C | C |
| 13 | EQ | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | A | B | B | B | A | A | B |
| 14 | PLC-AdP | B | A | B | B | C | A | C | C | B | C | A | A | B | B | B | C | B | A | B |
| 15 | EQ | A | C | A | B | C | C | C | C | A | A | A | A | A | C | A | A | C | A | C |
| 16 | EQ-VR | B | B | B | C | B | B | B | B | B | B | A | C | B | B | B | B | B | B | B |

Tabla A4-3. Evaluación de la construcción de los conceptos del equilibrio químico.

| Pregunta Concepto | | Respuesta por alumno | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------|----------------------|------|------|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|------|-----|------|-----|------|-----|-----|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | | |
| 1 | EQ-D | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | B | A | A | A | A | A | A | | |
| | | Cn | Cn | Cn | Cp | Cp | Cn | Cn | Cn | Cn | Cn | Cn | Cp | | Cp | Cn | R | Cp | R | Cn | | |
| | | C | C | A | B | B | C | C | C | B | B | C | B | B | C | C | C | B | C | B | | |
| 10 | | R | R | | | | Cn | R | Cp | | | | | | R | R | R | | R | | | |
| | | A | NADA | A | B | B | B | NADA | B | A | B | B | B | B | B | C | B | B | B | B | | |
| 11 | | | | R | | | | | R | | | | | | | | | | | | | |
| | | Núm. resp. correctas | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 2/3 | 1/3 | 2/3 | 1/3 | 1/3 | 2/3 | 1/3 | 0/3 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 0/3 | 1/3 | |
| Construcción del concepto | | S | S | S | S | S | B | S | B | S | S | B | S | I | S | S | S | S | I | S | | |
| 4 | | EQ | B | NADA | C | C | C | B | C | NADA | B | B | C | B | B | C | C | C | B | C | A | |
| | | | | | R | R | Cn | | Cp | | | | | R | | | R | Cn | Cn | | R | |
| 12 | | | C | C | C | B | C | C | C | C | C | C | B | C | C | C | C | C | C | C | C | C |
| | | | | | | | | | | | | | R | | | | | | | | | |
| 13 | | | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | A | B | B | B | A | A | B | |
| | | | Cp | R | R | R | Cp | Cn | Cp | Cp | R | Cn | R | Cn | | | R | R | | | Cp | |
| 15 | | | A | C | A | B | C | C | C | C | A | A | A | A | A | C | A | A | C | A | C | |
| | | | | Cp | | | Cn | Cn | Cn | Cp | | | | | | | | | Cp | | Cp | |
| 16 | | | B | B | B | C | B | B | B | B | B | B | A | C | B | B | B | B | B | B | B | |
| | | | Cn | Cp | Cn | | Cp | Cp | Cp | Cp | Cp | Cp | | | Cn | Cp | Cp | Cp | Cp | Cp | Cp | |
| Núm. resp. correctas | | | 2/5 | 2/5 | 1/5 | 0/5 | 4/5 | 3/5 | 4/5 | 3/5 | 1/5 | 2/5 | 0/5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 2/5 | 2/5 | 2/5 | 1/5 | 3/5 | |
| Construcción del concepto | | | B | B | S | I | MB | B | MB | B | S | B | I | S | S | S | B | B | B | S | B | |
| 2 | Keq | | A | A | B | B | A | A | B | A | A | C | A | C | A | B | A | A | A | C | A | |
| | | | | | Cn | Cn | | | Cp | | | | | | | | Cn | | | | | |
| 3 | | | C | C | C | C | B | C | B | C | A | A | B | B | C | B | B | C | C | C | A | |
| | | | Cp | Cn | Cn | R | | R | | Cp | | | | | R | | | R | R | R | | |
| 5 | | | B | B | B | A | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | |
| | | | Cp | Cp | Cn | | Cp | Cp | Cp | Cp | Cp | R | Cp | Cp | Cp | Cp | Cp | Cp | Cp | Cp | Cp | |
| 6 | | | C | B | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | B | C | |
| | | Cp | | R | Cn | Cp | Cp | Cp | Cp | Cp | R | Cp | Cp | Cp | Cp | Cp | Cn | Cp | | Cn | | |
| 7 | | C | B | B | B | B | A | A | B | A | B | NADA | A | NADA | A | A | NADA | A | A | C | | |
| | | | | | | | R | Cp | | R | | | | Cn | | R | R | | Cn | Cn | | |
| 8 | | C | C | B | A | B | B | C | C | C | B | NADA | B | B | A | A | NADA | B | B | B | | |
| | | Cp | R | | | | | Cp | Cp | Cp | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | A | NADA | B | C | A | A | C | A | C | A | NADA | A | C | NADA | A | NADA | A | NADA | A | | |
| | | | | | R | Cn | | Cn | | Cp | | | | Cp | | | | | | | | |
| Núm. resp. correctas | | 4/7 | 2/7 | 3/7 | 2/7 | 3/7 | 2/7 | 6/7 | 4/7 | 4/7 | 1/7 | 1/7 | 3/7 | 3/7 | 3/7 | 2/7 | 2/7 | 3/7 | 2/7 | 2/7 | | |
| Construcción del concepto | | B | S | B | S | B | S | MB | B | B | I | I | B | B | B | S | S | B | S | S | | |
| 14 | | PLC | B | A | B | B | C | A | C | C | B | C | A | A | B | B | B | C | B | A | B | |
| | | | | | | | Cn | | R | R | | R | | | | | | | | | | |
| Construcción del concepto | | I | I | I | I | I | I | I | I | I | I | I | I | I | I | I | I | I | I | I | | |

Cn= Conoce Cp= Comprende R= recuerda I= Insuficiente S= Suficiente B= Bueno MB= Muy bueno

Tabla A4-4. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

1. ¿Cuál de los siguientes es un equilibrio dinámico?

A) Coches cruzando un puente, en ambos sentidos.

B) Agua saliendo de una llave.

C) Esquiador bajando de la montaña.



Código de colores Respuesta correcta para el segundo escalón

Analogía para explicar el aspecto dinámico del equilibrio químico a nivel nanoscópico.

Argumento correcto: En un estado dinámico, las concentraciones de reactivos y producto permanecen constantes. Hay dos procesos en sentido contrario porque existe una interconversión constante de reactivos en productos y de productos en reactivos, es decir se llevan a cabo simultáneamente la reacción directa e inversa a la misma velocidad.

Concepción alternativa relacionada: Consideran al equilibrio como estático.

Conclusión: Es una pregunta muy sencilla, debemos redactarla mejor ya que puede identificar las concepciones alternativas relacionadas con el concepto estático y de péndulo asociados a reacción reversible. Pregunta seleccionada para desarrollar el segundo escalón de opción múltiple.

| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta | El alumno | Comentarios |
|-----------|-----------|---|-----------|--|
| 1 | A | Los coches cruzando un puente en ambos sentidos ya que, algunos coches corren en un sentido, y otros coches corren hacia el sentido contrario. | Conoce | Identifican un movimiento de las moléculas, pero no mencionan la interconversión de reactivos a productos y viceversa. Presenta idea de igualdad en la rapidez. Intercambio constante de un lado a otro. Interacción constante entre reactivos y productos, pasan de un lado a otro. Movimiento en distintos sentidos. |
| 2 | A | Un auto esta de un lado del puente que va hacia la derecha y otros dos tienen otra dirección esto le da un balance. | Conoce | |
| 3 | A | Hay un constante movimiento en los autos de ida y vuelta lo que representaría el equilibrio que existe entre la cinética molecular de que las moléculas se mueven de un lado a otro en diferentes sentidos. | Conoce | |
| 4 | A | El equilibrio dinámico se emplea entre reactivos que generan productos, pero a su vez dichos productos pueden volver a ser reactivos. Los coches van y vienen como los productos y reactivos. | Comprende | |
| 5 | A | Porque los coches irán pasando a lo largo del puente de una a otra dirección, siempre van a pasar como en una reacción química de reactivos a productos y viceversa, en este caso es similar solo que con automóviles. | Comprende | |
| 6 | A | Porque se están moviendo de un lugar a otro constantemente. | Conoce | |
| 7 | A | Porque están yendo en direcciones contrarias constantemente. | Conoce | |
| 8 | A | Suponiendo que la misma cantidad de coches este cruzando el puente a la misma velocidad, se puede decir que es un equilibrio dinámico ya que la misma cantidad de coches cruzan el puente. "Por uno que sale uno entra". | Conoce | |
| 9 | A | Esto se debe a que los autos van en ambos sentidos, por lo tanto, hay un equilibrio. | Conoce | |
| 10 | A | Porque existe un intercambio constante de un lado a otro. | Conoce | |
| 11 | A | Ya que un equilibrio consiste en que ambos lados hay un flujo constante con lo cual pasan los mismos autos de un lado que del otro. | Conoce | |
| 12 | A | En el equilibrio dinámico hay una interacción constante de reactivos y productos, los cuales pasarán de un lado a otro. | Comprende | |
| 13 | B | Pues la velocidad y presión con la que sale el agua puede ser controlada con una llave, permitiendo así el flujo de agua. | | |
| 14 | A | Porque como en el ejemplo de la proyección un equilibrio dinámico se mueven todas las partículas en distintos sentidos. | Comprende | |
| 15 | A | Pues como nos dio un ejemplo en la clase cuando dijo de los de los alumnos que si todos los alumnos entran puntuales no se podrían desarrollar bien porque todos se amontonarían he hicieron los mismo todos, así es en los automóviles si todos fueran en una misma dirección el tráfico sería horrible, por lo tanto, hay un equilibrio si unos van y otros vienen. | Conoce | |
| 16 | A | Hay un equilibrio en ambas partes del puente. | Recuerda | |
| 17 | A | Un equilibrio dinámico es cuando un reactivo pasa a un producto y reversiblemente un producto a un reactivo. En este caso los coches vienen y van. | Comprende | |
| 18 | A | Hay equilibrio de ambas partes. | Recuerda | |
| 19 | A | Al ir en ambas direcciones se observa que en ambos lados del puente habrá cierta cantidad de coches que cambiará constantemente en ambos lados. Si solo fueran en un sentido un lado del puente solo el lado donde se dirigen aumentara de coches mientras que en el otro solo disminuirá su cantidad y esto no es un equilibrio. | Conoce | |

Tabla A4-5. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

2. ¿Qué factores alteran el valor de la constante de equilibrio?

Código de colores **Respuesta correcta para el segundo escalón**

A) Un cambio de concentración de los reactivos y/o productos.

B) Un cambio de temperatura del sistema.

C) Un cambio de volumen y/o presión en el sistema.

Argumento correcto: El valor de K para una reacción dada permanece constante, siempre y cuando la reacción esté en equilibrio y la temperatura no cambie.
El valor de Kc solo depende de la reacción específica y de la temperatura.

Concepción alternativa relacionada: El valor de Kc depende de las concentraciones de reactivos y productos. No identifican que las concentraciones se mantienen constantes cuando no hay un cambio de temperatura.

