



Universitat Autònoma de Barcelona

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi queda condicionat a l'acceptació de les condicions d'ús establertes per la següent llicència Creative Commons:  http://cat.creativecommons.org/?page_id=184

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis queda condicionado a la aceptación de las condiciones de uso establecidas por la siguiente licencia Creative Commons:  <http://es.creativecommons.org/blog/licencias/>

WARNING. The access to the contents of this doctoral thesis it is limited to the acceptance of the use conditions set by the following Creative Commons license:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=en>



Universidad Autónoma de Barcelona
Facultad de Ciencias de la Educación
**Departamento de Didáctica de las Matemática
y las Ciencias Experimentales**

Doctorado en Didáctica de las Matemáticas y las Ciencias

TESIS DOCTORAL:

**“Conocimiento Didáctico Del Contenido De Profesores
Mexicanos Sobre El Tema Equilibrio Químico**

Presentada por:

GLINDA IRAZOQUE PALAZUELOS

DIRECTORA:

Dra. Mercè Izquierdo Aymerich

Bellaterra, Barcelona, España
noviembre de 2015

ÍNDICE

DEDICATORIAS

AGRADECIMIENTOS

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Presentación

1.2 Justificación

1.3 Antecedentes

2. PROBLEMA Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Problema de investigación

2.2 Preguntas de investigación

2.3 Objetivos generales del proyecto

3. MARCO TEÓRICO

3.1 El papel central del equilibrio químico en la enseñanza de la química

3.2 Evolución histórica del concepto

3.2.1 El equilibrio químico en el marco de la cinética

3.2.2 El equilibrio químico en el marco de la termodinámica

3.3 El estudio del equilibrio químico en México

3.3.1 Su ubicación en los currículos mexicanos.

3.3.1.1 *En el Bachillerato universitario.*

3.3.1.2 *En las licenciaturas de la Facultad de Química de la UNAM*

3.4 Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje reportadas sobre el tema.

3.5 El Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) y cómo registrarlo

3.5.1 Los CORE's

3.5.2 Las ideas centrales

3.5.3 Las entrevistas

3.6 Los grupos de profesores bajo estudio

4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y RESULTADOS

4.1 Metodología descriptiva de la investigación.

4.2 Captura de los CORE's

4.2.1 Profesores de bachillerato

4.2.2 Profesores de licenciatura

4.3 Las entrevistas

4.3.1 Profesores de bachillerato

4.3.2 Profesores de licenciatura

5. RESULTADOS OBTENIDOS

5.1 Los CoRe's de los maestros de bachillerato

5.2 Los CoRe's de los maestros de licenciatura

5.3 Coincidencias y desencuentros

6. ANÁLISIS DE LOS DATOS Y CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA y ANEXOS

DEDICATORIA

A Ninel, Irina y Andrea por enseñarme a vivir

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la Fundación Carolina y a la Secretaría de Relaciones Exteriores de México por la beca que me otorgaron para realizar los estudios de doctorado en la Universidad Autónoma de Barcelona.

A Mercè Izquierdo quien, con su invitación, revivió un sueño guardado por años. Dirigió con generosidad este trabajo y me apoyó sin límites hasta el final del camino.

A Andoni Garritz por su ejemplo cotidiano, sus grandes ideas y ánimo constante. Siempre estarás presente.

A mi amigo Vicente Talanquer, quién toma la batuta a la muerte de Andoni y se involucra en esta empresa con gran cariño, solidaridad y el gran profesionalismo que lo caracteriza.

A Francisco por su complicidad, por haber reído conmigo hasta las lágrimas y ayudarme con las gráficas en atlas Ti y su interpretación.

A mis queridas amigas Teresa Salamanca y Conchita Ortega por su cariñosa bienvenida a Barcelona y su apoyo constante.

Un agradecimiento muy especial a los ocho profesores que colaboraron en este estudio.