Conclusión Los alumnos no tienen claro que Kc solo depende de la temperatura, es necesario diseñar un segundo escalón para tener claro cuál es la concepción alternativa que presentan los alumnos.

| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta: | El alumno | Comentarios |
|-----------|-----------|---|-----------|---|
| 1 | A | Porque al aumentar el número de reactivos y/o productos hace que la reacción se desequilibre, mientras si hay cambio de temperatura o presión solo afecta a la velocidad de la reacción. | | La rapidez de la reacción depende de la temperatura o la presión y la Kc depende de la cantidad de reactivos y productos. |
| 2 | A | La constante de equilibrio sale de la división de las masas molares, si la concentración cambiara también cambiaría la constante de equilibrio. | | |
| 3 | B | En el equilibrio químico el aumento o disminución de temperatura es una variable la cual influye en la constante de equilibrio químico, ya que las partículas se mueven más rápido. | Conoce | |
| 4 | B | Todo el sistema depende siempre de la temperatura ya que el aumento o disminución de esta hace que la reacción sea más rápida o lenta según sea el caso. | Conoce | La Kc depende del cociente de las masa molares, un cambio en la concentración también cambiará el valor de Kc. |
| 5 | A | Al aumentar o disminuir la concentración de los reactivos y/o productos se modifica la constante de equilibrio dado que la ecuación para calcularla es la siguiente, por lo que la opción a) es la respuesta debido a que los demás incisos nos hablan de la alteración, pero de la velocidad de la reacción. $K_{eq} = \frac{[C] \cdot [D]^4}{[A] \cdot [B]^2}$ | | |
| 6 | A | Creo que es la "A" al cambiar la temperatura, se altera el equilibrio, aunque también ocurriría si se cambia la presión. Sin embargo, si hay un cambio en los productos o reactivos ya no habría constante de equilibrio (concentración-tiempo). | | Sinonimia entre masa molar y concentración. |
| 7 | B | A mayor temperatura aumenta la posibilidad de que las moléculas choquen favoreciendo a la formación de reactivos y productos | Comprende | |
| 8 | A | Si la ecuación de la constante está dada por: $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ las concentraciones alterarían la constante ya sea en el cambio de los reactivos y/o productos. | | El movimiento de partículas se relaciona con la variación de temperatura. |
| 9 | A | Porque al agregar o quitar concentraciones, la constante cambiará (aumentando o disminuyendo). | | |
| 10 | C | Porque la concentración y el cambio de temperatura solo hacen que sea más rápido o lento el proceso, pero nunca afectan el equilibrio. | | Kc cambia debido a la rapidez de la reacción, la cual depende de la temperatura. |
| 11 | A | Ya que difieren los distintos tiempos en que logra quedarse a cabo en equilibrio, ya que depende de la cantidad de concentración cambiará la constante de equilibrio. | | |
| 12 | C | Como en el experimento del Alka Seltzer, afecto el tiempo de disolución al haber una presión en el envase, este efecto el valor. | | El valor de Kc depende de la concentración de reactivos y/o productos. |
| 13 | A | Va a depender la molaridad de cada reactivo y de cada producto para que afecte el valor de la constante de equilibrio presente en la reacción. | | |
| 14 | B | Porque las partículas involucradas cambian la velocidad. | Conoce | |
| 15 | A | activos aumentan alteran la producción de los productos, así equitativamente si los productos aumentan los reactivos disminuyen, por lo tanto, el equilibrio entre reactivos y productos ¿? la constante de equilibrio (Keq). | | |
| 16 | A | Al alterar (Aumentar/Disminuir) la cantidad de alguna sustancia, la reacción será diferente y esto influirá en la constante de equilibrio. | | |
| 17 | A | La constante de equilibrio va a cambiar si hay un cambio de concentración ya que va a modificar la velocidad de esta y por lo tanto va a cambiar | | |
| 18 | C | Aumentaría o disminuiría la velocidad. | | |
| 19 | A | Cuando se modifica la concentración de reactivos y productos se puede observar que esta presentará una reacción más rápida o más lenta depende de la concentración. Ocasionando que el tiempo en que tarda en llegar al equilibrio también varíe. | | |

Tabla A4-6. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

3. Para el siguiente sistema en equilibrio: $2\text{HI (g)} \rightleftharpoons \text{H}_2 \text{(g)} + \text{I}_2 \text{(g)}$
 si se disminuye la presión a la mitad, a temperatura constante, ¿qué sucede con la constante de equilibrio?

Código de colores: **Respuesta correcta para el segundo escalón**

- A) Aumenta, aunque el volumen aumente.
 B) Disminuye, aunque el volumen aumente.

C) No cambia, aunque el volumen aumente.

Argumento correcto: En la reacción, el número de moléculas de los productos gaseosos (dos) es igual al número de moléculas de los reactivos gaseosos; por consiguiente, cambiar la presión no modifica la posición de equilibrio.

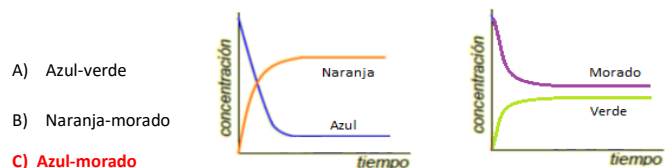
Concepción alternativa relacionada: Aplicación de Le Chatelier a situaciones que conducen a predicciones incorrectas. Cuando se fija la temperatura y se reduce el volumen, el equilibrio se desplazará en la dirección del número de moles más pequeño, y el valor de K se reducirá.

Conclusión: Debido a que se hace necesario un gran nivel de abstracción para comprender el equilibrio y las perturbaciones que puede tener este reactivo no es viable para diseñar un segundo escalón de opción múltiple. Para que los alumnos respondan adecuadamente a esta pregunta se necesita analizar diferentes sistemas en clase, por lo que, se hace necesario disponer de más tiempo para la enseñanza de las perturbaciones del equilibrio.

| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta: | El alumno | Comentarios |
|-----------|-----------|--|-----------|---|
| 1 | C | No cambia ya que las cantidades de moléculas serán las mismas pero la velocidad va a variar y el volumen aumentará. | Comprende | Sinonimia entre cantidad y concentración. |
| 2 | C | No cambia, pero la presión afecta el volumen. | Conoce | |
| 3 | C | El factor de presión solo propicia que tanto existe de volumen para que haya una cinética sea de mayor o menor rapidez en la reacción por tanto las moléculas con menor presión tienden a moverse más lentamente. | Conoce | Al disminuir la presión aumenta la rapidez de reacción. |
| 4 | C | La constante de equilibrio nunca va a cambiar ya que es un valor previamente determinado. | Recuerda | |
| 5 | B | No cambia, pero el volumen aumenta, esto es en el caso de la constante de equilibrio, porque en la velocidad de la reacción sería distinto, si se disminuye la presión la reacción irá más rápido. | | La rapidez de reacción disminuye al igual que la temperatura. |
| 6 | C | Era como en el ejemplo que se puso en clase, al disminuir la temperatura los reactivos y productos disminuirían de "rapidez ". En este caso, la temperatura es constante. | Recuerda | |
| 7 | B | Si la presión disminuye el equilibrio se irá hacia los productos y si hay más productos la constante disminuye. | | No reconocen la influencia de la variación de la presión o el volumen en los sistemas gaseosos. |
| 8 | C | No cambia ya que la presión no afecta la constante, pero si afecta el volumen ya que el espacio que ocupan las moléculas aumenta. | Comprende | |
| 9 | A | Ya que permitirá que libere gas y sea mayor la constante. | | Disminuir la presión desplaza el equilibrio hacia productos. |
| 10 | A | Porque recordando el experimento del Alka Seltzer disminuimos la presión en el frasco y esto permitió que la reacción fuera más rápida y el volumen aumentara. | | |
| 11 | B | Entre menos espacio tenga, las moléculas reaccionarán más rápido que en un espacio más amplio, ya que tienen menos espacio para recorrer, por lo que aumenta su velocidad para llegar a una constante de equilibrio. | | El valor de la constante de equilibrio depende de la rapidez de reacción. |
| 12 | B | Porque esta puede continuar constante en lo que se refiere a su velocidad, y el volumen aumenta porque sigue la concentración de reactivos y productos. | | |
| 13 | C | Se pudo observar con el vial, donde la concentración de reactivo no cambia, pero como no existe una liberación de gas, el volumen del vial aumenta, provocando que tarde en degradarse la pastilla. | Recuerda | |
| 14 | B | Porque cuando se ejerce una presión de igual forma las moléculas se mueven más rápido, en este caso la presión disminuye y por eso el equilibrio disminuye. | | |
| 15 | B | Sin argumento. | | |
| 16 | C | Nos están diciendo que a temperatura constante por lo tanto no creo que cambie y el volumen aumenta porque al dejar de estar compacto (presión) se dilató. | Recuerda | |
| 17 | C | Cambiando la presión pienso que esta no va a tener ningún cambio y se va a mantener igual, aunque el volumen aumente. | Recuerda | |
| 18 | C | El volumen aumenta porque se disminuye la presión. | Recuerda | |
| 19 | A | Al disminuir la presión se puede observar un incremento en la actividad de las moléculas la cual nos lleva a que el equilibrio se presente más rápido. | | |

Tabla A4-7. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

4. En las siguientes gráficas que representan dos equilibrios químicos independientes, ¿qué línea representa el cambio de concentración en los reactivos?



A) Azul-verde

B) Naranja-morado

C) Azul-morado

Código de colores: Respuesta correcta para el segundo escalón

Argumento correcto: La concentración de reactivos va disminuyendo conforme avanza la reacción y se mantiene constante cuando se alcanza el equilibrio.

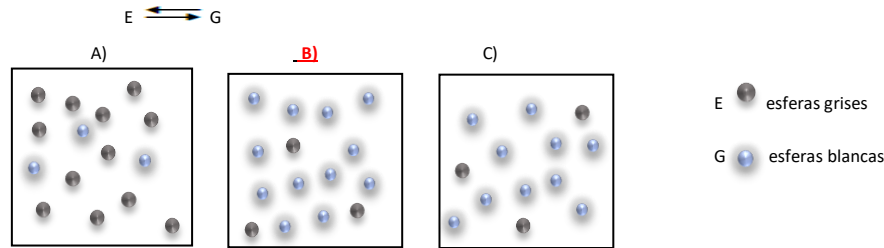
Concepción alternativa relacionada: La reacción continua hasta que se agotan todos los reactivos, por lo que la reacción se termina.

Conclusión: Para los alumnos es difícil interpretar las gráficas de avance de la reacción e identificar que cada una pertenece a reacciones diferentes, relacionan un cambio de concentración de reactivos con un cambio en el equilibrio, no visualizan en qué momento se establece el equilibrio. Si se desarrolla el segundo escalón con opción múltiple, con este reactivo puede identificar las concepciones alternativas de este tema. Pregunta seleccionada para desarrollar el segundo escalón de opción múltiple.

| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta: | El alumno | Comentarios |
|-----------|-----------|---|-----------|--|
| 1 | B | Los reactivos se colocan en la parte superior porque su cambio depende de los productos. | | Confusión entre concentración inicial y final de los reactivos. Dificultad para interpretar gráficas. Confunden la concentración inicial de reactivos con su formación. Confusión entre variación de la concentración y el tiempo de una reacción. Confusión entre rapidez de reacción y cambio de concentración. Un cambio en la cantidad de reactivos modifica el equilibrio. No identifican que cada gráfica corresponde a dos reacciones diferentes. |
| 2 | NADA | Sin argumento. | | |
| 3 | C | La concentración se encuentra aumentando (azul) por tanto el tiempo (morado) aumento constantemente. | Recuerda | |
| 4 | C | Son esos dos colores porque ahí se observa como los reactivos suben (se forman) o bajan (se destruyen) entrando ya en la reacción. | Recuerda | |
| 5 | C | Al inicio se tiene una concentración, pero conforme pasa el tiempo los reactivos se mantienen un tanto "constantes" en la segunda gráfica hay un cambio en la representación dándonos una curva más hacia arriba. | Conoce | |
| 6 | B | Al tener mayor concentración, el tiempo disminuye. | | |
| 7 | C | Las concentraciones de los reactivos disminuyen a lo largo de la reacción y las gráficas azul-morado se ven que disminuyen conforme pasa el tiempo. | Comprende | |
| 8 | NADA | Sin argumento. | | |
| 9 | B | Porque una aumenta y otra disminuye, por lo tanto, indica mayor y menor concentración. | | |
| 10 | B | Porque son las que se puede notar que comienzan a partir de la línea de concentración, mientras que la verde y azul comienzan del tiempo. | | |
| 11 | C | En vez de ir creciendo estos van bajando su velocidad de acuerdo a las \neq concentraciones. | Recuerda | |
| 12 | B | Porque se muestra como aumenta o disminuye según sea el caso. | | |
| 13 | B | Aumentando la concentración en los reactivos, por ende, habrá una disminución del tiempo. | | |
| 14 | C | Porque se modifica la concentración de la sustancia y así pues la cantidad de reactivos se modifica y por tanto el equilibrio. | Recuerda | |
| 15 | C | Mientras menos concentración los productos aumentan en la segunda gráfica (morado cuando hay un equilibrio de reactivos o productos). | Conoce | |
| 16 | C | Siendo el eje y el que representa la concentración la línea azul y morada representan el cambio. | Conoce | |
| 17 | B | Porque una va en aumento y tiene como significado el que aumenta la concentración y el otro va en disminución ocasionando que haya menos reactivos. | | |
| 18 | C | Aumenta o disminuye la concentración por lo tanto hay un cambio. | Recuerda | |
| 19 | A | La concentración de la línea azul disminuye conforme pasa el tiempo mientras que la línea verde aumenta su concentración. | | |

Tabla A4-8. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

5. ¿En cuál de los siguientes diagramas se representa el equilibrio de la reacción química cuya constante de equilibrio es $K_c = 4$?:



Código de colores: Respuesta correcta para el segundo escalón

Argumento correcto: La ecuación para calcular la constante de equilibrio es $K_c = [G]/[E]$, la relación entre esferas blancas y grises es 4:1.

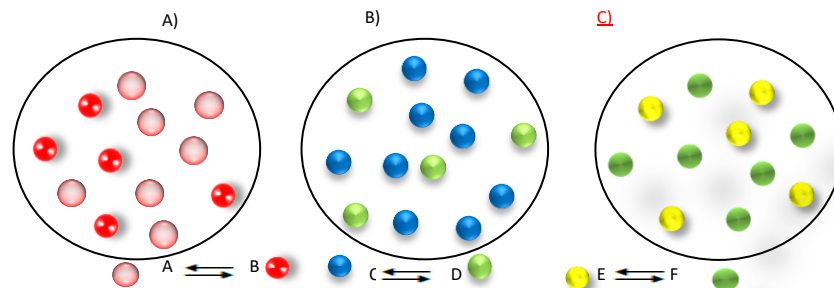
Concepción alternativa relacionada: Incapacidad en el manejo de la proporcionalidad.

Conclusión: Esta pregunta solo relaciona el cociente entre productos y reactivos, los alumnos conocen la ecuación para calcular K_c . No representa un alto grado de dificultad, solo aplica una fórmula matemática.

| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta: | El alumno | Comentarios |
|-----------|-----------|---|-----------|--|
| 1 | B | $E \rightleftharpoons G$ reactivos (3) productos (12) $K_c = G/E = 12/3 = 4$ | Comprende | Los alumnos aplican la fórmula para calcular el valor de la constante. Comprenden que existe una relación entre concentración de productos entre reactivos al equilibrio. No identifican cuando se establece el equilibrio. En la representación nanoscópica no identifican a reactivos y productos correctamente. |
| 2 | B | Deduciendo $12/3=4$ esta es nuestra $K_c=4$. | Comprende | |
| 3 | B | Los reactivos (esferas grises) son un cociente que si lo dividimos con los productos (esferas blancas) nos dará una constante de equilibrio | Conoce | |
| 4 | A | $K_{eq} = \frac{[D]^d [C]^c}{[B]^b [A]^a}$ (para A) = $12/3=4$ (para B) = $Keq=3/12=1/4$ (para C) $Keq=3/10$ | | |
| 5 | B | (A) $Keq=3/11$ (B) $Keq=12/3$ (C) $Keq=10/3$. El único diagrama que nos muestra la constante de equilibrio es el inciso B), porque en esferas grises tiene 3 (reactivos) y en esferas blancas tiene 12 (productos) por lo que al hacer los cálculos tenemos: $Keq = [Esferas blancas]/[Esferas grises]=12/3=4$. | Comprende | |
| 6 | B | $3/12=0.25$ $12/3=4$ $10/3=3.33$ | Comprende | |
| 7 | B | Si K_c es mayor a uno habrá más productos y, en el diagrama B hay 4 veces más producto que reactivos $K_c = [G]^1/[E]^3 = 4$. | Comprende | |
| 8 | B | Aquí la función es $K_c = G/E$ por lo tanto como existen 12 esferas de G y 3 esferas de E $K_c = 12/3 = 4$. | Comprende | |
| 9 | B | $Keq = G/E$ $Keq = 12/3$ $Keq = 4$ Porque por cada esfera gris habrá 4 esferas amarillas. | Comprende | |
| 10 | B | (para A) = $12/3$ (para B) = $Keq=12/3$ (para C) $Keq=10/3$ La B porque lo que yo entendí K_c es cuando aún no termina de darse bien el intercambio, entonces en la B se nota que el cambio no se ha terminado de dar, en la que se nota que ya en la C aun no pero su constante es 4 ya que sería $K_c=10/3$. | Recuerda | |
| 11 | B | Hay la misma cantidad en grupos, o sea 4 esferas blancas por cada esfera gris, por lo que esta constante de acuerdo a su volumen y presión que ejerce cada una. | Comprende | |
| 12 | B | Al hacer la operación de productos/reactivos nos da K_c para tener un equilibrio. | Comprende | |
| 13 | B | Pues cuando la constante de equilibrio [K_c] es mayor a 1, habrá más productos que reactivos. | Comprende | |
| 14 | B | $12/3=4$ Esto es porque para sacar la constante se divide $G/E=K_c$ y así salió que $K_c=4$. | Comprende | |
| 15 | B | $Keq = G/E$, A) $3/12=0.25$ es errónea. B) $12/3=4$ es correcto, c) $10/3=3.3$ es erróneo. | Comprende | |
| 16 | B | Por una bolita gris hay 4 blancas así que todo en equilibrio. | Comprende | |
| 17 | B | 12 esferas blancas entre tres esferas grises nos dan como resultado 4, el cual es nuestra constante de equilibrio $P/R=K_c$. | Comprende | |
| 18 | B | Hay un equilibrio por cada esfera gris hay 4 esferas blancas. | Comprende | |
| 19 | B | Tomando en cuenta que $E=K_c$ y G (4) podemos deducir que por cada 1E tenemos 4G en este caso la imagen B nos muestra 3 E y 12 G que es equivalente a 1 E y 4 G entonces vemos que se cumple el equilibrio. | Comprende | |

Tabla A4-9. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

6. Los siguientes diagramas representan tres reacciones químicas diferentes en equilibrio, ¿cuál de ellas tiene la constante de equilibrio con mayor valor?



Código de colores: Respuesta correcta para el segundo escalón

Argumento correcto: La reacción $E \rightleftharpoons F$ presenta el valor más alto de constante de equilibrio por tener mayor concentración de productos. El equilibrio se encuentra desplazado hacia productos.

Concepción alternativa relacionada: Incapacidad en el manejo de la proporcionalidad.

Conclusión: Esta pregunta solo relaciona el cociente entre productos y reactivos, los alumnos conocen la ecuación para calcular K_c . No representa un alto grado de dificultad, solo aplica una fórmula matemática.

| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta: | El alumno | Comentarios |
|-----------|-----------|--|-----------|---|
| 1 | C | Calcula la constante de equilibrio de las tres reacciones $K_{eq}=P/R$. | Comprende | Confusión en la representación nanoscópica entre reactivos y productos. Igualdad de concentraciones entre reactivos y productos en el equilibrio. Se establece el equilibrio cuando el valor de K_c es igual o mayor a 1. |
| 2 | B | La b porque la división con el resultado más grande es la b (hace las divisiones entre R/P). | | |
| 3 | C | Se encuentran reactivos y productos iguales en concentración por tanto el coeficiente es constante. | Recuerda | |
| 4 | C | (para A) = $5/7=0.7$ (para B) = $K_{eq}=4/9=0.44$ (para C) $K_{eq}=6/5=1.2$ Es esta porque ya llegó a un equilibrio y lo sigue manteniendo. $K_{eq} = \frac{[D]^4 [C]^4}{[E]^6 [F]^4}$ | Conoce | |
| 5 | C | En el inciso a) la constante de equilibrio es $K_{eq}=5/7=0.7$ en el inciso B) es de $K_{eq}=4/9=0.44$ y en el inciso C) de $K_{eq}=6/5=1.2$ Por lo que la constante de equilibrio con mayor valor es la indicada en el inciso C). | Comprende | |
| 6 | C | $5/7=0.7$ $4/9=0.44$ $6/5=1.2$ | Comprende | |
| 7 | C | Las concentraciones de productos son mayores a la de los reactivos $K_{eq} > 1 = +$ productos. | Comprende | |
| 8 | C | (A) $K_c=5/7=$ (B) $K_c= 4/9$ (C) $K_c=6/4$ La C ya que (como se vio anteriormente) la K_c está dada por $K_c=F/E$ donde hay 6 esferas de F y 4 de E por lo tanto en comparación con los otros dos resultados que son $A=5/7$ y $B= 4/9$ la C es de 1.5 | Comprende | |
| 9 | C | $K_{eq}= F/E$ $K_{eq}= 6/5$ $K_{eq}=1.2$ Porque por cada esfera E habrá 1.2 esferas F. | Comprende | |
| 10 | C | Porque es la más aproximada a uno al hacer la división a) = $5/7=0.7$ b) = $K_{eq}=4/9=0.44$ c) $K_{eq}=5/6=0.83$ | Comprende | |
| 11 | C | Reaccionan al mismo tiempo, sin dejar de lado la velocidad constante, que existe del lado de los productos a los reactivos y de los reactivos a los productos, dejándolos casi intactos y constantes en forma a su producto. | Recuerda | |
| 12 | C | Porque se realiza la misma operación de dividir la cantidad de productos entre reactivos para obtener K_c . $5/7=0.71$ $4/9=0.44$ $6/5=1.2$ | Comprende | |
| 13 | C | El número de productos en el inciso C) es mayor, por lo cual como se explicó en la respuesta pasada, cuando hay más productos que reactivo K_c será mayor a uno por lo cual hay más bolas F que bolas E.. | Comprende | |
| 14 | C | $5/7$ $4/9$ $6/5$ De la misma forma al sacar la K_c : la ecuación que más se acerca a 1 fue la "c". | Comprende | |
| 15 | C | $K_{eq}= B/A$ $K_{eq}= 5/7= 0.71$ $K_{eq}= D/C$ $K_{eq}= 4/9= 0.444$ $K_{eq}= F/E$ $K_{eq}= 6/5 = 1.02$ El inciso C es el que tiene mayor constante de equilibrio. | Comprende | |
| 16 | C | Creo que porque hay más bolitas "F". | Conoce | |
| 17 | C | Seleccioné la letra c ya que haciendo la operación de dividir productos entre reactivos nos proporciona nuestra constante de equilibrio en este caso fue de $6/5= 1.2$ dando el resultado de esta la mayor que las otras. | Comprende | |
| 18 | B | Hay mayor equilibrio que en las otras dos. | | |
| 19 | C | Hay una constante más equitativa entre el número de partículas E Y F la diferencia entre su número es mínima a comparación de las otras dos. | Conoce | |

Tabla A4-10. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

7. Se tiene un sistema en equilibrio a 1000 °C, las concentraciones de las especies presentes son 0.34 M de SO₂, 0.17 M de O₂ y 0.06 M de SO₃, si el valor de K_c = 0.18, ¿cómo es el rendimiento de la reacción?