Glinda Irazoque Palazuelos

1. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 PRESENTACIÓN

En esta tesis se capturó y analizó el Conocimiento Didáctico del Contenido, CDC (PCK, por sus siglas en inglés) de ocho profesores mexicanos que imparten el tema de Equilibrio Químico en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Cuatro de ellos son maestros de bachillerato de la Escuela Nacional Preparatoria (ENP); uno de los dos subsistemas del bachillerato de la UNAM. Los otros cuatro son profesores de licenciatura en la Facultad de Química de la UNAM e imparten la materia de *Equilibrio y Cinética*, cuyo programa de estudios incluye el tema de Equilibrio Químico.

En este primer capítulo, se hace una descripción general de las partes que conforman la tesis, y se incluyen los argumentos que justifican la elección del tema y los antecedentes del estudio.

En el capítulo dos se presentan el problema y las preguntas de investigación y los objetivos generales del proyecto.

El marco teórico que se desarrolla en el capítulo tres, presenta los fundamentos del trabajo, relacionados con las directrices de esta investigación; la importancia de la enseñanza del equilibrio químico, la evolución histórica del concepto donde se desarrollan dos esquemas de enseñanza: en el marco de la termodinámica y en el marco de la cinética, ya que consideramos que la enseñanza del concepto en estas perspectivas es diferente y la problemática que genera su didáctica depende del marco de referencia en el que se estudie.

El capítulo continúa con las características del estudio del Equilibrio Químico en México, particularmente en la Facultad de Química de la UNAM y en el bachillerato universitario. Finalmente se hace un resumen y análisis de los diferentes estudios sobre las concepciones alternativas que los estudiantes de bachillerato y licenciatura presentan sobre el tema. En la parte final, se desarrolla el tema del Conocimiento Didáctico del Contenido, parte medular de la

investigación y se perfila y caracteriza el grupo de profesores seleccionados para el estudio.

El capítulo cuatro está dedicado a describir la metodología seguida para capturar el CDC de los docentes en el tema de equilibrio químico y a continuación se presentan los instrumentos que se diseñaron para ello y los resultados obtenidos.

En el capítulo cinco se presenta el análisis de los datos obtenidos para ambos grupos de profesores y se hace una reflexión sobre las coincidencias y desencuentros que se observan entre ambos grupos de docentes y sus propuestas de enseñanza.

En el capítulo seis se presentan las conclusiones obtenidas y una serie de recomendaciones didácticas que se desprenden como resultado del estudio. Finalmente se encuentra la bibliografía consultada y los anexos.

1.2 ANTECEDENTES

Los antecedentes de esta investigación son dos en particular. En 2008 fui directora de la tesis de maestría de una maestra de la Escuela Nacional Preparatoria (Huerta, 2008) que quería realizar una investigación sobre el tema de Equilibrio Químico, ya que le parecía uno de los más difíciles de aprender para sus alumnos.

La investigación correspondiente tuvo como objetivos seguir un modelo de docencia transformadora en el que el alumno aprendiera a construir el concepto de equilibrio químico, mediante una propuesta de enseñanza que propiciara y fomentara su interés y creatividad hacia el aprendizaje del concepto y que, de esta manera, le permitiera desarrollar habilidades de pensamiento científico, además de la adquisición de actitudes y valores hacia la ciencia.

Para lograr lo anterior, la investigación se enfocó en el diseño de una secuencia de enseñanza aprendizaje (SEA) sobre el tema de equilibrio químico. El trabajo de investigación correspondiente incluyó una revisión científica y didáctica de los contenidos, cuyo propósito fue hacer una planeación de la enseñanza, con

estrategias contextualizadas y que considerara las capacidades cognitivas de los estudiantes, buscando siempre un aprendizaje significativo dentro de un marco constructivista.

El diseño de la SEA tenía entre sus objetivos, propiciar un cambio y convertirse en una alternativa para la enseñanza tradicional del concepto, ya que se tomaron en consideración las necesidades educativas de los estudiantes, procurando la construcción, aplicación e integración conceptual, procedimental y actitudinal, mediante estrategias adecuadas para el nivel medio superior.