Código de colores: Respuesta correcta para el segundo escalón

A) Bajo, rendimiento menor al 20 %.

B) Alto, rendimiento del 100 %.

C) Intermedio, rendimiento del 50 %.

Argumento correcto: Cuando el rendimiento de una reacción es bajo significa que se tiene menor concentración de productos que de reactivos, por lo tanto, el equilibrio este desplazado a la derecha y el valor de K_c es menor a uno.

El aumento de temperatura siempre aumenta el valor de la constante de equilibrio.

Concepción alternativa relacionada: Cuando aumenta la temperatura, la reacción se desplaza hacia adelante y, por lo tanto, la constante de equilibrio aumenta.

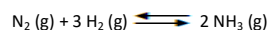
Conclusión Por coincidencia el valor de K_c es 0.18 y el de la respuesta del inciso A es 20 %, por lo que los alumnos relacionan un 100 % de rendimiento con un valor de K_c = 1.

n: Esta pregunta es de un alto grado de dificultad, el alumno debe de comprender que el valor de K_c está numéricamente relacionado con las concentraciones molares al equilibrio de reactivos y productos.

| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta: | El alumno | Comentarios |
|-----------|-----------|--|-----------|---|
| 1 | C | $Q = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2 [\text{O}_2]} = \frac{[0.06]^2}{[0.34]^2 [0.17]} = \frac{3.6 \times 10^{-3}}{0.019} = Q=0.18, Q = K, 0.18 = 0.18$ | | Igualdad entre el valor de K _c y el rendimiento de la reacción. Si K _c = 1 se obtiene el 100 % de rendimiento. No consideran los coeficientes de la reacción en la ecuación de K _c . |
| 2 | B | $\frac{0.06}{(0.17)(.34)} = 1.0380$ Cuando la K _c = vale 1 el rendimiento es del 100 % | | |
| 3 | B | Tiene un alto rendimiento ya que tanto en los reactivos como en productos hay una concentración que se mantiene efectuándola en la reacción. | | |
| 4 | B | Es alto ya que contiene mucha temperatura y esto genera que la reacción sea más rápida. | | |
| 5 | B | Q= .1831 = K _c = .18 Al ser Q _c igual incluso un poco mayor (por las decimales) que K _c se dice que se tiene una reacción de alto rendimiento. $K_{eq} = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2 [\text{O}_2]} = \frac{[.06]^2}{[.34]^2 [.17]} = \frac{900}{4913} = 0.1831$ | | |
| 6 | A | $\frac{[.06]^2}{[.34]^2 [.17]} = \frac{3.6 \times 10^{-3}}{.11 [.17]} = .018 = .2$ | Recuerda | |
| 7 | A | Si K _c es menor a uno el equilibrio se irá hacia la formación de reactivos | Comprende | |
| 8 | B | "Al efectuar, la ecuación para obtener el coeficiente de reacción y comparar el resultado obtenido, se deduce que el coeficiente y la constante de ¿? es el mismo, por ello el rendimiento fue de 100 %" $Q_c = \frac{[.06]^2}{[.34]^2 [.17]} = \frac{3.6 \times 10^{-3}}{.11 [.17]} = Q_c = .018$ | | |
| 9 | A | Porque su constante es K _c = 0.18 así que tomamos a 1 como un 100 % por lo tanto este tiene un 18 %; así que es de bajo rendimiento menor al 20 %. | Recuerda | |
| 10 | B | La B porque cuando es mayor a uno este ya es bajo. | | |
| 11 | NADA | Sin argumento. | | |
| 12 | A | Porque K _c = .18 es muy baja al igual que sus concentraciones. | Conoce | |
| 13 | NADA | K _c ? 0.18 V ₁ =k[A] ^a [B] ^b V ₂ =k[C] ^c [D] ^d V ₁ =0.18 [0.17] ² [0.17] = 3.5 x 10 ⁻³ V ₂ =0.18[0.6] ² =0.0698 | | |
| 14 | A | Al realizar la ecuación. de rendimiento el más cercano fue "A". | Recuerda | |
| 15 | A | Q _c =[0.06] ² /[0.34][0.17] 0.062, K _c = 0.18 Porque la constante de equilibrio es mayor que el cociente. | Recuerda | |
| 16 | NADA | Sin argumento. | | |
| 17 | A | Es muy pequeña K _c al igual que sus concentraciones por eso considero que es muy baja. [0.06] ² /[0.34] ² [0.06] ₆ | Conoce | |
| 18 | A | Porque tiene concentraciones muy bajas y el valor de K _c es 0.18 por lo tanto es bajo. | Conoce | |
| 19 | C | Teóricamente da un rendimiento del 0.18 y experimental de 0.12 ambas cantidades son aproximadas. | | |

Tabla A4-11. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

8. Para la síntesis de amoníaco, la constante de equilibrio K_c a 375 °C es 1.2. Al iniciar la reacción, las concentraciones de las especies presentes son: $[H_2] = 0.76 \text{ M}$, $[N_2] = 0.6 \text{ M}$ y $[NH_3] = 0.48 \text{ M}$, ¿qué gas habrá aumentado su concentración en el equilibrio?



A) Nitrógeno

B) Hidrógeno

C) Amoníaco

Código de colores: Respuesta correcta para el segundo escalón

Argumento correcto: La K_c es mayor a uno por lo que en el equilibrio se tendrá una mayor concentración de productos.

Concepción alternativa relacionada: Dificultades al comparar las concentraciones entre un equilibrio inicial y uno final.

Conclusión: Para resolver este tipo de reactivos es necesario trabajar en clase ejercicios donde se utilicen concentraciones iniciales y finales en una reacción para calcular Q y K_c .

| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta: | El alumno | Comentarios |
|-----------|-----------|---|-----------|---|
| 1 | C | $K < 1$ reactivos, $K > 1$ productos, $K = 1$ constante, $1.2 > 1$ productos | Comprende | Confusión entre coeficientes estequiométricos y concentración. Igualdad de concentraciones de hidrógeno en el equilibrio. Sinonimia entre concentración y masa molar. |
| 2 | C | La masa molar de amoníaco es mayor | Recuerda | |
| 3 | B | Es el gas que se desprende en mayor concentración en la reacción en producto | | |
| 4 | A | Sin argumento | | |
| 5 | B | Los coeficientes de la reacción nos indican que tan concentrado está un elemento por lo que, en la ecuación, el hidrógeno es el de mayor concentración (por tener el coeficiente más alto). | | |
| 6 | B | Porque está más concentrado. | | |
| 7 | C | Si la constante de equilibrio es mayor a uno habrá una mayor concentración de productos. | Comprende | |
| 8 | C | Dado que la constante es mayor a 1, se deduce que existirán más productos que reactivos. | Comprende | |
| 9 | C | Porque el amoníaco tendría que ser mayor al Nitrógeno y al Hidrógeno para que su $K_c = 1.2$ $K_{eq} = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$ | Comprende | |
| 10 | B | Porque al hacer el intercambio este es el que sufre la alteración. | | |
| 11 | NADA | Sin argumento. | | |
| 12 | B | Este al ser mayor tendrá mayor facilidad en la concentración. | | |
| 13 | B | Pues tiene mayor molaridad por eso puede deducir cuál de los reactivos poseen mayor concentración. | | |
| 14 | A | Sin argumento. | | |
| 15 | A | El nitrógeno debido a que la concentración de la sustancia es menor a la del hidrógeno y amoníaco. | | |
| 16 | NADA | Sin argumento. | | |
| 17 | B | El hidrógeno porque tiene mayor presencia en la reacción a mayores concentraciones. | | |
| 18 | B | Porque hay casi la misma cantidad de ambos lados. | | |
| 19 | B | Porque hay más moléculas de hidrógeno presentes en la reacción. | | |

Tabla A4-12. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

9. Se tiene una reacción de síntesis de amoníaco en un reactor a 200 °C y existen 0.34 moles de N₂, 0.09 moles de H₂ y 0.005 moles de NH₃, si el valor de su constante de equilibrio es K_c = 0.65, qué significa que el valor del cociente de la reacción Q_c = 0.10



Código de colores:

Respuesta correcta para el segundo escalón.

A) el sistema se encuentra desplazado a hacia la formación de productos

B) el sistema no se encuentra desplazado, está en equilibrio

C) el sistema se encuentra desplazado a hacia la formación de reactivos

Como Q < K_c, en este momento la reacción se encuentra desplazada hacia la formación de reactivos.

Argumento correcto: La concentración de los productos es demasiado pequeña y la de los reactivos demasiado grande.

Concepción alternativa relacionada: No uso de Q y K para predecir evolución. No diferencian sistemas en equilibrio de sistemas que no lo están.

Conclusión: Para responder esta pregunta los alumnos deben tener claros los conceptos de cociente de reacción y constante de equilibrio, así como el significado de su valor. La redacción de la pregunta causa confusión en las respuestas porque al comparar los valores de Q_c y K_c se puede decir que el sistema se desplazará hacia productos para igualar el valor de Q_c con el de K_c.

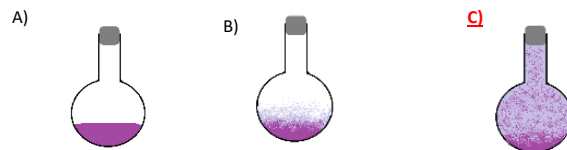
| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta: | El alumno | Comentarios |
|-----------|-----------|--|-----------|---|
| 1 | A | Q < K, la reacción se desplaza a la derecha y favorece a los productos. Q > K, la reacción se desplaza a la derecha y favorece a los reactivos. En este caso 0.1 (Q _c) < 0.65 K _c . | | Cuando Q _c y K _c son menores a uno, aún no se establece el equilibrio. Cuando K _c es igual a uno se establece el equilibrio. No identifican las condiciones iniciales y las de equilibrio. |
| 2 | NADA | Sin argumento. | | |
| 3 | B | El valor de Q _c se encuentra en 0 lo cual indica un equilibrio químico. | | |
| 4 | C | Como K _c y Q _c son menores a 1 significa que aún no llegan a un equilibrio y por eso se siguen generando reactivos en lugar de productos. | Recuerda | |
| 5 | A | Q _c = .10 < K _c = .65 Si Q _c < K _c hay más reactivos por lo que esta desplazada a la izquierda, lo que indica que el sistema producirá productos dándose un intercambio de derecha a izquierda. $K_{eq} = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3} = \frac{[.005]^2}{[0.34][.09]^3} = \frac{1250}{0.01912393} = .10$ | | |
| 6 | A | Porque K _c es mayor que Q _c | | |
| 7 | C | Si K _c es menor a uno la reacción tomará la dirección a la formación de reactivos. | Conoce | |
| 8 | A | Si el Q _c < K _c el sistema se encuentra desplazado hacia la derecha, es decir, hacia la formación de productos. | | |
| 9 | C | Porque hay más reactivos que productos, por lo tanto, su Q _c =0.10 será menor que 1. | Comprende | |
| 10 | A | Porque Q _c significa que aún no termina de darse la reacción. | | |
| 11 | NADA | Sin argumento. | | |
| 12 | A | Este al tener mayor cantidad y ser mayor a uno se desplaza hacia la derecha. | | |
| 13 | C | Pues cuando el coeficiente de reacción es menor que la constante de equilibrio, existirá mayor número de reactivos, es decir que el sistema se desplaza hacia los reactivos. | Comprende | |
| 14 | NADA | Sin argumento. | | |
| 15 | A | Q _c < K _c Se necesita mayor concentración a los productos por lo tanto se desplaza a la derecha. | | |
| 16 | NADA | Sin argumento. | | |
| 17 | A | Ya que K _c es mayor a Q _c esto nos indica que va a desplazarse a la formación de productos. Si K _c hubiera sido menor que Q _c esto provocaría que haya un desplazamiento de reactivos. | | |
| 18 | NADA | Sin argumento. | | |
| 19 | A | Se puede apreciar que la formación de productos es mayor no solo a la de reactivos, sino también a la que se esperaba por lo tanto esta reacción esta desplazada a la formación de productos. | | |

Tabla A4-13. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

10. ¿Cuál de los siguientes diagramas ejemplifica el equilibrio dinámico que representa la siguiente ecuación?



Código de colores: Respuesta correcta para el segundo escalón



Argumento correcto: Hay dos procesos en sentido contrario porque existe una interconversión constante de reactivos en productos y de productos en reactivos. En un cambio de estado que se encuentra en un sistema cerrado, el elemento gaseoso se expande y ocupa todo el volumen del matraz.

Concepción alternativa relacionada: Consideran al equilibrio como estático. No se admite la coexistencia de todas las especies.

Conclusión: Les fue difícil identificar el proceso dinámico solo con las imágenes. En cambio, este reactivo fue de utilidad para identificar la concepción alternativa de igualdad de concentraciones en el equilibrio.

| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta: | El alumno | Comentarios |
|-----------|-----------|--|-----------|---|
| 1 | C | Esta reacción está en equilibrio dinámico porque reaccionan entre sí provocando el efecto de que se ve a la mitad (mitad de gas y mitad de líquido). | Recuerda | Igualdad de concentraciones de reactivos y productos en el equilibrio. La reacción se completa al pasar todo el yodo de sólido a líquido, sin identificar la reversibilidad del proceso. |
| 2 | C | porque pasa de sólido a gas y esto sucede en la imagen c). | Recuerda | |
| 3 | A | La situación es que en el diagrama no se muestra ningún tipo de reacción química por lo tanto es dinámico. | | |
| 4 | B | El "b" porque se encuentra el sólido formando un gas, pero están en equilibrio ya que hay relativamente la misma cantidad de ambos. | | |
| 5 | B | Dado que se tiene dos estados (gaseoso y sólido) al estar interactuando reactivos y productos se tiene que el sólido se encuentra en la parte de abajo y el gas en la parte de arriba. | | |
| 6 | C | Hay movimiento en ambas partes. | Conoce | |
| 7 | C | La concentración de $I_2 (s)$ y $I_2 (g)$ son las mismas, aunque el que está en estado gaseoso ocupe un volumen mayor. | Recuerda | |
| 8 | C | Se puede decir que por cada I_2 sólido que se transforma en gas un I_2 gas se transforma en sólido, en el diagrama C el gas es representado por un gris mientras el sólido es representado por un gris más oscuro al final (o hasta abajo) del recipiente. | Comprende | |
| 9 | B | Porque la imagen nos muestra $I_2 (s)$ como $I_2 (g)$, por lo tanto, se encuentra en equilibrio, siendo el sólido como el gas cantidades iguales. | | |
| 10 | B | La B porque se puede apreciar que hay más o menos la misma cantidad de sólido que de gas. | | |
| 11 | C | Se mantiene constante con su vapor, a pesar de que el I_2 se evapora, al estar cerrado el mismo gas regresa a su estado normal. De esta manera se mantiene la misma cantidad de I_2 en los lados se podría decir tanto en reactivos como en productos. | Conoce | |
| 12 | B | Porque existe una interacción con el yodo que pasa de reactivos a productos. | | |
| 13 | B | Ya que tenemos a un sólido que con ayuda de la temperatura u otro factor provocará que cambie a gas por lo cual ocurre un cambio físico con el elemento (con esto las partículas chocan entre sí). | | |
| 14 | C | Puesto el sólido paso a ser completamente un gas y el gas ocupa todo el recipiente en el que se encuentra. | | |
| 15 | C | Se muestra que el gas y el sólido se encuentran proporcionalmente distribuidos en el diagrama. | Recuerda | |
| 16 | C | Hay suficiente sólido y gas como para estar en equilibrio. | Recuerda | |
| 17 | B | Se puede observar en el diagrama que hasta abajo hay una pequeña cantidad de yodo en sólido y en seguida de él podemos observar el gas que se está desprendiendo del sólido. | | |
| 18 | C | Por el vapor y que está cerrado hay un equilibrio dinámico. | Recuerda | |
| 19 | B | En la imagen se puede observar que existe un cambio de estado de líquido a sólido, pero si tomamos en cuenta que el contenedor este tapado, la presión impide que la reacción se lleve rápidamente por eso se percibe un cambio de estado muy leve. | | |

Tabla A4-14. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

11. De los siguientes sistemas cuál se encuentra en un equilibrio dinámico:

A) Un frasco de vinagre

B) Helio y aire contenidos en un globo cerrado

C) Una estatua de mármol en el parque

Código de Respuesta correcta para el
colores: segundo escalón

Argumento correcto: El vinagre presenta un equilibrio ácido base porque en disolución acuosa a partir del ácido acético se forma su base conjugada, el ion acetato.

Concepción alternativa relacionada: Consideran al equilibrio como estático. No diferencian sistemas en equilibrio de sistemas que no lo están.
No diferencia las reacciones químicas reversibles.

Conclusión: Pregunta seleccionada para desarrollar el segundo escalón de opción múltiple.
Esta pregunta debe redactarse para explicitar cómo debe ser el equilibrio de un ácido débil a nivel nanoscópico.

| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta: | El alumno | Comentarios |
|-----------|-----------|---|-----------|--|
| 1 | A | Porque en la reacción se encuentra activa. | | Para establecer un equilibrio dinámico se debe de tener dos sustancias diferentes. |
| 2 | NADA | Sin argumento. | | |
| 3 | A | El aderezo se encuentra en constante equilibrio dinámico con el agua ya que no existe una reacción. | Recuerda | No diferencian entre un sistema que contiene una reacción química o una mezcla. En el equilibrio dinámico existe movimiento en un espacio determinado. En el equilibrio dinámico no hay alteración de las partículas. En un equilibrio dinámico las moléculas están en un espacio cerrado y se encuentran a la misma velocidad y presión. |
| 4 | B | Para estar en un globo se necesita que ambos gases estén en equilibrio de lo contrario este estallarían, por eso este ejemplo es el correcto. | | |
| 5 | B | Al estar en un sistema cerrado el helio y el aire chocan o interactúan entre si, dándonos un equilibrio dinámico. | | |
| 6 | B | El helio y el aire están en constante movimiento se mezclan. | | |
| 7 | NADA | Sin argumento. | | |
| 8 | B | Dado que se encuentra en un medio cerrado cada vez que el aire se transforma en helio ¿? | | |
| 9 | A | Porque hay de las 2 sustancias y se le puede agregar de las 2 por igual o en cantidades diferentes. | Recuerda | |
| 10 | B | Porque tanto el helio como el aire se están moviendo en constante equilibrio dentro del globo. | | |
| 11 | B | Los 2 están en una cierta cantidad y al principio el hielo comenzará a derretirse, aunque seguirá constante con su cantidad ya que esta no podrá ir a ninguna parte, al igual que el aire, aunque probablemente su volumen cambie, éste seguirá siendo el mismo en cuanto a cantidad y velocidad. | | |
| 12 | B | Hay una interacción entre ambos elementos que se irán intercambiando conforme se vaya dando la reacción. | | |
| 13 | B | Pues las partículas dentro del globo rebotan con las paredes del globo haciendo que estas reboten entre si sin ser alteradas. | | |
| 14 | B | Del mismo modo es como en el ejemplo ya antes mencionado las partículas se mueven a todas direcciones. | | |
| 15 | C | La estructura se mantiene en su forma y no se desase a menos que la temperatura u otra sustancia intervenga en este. | | |
| 16 | B | Se encuentra en la misma presión, temperatura y están encerrados. | | |
| 17 | B | Porque están llenando de un lado a otro en un espacio determinado. | | |
| 18 | B | Porque las moléculas están en un espacio cerrado por lo tanto hay mayor equilibrio porque ninguna se escapa, se encuentran a la misma velocidad y presión. | | |
| 19 | B | Ambos gases mantienen un porcentaje aproximado del 50% y 50% con continuas variaciones, pero siempre se percibe una ligera igualdad entre ambas cantidades y los porcentajes no varían mucho. | | |

Tabla A4-15. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

12. ¿Cuál de los siguientes sistemas presenta un equilibrio químico?

A) Combustión de metano.

B) Disolución de dióxido de carbono en agua.

C) Neutralización de un ácido fuerte con una base fuerte.

Argumento correcto: El CO₂ (g) se disuelve en agua formando ácido carbónico, esta reacción reversible se encuentra en equilibrio el cual puede ser desplazado hacia la formación de bicarbonato y carbonato.

Concepción alternativa relacionada: No diferencian sistemas en equilibrio de sistemas que no lo están.

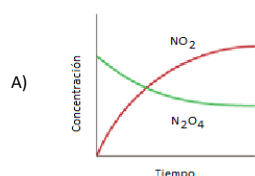
Código de colores: Respuesta correcta para el segundo escalón

Conclusión Esta pregunta no obtuvo respuestas correctas, es similar a la pregunta 11, pues trata de identificar si los alumnos reconocen las reacciones que son reversibles de las que no lo son.

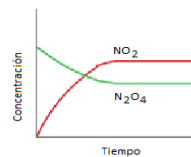
| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta: | El alumno | Comentarios |
|-----------|-----------|--|-----------|--|
| 1 | C | El equilibrio químico se encuentra en la neutralización ya que un ácido y una base tienen propiedades contrarias, entonces al neutralizarse entran en equilibrio. | | La cantidad de las sustancias permanece constante en el equilibrio. Se presenta un equilibrio cuando se tiene cantidades iguales de ácido y base. Las reacciones de neutralización son reacciones reversibles. |
| 2 | C | La neutralización de un ácido con una base es naturalmente un equilibrio químico. | | |
| 3 | C | La neutralización implica un equilibrio químico porque su acidez y basicidad es neutra encontrándose en sus moléculas en constante equilibrio. | | |
| 4 | B | Sin argumento. | | |
| 5 | C | Al haber una neutralización se tiene una equivalencia la que indica a su vez un equilibrio. | | |
| 6 | C | Por la velocidad de la reacción. | | |
| 7 | C | En esta reacción química los productos pueden regresarse a reactivos. | | |
| 8 | C | Ya que al efectuar las debidas ecuaciones siempre se llega a una constante que es 1×10^{-14} . | | |
| 9 | C | Porque se llega a una neutralización, siendo así igual la base como el ácido. | | |
| 10 | C | Porque al neutralizarla estamos queriendo decir que hubo un equilibrio entre el ácido y la base. | | |
| 11 | B | Como ya se había dicho una de ellos pasará por un ciclo de evaporización en dónde a pesar de perder sus características físicas, no perderán las químicas de manera que su cantidad permanecerá constante. | Recuerda | |
| 12 | C | En esta hay una interacción de ácido base donde el ácido donará un protón y la base lo recibirá a cada ac. Fuerte \rightarrow b. débil a. débil \rightarrow Base fuerte. | | |
| 13 | C | Pues permite que se balancee el ácido al agregarse la base, provocando una neutralización por lo cual se puede decir que hay un equilibrio en el sistema. | | |
| 14 | C | Ya que al ser una sustancia ácida y otra básica neutras se necesitó de un equilibrio para que no resulten ni tan ácidos ni tan básicas. | | |
| 15 | C | Tanto una base como en un ácido los productos y los reactivos están balanceados. | | |
| 16 | C | Porque al neutralizarse se da un equilibrio formando una sal y agua. | | |
| 17 | C | Considero esta respuesta debido a que para que haya un equilibrio en esta clase de neutralización necesita haber una cierta cantidad de ácido al igual que la base. | | |
| 18 | C | Porque al neutralizar hay lo mismo que de ácido y de base. | | |
| 19 | C | El equilibrio está presente ya que al combinar un ácido fuerte con una base débil se genera una base fuerte y un ácido débil con la cualidad de poder regresar del producto al reactivo, suministrando un poco de energía extra. | | |

Tabla A4-16. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

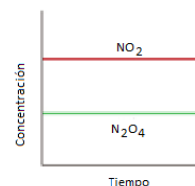
13. De las siguientes gráficas, cuál representa el avance de la siguiente reacción hasta que se establece el equilibrio:



B)



C)



Código de colores **Respuesta correcta para el segundo escalón**

Argumento correcto: La gráfica del inciso b muestra cómo cambia la concentración de reactivos y productos mientras avanza la reacción química hasta que se establece el equilibrio y la concentración permanece constante.

Concepción alternativa relacionada: No diferencian sistemas en equilibrio de sistemas que no lo están.

Conclusión Esta pregunta es fácil de responder por parte de los alumnos, ellos logran interpretar las gráficas satisfactoriamente.

| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta: | El alumno | Comentarios |
|-----------|-----------|--|-----------|--|
| 1 | B | Porque en la gráfica se muestra que llega un punto donde tanto el NO ₂ y N ₂ O ₄ se mantiene constante. | Comprende | En el equilibrio las concentraciones ya no cambian. Confusión entre concentración y velocidad de reacción al momento de interpretar las gráficas. El equilibrio se presenta a partir de la intersección de las rectas. |
| 2 | B | Porque se puede ver que hay una reacción y en determinado tiempo se crea el 2NO ₂ pero las reacciones van en equilibrio. | Recuerda | |
| 3 | B | La concentración y el tiempo se mantienen estables hasta que llega un punto por el que se atraviesan y de ahí son constantes las dos variables manteniendo el equilibrio deseado. | Recuerda | |
| 4 | B | La "b" puesto que con el tiempo la cantidad de productos irá aumentando y la de reactivos disminuyendo hasta que haya más productos que reactivos y se mantenga constante. | Recuerda | |
| 5 | B | En el inciso b) se muestra como existe una curva en ambos colores, pero después existe una línea recta que nos indica un equilibrio en la reacción. | Comprende | |
| 6 | B | Al principio los dos es diferente su velocidad sin embargo después es constante. | Conoce | |
| 7 | B | Se forma N ₂ O ₄ a partir de NO ₂ para el primero disminuye porque se retorna a NO ₂ hasta que en un momento las concentraciones ya no cambian. | Comprende | |
| 8 | B | Ambos (los productos como reactivos) parten de una cantidad inicial y después de cierto tiempo, la relación entre sus concentraciones con el tiempo parece constantes "Que es el punto donde han alcanzado el equilibrio". | Comprende | |
| 9 | B | Porque se interceptan los reactivos y los productos, pero después se desplazan igual, por lo tanto, se establece el equilibrio. | Recuerda | |
| 10 | B | Porque es la única gráfica que va aumentando o disminuyendo dependiendo el caso y que llega a un punto donde ya se mantienen constantes. | Conoce | |
| 11 | B | Las 2 reaccionan al mismo tiempo, aunque en diferentes cantidades, en un cierto tiempo llegan a igualarse y van de la mano en cuanto a la velocidad. | Recuerda | |
| 12 | B | Estas en un punto determinado se mantendrán constantes. | Conoce | |
| 13 | A | Interceptan ambas líneas donde se va a interpretar la reacción entre ambas. | | |
| 14 | B | Sin argumento. | | |
| 15 | B | En los productos y reactivos existe una igualdad. | Recuerda | |
| 16 | B | Porque al momento de interceptarse se equilibran y después ya no cambian. | Recuerda | |
| 17 | A | En algún momento dado estas reacciones va a cruzarse y van a provocar que haya un equilibrio. | | |
| 18 | A | Están dispares al principio, pero llega un momento en el que están a la misma velocidad o tiempo. | | |
| 19 | B | Nos muestra un cambio de concentración casi continua hasta que en un punto dado la concentración de ambas sustancias se mantiene constante. | Comprende | |

Tabla A4-17. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

14. Se tiene un sistema cerrado en equilibrio que contiene CaCO_3 , CaO y CO_2 , si se adiciona un mol de CaO , ¿hacia dónde se desplazara el equilibrio?



A) Hacia los productos

B) Hacia los reactivos

C) No hay desplazamiento

Código de colores: **Respuesta correcta para el segundo escalón**

Argumento correcto: El sistema permanece sin cambios porque el equilibrio se altera solo si cambia la concentración de CO_2 .

Concepción alternativa relacionada: Aplicación de Le Chatelier a situaciones que conducen a predicciones incorrectas. Agregar sólidos al sistema de equilibrio cambiará el equilibrio.

Conclusión Esta pregunta es de alto grado de dificultad porque deben de saber la diferencia entre K_c y K_p

| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta: | El alumno | Comentarios |
|-----------|-----------|---|-----------|--|
| 1 | B | Se desplaza hacia los reactivos debido a que el CO_2 es un gas. | | En un equilibrio heterogéneo la adición de un sólido desplaza el equilibrio. Al agregar un producto en estado sólido el equilibrio se desplaza hacia reactivos. |
| 2 | A | Porque el CaO afectaría solo a los productos ya que en los productos hay CaO . | | |
| 3 | B | Existe una mayor concentración de CaO en los productos y entonces este aumenta 4 a la de los reactivos. | | |
| 4 | B | El sistema está en equilibrio y si se le agrega un mol de CaO dicho equilibrio se rompe y por lo tanto regresa a los reactivos. | | |
| 5 | C | Se mantiene igual por lo que no hay desplazamiento, digamos que CaCO_3 y CO_2 tienen un mol, pero esta invisible. | Conoce | |
| 6 | A | Para que la reacción sea más rápida. | | |
| 7 | C | Necesitaría otro mol de CO_2 para que haya un desplazamiento. | Recuerda | |
| 8 | C | Ya que después de la adición el sistema tiende al equilibrio. | Recuerda | |
| 9 | B | Porque será mayor la concentración en los productos que en los reactivos por lo tanto habrá un desplazamiento hacia los reactivos. | | |
| 10 | C | Porque que vaya más rápido o lento el desplazamiento depende de la energía no de si le agregamos más reactivo o no. | Recuerda | |
| 11 | A | Se debería igualar por lo que el equilibrio cambia y deben buscar su equilibrio los productos. | | |
| 12 | A | Porque cuando hay más cantidad, se desplazarán hacia la derecha y por lo tanto a los productos. | | |
| 13 | B | Pues se tendrían que modificar los reactivos para poder modificar o equilibrar la ecuación. | | |
| 14 | B | Porque la concentración en los productos aumenta. | | |
| 15 | B | De igual manera hay menos concentración o sustancia. | | |
| 16 | C | Sin argumento. | | |
| 17 | B | Creo que si agregamos lo que se menciona anteriormente va a ver un cambio y creo lógica estos van a desplazar hacia el lado de los reactivos. | | |
| 18 | A | Porque se aumentaría el caos por lo tanto va hacia los productos. | | |
| 19 | B | Al aumentar la cantidad de producto se aumenta por consecuencia la cantidad de reactivos. | | |

Tabla A4-18. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

15. ¿Cuál de las siguientes es una característica del equilibrio químico?

Código de colores: **Respuesta correcta para el segundo escalón**

- A) Las concentraciones de reactivos y productos se mantienen iguales
- B) Las moléculas de reactivos y productos presentan colisiones débiles

C) La velocidad de formación de los productos es igual a la de descomposición de los productos

Argumento correcto: El equilibrio químico. se presenta cuando reacciones opuestas ocurren con velocidades iguales.
Para que las concentraciones de reactivos y productos se mantengan constantes, la velocidad de formación y de descomposición debe ser constante.

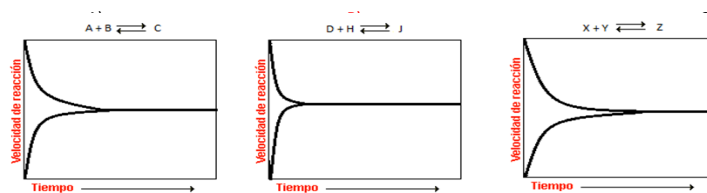
Concepción alternativa relacionada: En el equilibrio, las concentraciones de reactivos y productos son iguales.

Conclusión: Esta pregunta permitió identificar una de las concepciones alternativas reportadas en la literatura.

| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta: | El alumno | Comentarios |
|-----------|-----------|---|-----------|--|
| 1 | A | Al haber equilibrio se hace referencia a que las concentraciones de reactivos y productos se mantengan iguales. | | En el equilibrio las concentraciones de reactivos y productos son iguales. Posible sinonimia entre proporción y concentración o cantidad y concentración. |
| 2 | C | Porque la velocidad de la formación de un producto tiene que ser igual a la descomposición de los mismos. | Comprende | |
| 3 | A | Para que exista un equilibrio en la reacción es necesario contar con la concentración de reactivos y productos iguales. | | |
| 4 | B | Van chocando poco a poco hasta que forman los productos. | | |
| 5 | C | La velocidad depende de que tan rápida o que tan lenta se forman los productos o bien con que rapidez se descomponen estos. | Conoce | |
| 6 | C | En el equilibrio químico lo que se "afecta" es la velocidad. | Conoce | |
| 7 | C | Es la que sucede en las reacciones, aunque no se vea a nivel macroscópico. | Conoce | |
| 8 | C | Hay una constante transferencia de reactivos y productos por lo tanto se dice que hay un equilibrio. | Comprende | |
| 9 | A | Porque debe de haber un equilibrio, por lo cual tendrían que ser iguales para que haya un equilibrio químico. | | |
| 10 | A | Porque siempre que exista un equilibrio químico es porque los productos y reactivos se encuentran en la misma proporción de un lado como el otro. | | |
| 11 | A | Para que una reacción llegue a estar equilibrada de los 2 lados de productos y reactivos debe ser constante la cantidad y concentración de otra forma no podría estar en equilibrio. | | |
| 12 | A | Estas no serán afectadas o no afectarán para que se lleve a cabo el equilibrio. | | |
| 13 | A | De no suceder esto se tendría una inestabilidad, provocando que la Kc se modifique al igual que Q, por eso debe existir reactivos y productos iguales. | | |
| 14 | C | Sin argumento. | | |
| 15 | A | Para que haya un equilibrio entre reactivos y productos hay que tener el mismo número de moles, gramos, moléculas etc. | | |
| 16 | A | Al mantenerse iguales se mantienen en equilibrio químico. | | |
| 17 | C | Pues sí, ya que si va a una cierta velocidad para formar productos también va a tener la misma velocidad para descomponer productos. | Comprende | |
| 18 | A | (si se forman al mismo) si se tiene ¿? misma concentración de productos hay equilibrio. | | |
| 19 | C | Siempre se mantiene una constante entre la cantidad de productos que de reactivos. A la vez que se forma un nuevo producto otros se descomponen en sus reactivos y así sucesivamente. | Comprende | |

Tabla A4-19. Argumentos de los alumnos para su respuesta del primer escalón.

16. Analiza las siguientes gráficas e indica cuál de las siguientes reacciones llega primero al equilibrio



Código de colores: Respuesta correcta para el segundo escalón

Argumento correcto: La reacción $D + H \rightleftharpoons J$ tarda menos tiempo en igualar la velocidad de la reacción directa e inversa.

Concepción alternativa relacionada: El equilibrio se alcanza cuando la velocidad de reacción de formación de producto y la formación de reactivos son constantes.

Conclusión: Los estudiantes no presentaron dificultad para responder los dos escalones de esta pregunta.

| No Alumno | Respuesta | Explica tu respuesta: | El alumno | Comentarios |
|-----------|-----------|---|-----------|--|
| 1 | B | En la gráfica muestra una constante obtenida por reactivos y productos en menor tiempo. | Conoce | Identifican que una variable es constante pero no indican cuál es. |
| 2 | B | Las velocidades se vuelven constantes en el menor tiempo. | Comprende | |
| 3 | B | La velocidad de reacción es mayor ya que tarda menor tiempo en llegar a ella porque toca también más rápida en el punto de equilibrio. | Conoce | |
| 4 | C | Ocupa menos velocidad en llegar al equilibrio y por lo tanto el tiempo es menor. | | |
| 5 | B | Según la gráfica se observa que se necesita de menor tiempo para alcanzar el equilibrio (línea horizontal), es decir en donde los reactivos y los productos se encuentran. | Comprende | |
| 6 | B | Es la que más rápido se hace constante. | Comprende | |
| 7 | B | Demora menor tiempo a comparación de las otras dos, la reacción fue muy rápida. | Comprende | |
| 8 | B | Dado que parten de una velocidad inicial, se ve claramente como ambas gráficas (la de reactivos y la de productos) se interceptan en menor tiempo, por lo tanto, esta llega primero al equilibrio. | Comprende | |
| 9 | B | $D + H \rightleftharpoons J$ Porque se interceptan en menor tiempo por lo tanto es más rápido al llegar al equilibrio. | Comprende | |
| 10 | B | Porque checando las gráficas es la primera donde se unen ¿? que se ve que fue la primera que llegó a ser constante con su tiempo y con la velocidad de reacción. | Comprende | |
| 11 | A | Debido a que se tiene la misma cantidad de un reactivo que de otro, estos al interactuar entre sí llegan al mismo tiempo, o sea, es constante su velocidad a diferencia de los otros donde sus cantidades son distintas. | | |
| 12 | C | Al ser la velocidad más constante y el tiempo igual, este estará en un equilibrio no se afectará si en dado caso hubiera más concentración. | | |
| 13 | B | Pues se intercepta ambas líneas teniendo en cuenta el tiempo y la velocidad. | Conoce | |
| 14 | B | Pues el tiempo transcurrido para que la línea sea recta es menor. | Comprende | |
| 15 | B | Su velocidad es mayor a los del A) y C) y se ve que tarda menos en llegar al equilibrio. | Comprende | |
| 16 | B | Se interceptan más rápido que los otros. | Comprende | |
| 17 | B | Llega al equilibrio la gráfica "b" ya que lo hace en el tiempo menor que las demás. | Comprende | |
| 18 | B | Hace menos tiempo en llegar al equilibrio. | Comprende | |
| 19 | B | En la gráfica "B" se puede apreciar que el tiempo que transcurre para que la interacción de las moléculas llegue a un punto de equilibrio es mucho más corto que el de las otras dos, por lo tanto, la gráfica "B" es la que llega primero al equilibrio. | Comprende | |

Bibliografía

- Alcaraz, N. (2015). Aproximación Histórica a la Evaluación Educativa: De la Generación de la Medición a la Generación Ecléctica. *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa*, 8(1), 11-25. <http://www.rinace.net/riee/numeros/vol8-num1/art1.pdf>
- Angulo, D. F. (2002). *Aprender a enseñar ciencias: Análisis de una propuesta para la formación inicial del profesorado de secundaria, basada en la metacognición*. Barcelona.
- Annisa, D., y Rohaeti, E. (2018). The Effect of Inquiry-Based Learning on Students' Understanding of the Chemical Equilibrium Concept. *AIP Conference Proceedings 2021*, 080004, 1-7. doi:<https://doi.org/10.1063/1.5062823>
- Anónimo. (2017). *Centros comunitarios de aprendizaje*. Obtenido de Sitio web del Tecnológico de Monterrey. Centro virtual de aprendizaje: <http://www.cca.org.mx/apoyos/cu095/mod6.pdf>
- Artiles, I., y Mendoza, A. (2008). La evaluación del aprendizaje, un indicador para elevar la efectividad del tutor en el contexto de Universalización de la Educación Superior. *Revista Iberoamericana de Educación*, 4(46), 3-14.
- Barke, H.-D., Hazari, A., y Yitbarek, S. (2009). *Misconceptions in Chemistry. Addressing Perceptions in Chemical Education*. Verlag Berlin Heidelberg: Springer.
- Bayer Global. (2022). *INTERACTIVE EXPERIMENTS*. <https://www.alkaseltzer.com/original/science-experiments>
- Brown, Theodore L.; Lemay Jr., H. Eugene; Bursten, Bruce E.; Murphy, Catherine J., Woodward y Patrick M. (2014) *Química, la ciencia central* Decimosegunda edición PEARSON EDUCACIÓN, México.
- Candida, D. A., y Lopez, M. P. (2011). *Evaluación. Campaña de Apoyo a la Gestión Pedagógica a Docentes y Directivos en Servicio*. Paraguay: Dirección General de Educación Media.
- Carrascosa Alís, J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (Parte I) Análisis sobre las causas que las originan y/o mantienen. *Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(2), 183-208.
- Casanova, M. A. (1998). *La evaluación educativa. Escuela básica* (Primera edición ed.). España: Muralla.
- Castillo, A. S., y Cabrerizo, D. J. (2010). *Evaluación educativa de aprendizajes y competencias*. Madrid, España: PEARSON EDUCATION.
- CCH. (2016). *Programas de estudio área de ciencias experimentales. Química III y IV*. México: UNAM.

- Chandrasegaran, A., Treagust, D., Mocerino, M., Won, M., & Karpudewan, M. (2014). A brief review of the complexities of teaching and learning chemical equilibrium with specific. *Proceeding of International Conference On Research, Implementation And Education Of Mathematics And Sciences*. 1-8. Malaysia: Yogyakarta State University.
- Chanyoo, W., Suwannoi, P., y Treagust, D. (2018). A Multidimensional Framework of Conceptual Change for Developing Chemical Equilibrium Learning. *AIP Conference Proceedings 1923, 030011*, 1-9. doi:<https://doi.org/10.1063/1.5019502>
- Cheung, D., Ma, H.-J., y Yang, J. (2009). Teachers' misconceptions about the effects of addition of more reactants or products on chemical equilibrium. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7, 1111-1133.
- Chiu, M.-H., Tuan, H.-L., Wu, H.-K., Lin, J.-W., y Chou, C.-C. (2013). A National Survey of Students' Conceptions and Their Sources of Chemistry in Taiwan: Examples of Chemical Equilibrium and Acids/Bases. En M.-H. Chiu, y J.-W. Lin, *Chemistry Education and Sustainability in the Global Age* 171-183. Springer Science+Business Media Dordrecht. doi:10.1007/978-94-007-4860-6_15
- Damanhuri, M., Treagust, D., Won, M., y Chandrasegaran, A. (2016). High School Students' Understanding of Acid-Base Concepts: An Ongoing Challenge for Teachers. *International Journal of Environmental and Science Education*, 11(1), 9-27.
- Demircioğlu, G., Demircioğlu, H., y Yadigaroglu, M. (2013). An investigation of chemistry student teachers' understanding of chemical equilibrium. *International Journal on New Trends in Education and Their Implications*, 4(2), 185-192.
- Dewi, F., Parlan, P., y Suryadharma, I. (2020). Development of four-tier diagnostic test for identifying misconception in chemical equilibrium. *AIP Conference Proceedings 2215, 020004*, 1-6. doi:<https://doi.org/10.1063/5.0000510>
- Díaz, F., y Hernández, G. (1999). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Una interpretación constructivista*. (Segunda edición ed.). México: Mc GRAW-HILL.
- Elola, N., Zanelli, N., Olivia, A., y Toranzos, L. (2010). *La evaluación educativa. Fundamentos teóricos y orientaciones prácticas*. Argentina: AIQUE Educación.
- ENP UNAM. (2018). *Programa Química IV área II*. México: UNAM. http://enp.unam.mx/assets/pdf/planesdeestudio/6to/1622_quimica_4_area_2.pdf.
- FlinnScientific. (2012). Rate of Reaction of Sodium Thiosulfate and Hydrochloric Acid [Video]. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=r4IZDPpN-bkyab_channel=FlinnScientific
- Flores J. Y (Coord); Castillo, C.J; Del Rey L.M, Gutiérrez, R.A.; León, O.F.; Martínez, M.G.; Pedraza, G. L.; Pérez R.R.; Vidal, S.F. (2013) Libro de texto química IV área II ENP UNAM

- Garriz R. A.; Gasque, S. L.; y Martínez, V. A. (2005) Química universitaria. PEARSON EDUCACIÓN, México.
- Gómez, L. E., y Chong, M. C. (2016). El valor y el juicio de valor en la evaluación: Una revisión desde los orígenes históricos de la evaluación. (U. A. Hidalgo, Ed.) *EDÄHI Boletín Científico de Ciencias Sociales y Humanidades del ICSSHU*, 2(8).
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icshu/article/view/293/289>
- González, C. O. (2002). Evaluación de opción múltiple vs. evaluación tradicional. Un estudio de caso en ingeniería. *Revista de la Educación Superior*, 31(122), 5-24.
https://www.google.com.mx/search?source=hp&q=EVALUACI%C3%93N+DE+OPCI%C3%93N+M%C3%93N+TRADICIONAL&oq=EVALUACI%C3%93N+DE+OPCI%C3%93N+M%C3%93N+TRADICIONAL&gs_l=psy-ab.3...836.836.0.1740.1.1.0.0.0.225.225.2-
- Hanson, R. (2015). Identifying Students' Alternative Concepts in Basic Chemical Bonding – A Case Study of Teacher Trainees in the University of Education, Winneba. *International Journal of Innovative Research y Development*, 4(1), 115-122.
- Hernando, M., Furió, C., Hernández, J., y Calatayud, M. I. (2003). Comprensión del equilibrio químico y dificultades en su aprendizaje. *Enseñanza de las ciencias* (Número extra), 111-118.
- Huerta, R. M. (2008). *El equilibrio químico una investigación de aula*. Facultad de Química UNAM. México: Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Irazoque, P. G. (2016). *Conocimiento didáctico del contenido de profesores mexicanos sobre el tema de equilibrio químico* Doctorado en Didáctica de las Matemáticas y las Ciencias Experimentales. [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Barcelona]. Barcelona, España.
- Irazoque, P. G., Izquierdo, A. M., y Garriz, R. A. (2010). A THERMODYNAMIC MODEL TO TEACH CHEMICAL EQUILIBRIUM. *Edulearn10 Proceedings Barcelona, España*, 002147-002152.
- Izquierdo, I. M., Garriz, R. A., y Irazoque, P. G. (2016). Los productos también reaccionan el concepto de reversibilidad. En G. S. Bello, *Didáctica de la química universitaria*. (págs. 98-120). Ciudad de México: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
- Johnstone, A. (2006). Chemical education research in Glasgow in perspective. (T. R. Chemistry, Ed.) *Chemistry Education Research and Practice*, 7(2), 49-63.
- Jusniar, J., Effendy, E., Budiasih, E., y Sutrisno, S. (2020). Developing a three-tier diagnostic instrument on chemical equilibrium (TT-DICE). *Educación Química*, 31(3), 84-102.
[doi:https://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.3.72133](https://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.3.72133)
- Jusniar, J., Effendy, E., Budiasih, E., y Sutrisno, S. (2021). Eliminating Misconceptions on Reaction Rate to Enhance Conceptual Understanding of Chemical Equilibrium Using EMBE-R

- Strategy. *International Journal of Instruction*, 14(1), 85-104.
doi:<https://doi.org/10.29333/iji.2021.1416a>
- Kaltakci, G. D., Eryilmaz, A., y McDermott, L. C. (2015). A Review and Comparison of Diagnostic Instruments to Identify Students' Misconceptions in Science. *Eurasia Journal of Mathematics, Science y Technology Education*, 11(5), 989-1008.
doi:10.12973/eurasia.2015.1369a
- Karadeniz, B. B. (2013). Using Two-Tier Test to Identify Primary Students' Conceptual Understanding and Alternative Conceptions in Acid Base. *Mevlana International Journal of Education*, 3(2), 19-26. doi:<http://dx.doi.org/10.13054/mije.13.21.3.2>
- Karpudewan, M., Treagust, D., Mocerino, M., Won, M., y Chandrasegaran, A. (2015). Investigating High School Students' Understanding of Chemical Equilibrium Concepts. *International Journal of Environmental & Science Education*, 10(6), 845-863.
- Khairunnisa, y Prodjosantoso, A. (2020). ANALYSIS OF STUDENTS MISCONCEPTION IN CHEMICAL EQUILIBRIUM MATERIAL USING THREE TIER TEST. *JTK: Journal Tadris Kimiya*, 5(1), 71-79.
doi:<https://doi.org/10.15575/jtk.v5i1.7661>
- Kolomuc, A., y Tekin, S. (2011). Chemistry Teachers' Misconceptions Concerning Concept of Chemical. *Eurasian Journal of Physics and Chemistry Education*, 3(2), 84-101.
- Kumpha, P., Suwannoib, P., y Treagust, D. (2014). Thai Grade 10 Students Conceptual Understanding of Chemical. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 143, 657 – 662.
doi:10.1016/j.sbspro.2014.07.458
- Kurniawan, M., Rahayu, S., Fajaroh, F., y Almunasher, S. (2020). Effectiveness of Dual Situated Learning Model in Improving High School Students' Conceptions of Chemistry Equilibrium and Preventing Their Misconceptions. *Journal of Science Learning*, 3(2), 99-105.
doi:10.17509/jsl.v3i2.22277
- Liu, O., Lee, H.-S., y Linn, M. (2011). An Investigation of Explanation Multiple-Choice Items in Science Assessment. *Educational Assessment*, 16(3), 164-184.
doi:<http://dx.doi.org/10.1080/10627197.2011.611702>
- López, G. J. (2021). *eduteka*. Recuperado el 15 de Julio de 2022, de Universidad ICESI:
<http://www.eduteka.org/articulos/taxonomiabloomcuadro>
- Loy Loh, A., Subramaniam, R., y Tan, K. (2014). Exploring students' understanding of electrochemical cells using an enhanced two-tier diagnostic instrument. *Research in Science & Technological Education*, 32(2), 229-250. doi:10.1080/02635143.2014.916669
- Lukas, J. F., y Santiago, K. (2009). *Evaluación educativa* (Segunda edición ed.). Madrid: Alianza Editorial.

- Luxford, C., y Lowery, S. (2014). Development of the Bonding Representations Inventory To Identify Student Misconceptions about Covalent and Ionic Bonding Representations. *Journal of Chemical Education*, 91, 312–320. doi:dx.doi.org/10.1021/ed400700q |
- Medina, Z. J. (2010). *Guía Metodológica para la evaluación de los aprendizajes*. México: Gobierno del Estado de Veracruz.
- Ministerio de educación de Guatemala. (2010). *Currículo organizado en competencias. Evaluación de los aprendizajes*. Guatemala: Dirección General de Gestión de Calidad Educativa. Ministerio de Educación.
- Moncaleano, H., Furio, C., Hernández, J., y Catalayud, M. (2003). Comprensión del equilibrio químico y dificultades en su aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias(Extra)*, 111-118.
- Mora, A. I. (2004). La evaluación educativa: Concepto, períodos y modelos. *Revista electrónica "Actualidades Investigativas en la Educación"*, 4(2). Recuperado el 4 de marzo de 2017, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44740211>
- Moscatelli, S. (2013). *Evaluación para el aprendizaje en ciencias naturales*. Santiago de Chile: Ministerio de educación. Gobierno de Chile.
- Mutlu, A., y Sesen, B. (2015). Development of a two-tier diagnostic test to assess undergraduates' understanding of some chemistry concepts. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 174, 629-635. doi: 10.1016/j.sbspro.2015.01.593
- Omilani, N., y Elebute, F. (2020). Analysis of misconceptions in chemical equilibrium among senior secondary school students in Ilesa Metropolis in Osun State, Nigeria. *African Journal of Educational Studies in Mathematics and Sciences*, 16(2), 1-13. doi:<https://dx.doi.org/10.4314/ajesms.v16i.2.1>
- Özmen, H., y Naseriazar, A. (2018). Effect of simulations enhanced with conceptual change texts on university students' understanding of chemical equilibrium. *Journal of Serbian Chemical Society*, 83(1), 121-137.
- Pekmez, S. E. (2010). Using analogies to prevent misconceptions about chemical equilibrium. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 11(2), 1-35.
- Perales, F. J. (1996). La evaluación en la didáctica de las ciencias. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado* (27), 179-188.
- Quílez, J. (2004). A historical approach to the development of chemical equilibrium through the evolution of the affinity concept: some educational suggestions. *Chemistry Education: Research and Practice*, 5(1), 69-87.
- Quilez, J. (2007). Theories in the Evolution of Chemical Equilibrium: Implications. *6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE HISTORY OF CHEMISTRY*, 695-708. Leuven Belgium. http://www.euchems.eu/wp-content/uploads/2015/08/75-Quilez_.pdf

- Quilez, P. J., Solaz, P. J., Castelló, H. M., y SanJosé, L. V. (1993). La necesidad de un cambio metodológico en la enseñanza del equilibrio químico: Limitaciones del principio de Le Chatelier. *Enseñanza de las ciencias*, 11(3), 281-288.
- Raviolo, A. (2007). Implicaciones didácticas de un estudio histórico sobre el concepto equilibrio químico. *Enseñanza de las ciencias*, 25(3), 415-422.
- Raviolo, A., y Garritz, A. (2007). Analogías en la enseñanza del equilibrio químico. *Educación Química*, 18(1), 15-28.
- Raviolo, A., y Martínez Aznar, M. (2003). Una revisión sobre las concepciones alternativas de los estudiantes en relación con el equilibrio químico. Clasificación y. *Educación Química*, 14(3), 60-66.
- Sadhu, S., y Laksono, E. (2018). Development and Validation of an Integrated Assessment for Measuring Critical Thinking and Chemical Literacy in Chemical Equilibrium. *International Journal of Instruction*, 11(3), 557-572.
- Sáez, G. M. (2010). INACAP. Recuperado el 15 de Julio de 2022, de UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE CHILE INSTITUTO PROFESIONAL CENTRO DE FORMACIÓN TÉCNICA: <https://www.inacap.cl/tportal/portales/tp4964b0e1bk102/uploadImg/File/taxonomiaHabilidadesPensamiento.pdf>
- Sáinz, B. (2006). ALTERACIONES DEL EQUILIBRIO ÁCIDO BÁSICO. *Revista Cubana de Cirugía*, 45(1).
- Sánchez, S. G. (2010). *Los contenidos de aprendizaje*. México: UAEMEX.
- Sanmartí, N. (2008). *10 ideas clave. Evaluar para aprender*. (Primera reimpresión ed.). España: GRAÓ.
- Satriana, T., Yamtinah, S., Ashadi, y Indriyanti, N. (2018). Student's profile of misconception in chemical equilibrium. *Journal of Physics: Conference Series* 1097 012066, 1-9. doi:10.1088/1742-6596/1097/1/012066
- Schultz, M., Lawrie, G., Bailey, C., Bedford, S., Dargaville, T., O'Brien, G., Wright, A. (2017). Evaluation of diagnostic tools that tertiary teachers can apply to profile their students' conceptions. *International Journal of Science Education*, 39(5), 565-586. doi:10.1080/09500693.2017.1296980
- Şendur, G., Toprak, M., y Pekmez, E. Ş. (November de 2011). How can secondary school students perceive chemical equilibrium? *e-Journal of New World Sciences Academy*, 6(2), 1512-1531.
- Sibiç, O., Akçay, B., y Arık, M. (2020). Review of two-tier tests in the studies: creating a new pathway for development of two-tier tests. *International Journal of Contemporary Educational Research*, 7(2), 81-98. doi:<https://doi.org/10.33200/ijcer.747981>

- Siswaningsih, W., Nahadi, y Widasmara, R. (2019). Development of Three Tier Multiple Choice Diagnostic Test to Assess Students' Misconception of Chemical Equilibrium. *Journal of Physics: Conference Series 1280 032019*, 1-5. doi::10.1088/1742-6596/1280/3/032019
- Stufflebeam, D., y Shinkfield, A. (2007). *Evaluation theory, models, and applications*. Wiley.
- Sosa, F. P. 2008. Conceptos base de la química. Libro de apoyo para bachillerato. CCH UNAM
- Supasorn, S., y Promarak, V. (2015). Chemistry Education Research and Practice. *Chemistry Education Research and Practice*, 16, 121-132. doi:https://doi.org/10.1039/C4RP00190G
- Supasorn, S., y Promarak, V. (2015). Implementation of 5E inquiry incorporated with analogy learning approach to enhance conceptual understanding of chemical reaction rate for grade 11 students. *Chemistry Education Research and Practice*, 16, 1-10. doi:10.1039/C4RP00190G
- Sydney, U. o. (2017). *Assessment*. Obtenido de Multiple choice questions: <https://www.uts.edu.au/research-and-teaching/learning-and-teaching/assessment/types-assessment/multiple-choice-questions>
- Talanquer, V., y Dávila, K. (2009). Classifying End-of-Chapter Questions and Problems for Selected General Chemistry Textbooks Used in the United States. *Journal of Chemical Education*, 87(1), 97-101.
- Treagust, D., y Chandrasegaran, A. (2007). The Taiwan National Science Concept Learning Study in an International Perspective. *International Journal of Science Education*, 29(4), 391-403. doi:http://dx.doi.org/10.1080/09500690601072790
- Treagust, D. (2006). Diagnostic assessment in science as a means to improving teaching, learning and retention. *UniServe Science 2006 Conference proceedings*, 1-9. Australia: UniServe Science and educational. <https://openjournals.library.sydney.edu.au/index.php/IISME/issue/view/517>
- Tüysüz, C. (2009). Development of two-tier diagnostic instrument and assess students' understanding in chemistry. *Scientific Research and Essay*, 4(6), 626-631. <http://www.academicjournals.org/SRE>
- Ulinnaja, H., Subandi, y Muntholib. (2019). High School Students' Mental Models on Chemical Equilibrium. *Jurnal Pendidikan Sains*, 7(2), 58-64.
- Washington, U. o. (30 de Octubre de 2017). *Center for Teaching and Learning*. Obtenido de Constructing tests: <http://www.washington.edu/teaching/constructing-tests/#multiplechoice>
- Yamtinah, S., Indriyanti, N., Saputro, S., Mulyani, S., Ulfa, M., Mahardiani, L., Shidiq, A. (2019). The identification and analysis of students' misconception in chemical equilibrium using computerized two-tier multiple choice instrument. *Journal of Physics: Conference Series*, 1-7. doi:10.1088/1742-6596/1157/4/042015