La SEA se probó en dos grupos de tercero de bachillerato, durante 8 sesiones de 100 minutos cada una. Uno de los grupos se eligió como grupo control y se le impartió el tema de la manera tradicional y al otro, el grupo experimental se le impartió el tema con la SEA diseñada. A ambos grupos se les aplicó un cuestionario diagnóstico y otro de cierre.

El análisis estadístico de los resultados mostró que: los alumnos relacionan el concepto de reversibilidad con la constancia de concentraciones, respecto a la igualdad de velocidades, un alto porcentaje de alumnos aceptaron la simultaneidad de las reacciones, directa e inversa, las cuales se desarrollan a la misma velocidad. Lo que no comprendieron es que en esta clase de procesos las concentraciones se mantienen, no se igualan. En las preguntas referentes a la constancia de concentraciones, se manifestó la idea de igualdad; mientras que más del 90% del grupo experimental comprendió que en el equilibrio las concentraciones se mantienen constantes, en el grupo control, este valor fue muy variable. Respecto a la habilidad para interpretar el aspecto dinámico del equilibrio químico, el grupo control tuvo resultados muy variables en contraste con el porcentaje alto y constante que presentó el grupo experimental a este respecto.

Esta investigación nos brindó información muy valiosa para el tema que se trabajó posteriormente como parte de la investigación final del Máster en Didáctica de las Matemáticas y las Ciencias Experimentales que se presentó en septiembre de 2009 (Irazoque, 2009). Esta segunda secuencia de enseñanza aprendizaje se centró en los conceptos antecedentes a la enseñanza del Equilibrio Químico,

reversibilidad y equilibrio dinámico, los resultados están por publicarse en un libro de secuencias de enseñanza aprendizaje editado por el Seminario de Investigación Educativa en Química, de la Facultad de Química de la UNAM.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El equilibrio químico es uno de los conceptos centrales en la enseñanza de la química. Gran parte de los currículos de educación media superior en el mundo contemplan su estudio y lo introducen en los últimos años de este nivel educativo. En México, particularmente en la Escuela Nacional Preparatoria y en la Facultad de Química de la UNAM, está considerado en los programas de estudio de las asignaturas del sexto grado de bachillerato y en tres de las asignaturas de tronco común de la Facultad.

La investigación educativa menciona que a diferencia de otros temas del currículo, una parte importante de las concepciones alternativas relativas al equilibrio químico se generan durante la instrucción y se heredan de otros conceptos como el de reacción química. Muchas de las dificultades que se presentan durante el proceso enseñanza-aprendizaje de este tema, se deben a la gran exigencia conceptual y cognitiva que representa su estudio para los estudiantes de bachillerato, lo que nos lleva a pensar si resulta o no pertinente seguir enseñándolo en el nivel medio superior. En México no se encuentran reportados estudios al respecto.

Sin embargo, el conocimiento de este concepto es de fundamental importancia en el aprendizaje de la Química, ya que permite la enseñanza, sistematización, articulación y profundización de otros conceptos científicos.

Por otro lado, si bien existen muchas investigaciones sobre las concepciones alternativas que presentan los alumnos de bachillerato y licenciatura sobre este concepto, no hay suficiente material didáctico ni investigaciones educativas sobre el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) de los docentes que lo enseñan.

Por lo anterior, consideramos necesario el realizar un estudio para capturar el CDC de los docentes mexicanos que imparten el tema de Equilibrio Químico en el bachillerato y las licenciatura del área de la química y la salud.

2. PROBLEMA Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Problema de investigación

La naturaleza multidimensional y compleja de los estudios en investigación educativa en ciencias requiere determinar el alcance del estudio que se pretende llevar adelante, tanto desde el punto de vista de la metodología de la investigación como desde la perspectiva de la enseñanza y el aprendizaje.

Existen numerosas investigaciones en didáctica de las ciencias (Moncaleano y colaboradores, 2003) que muestran lo poco eficaces que han sido las estrategias tradicionales de enseñanza del equilibrio químico para promover su aprendizaje significativo, por lo que se hace necesaria la búsqueda de nuevas propuestas didácticas enmarcadas en una visión actual de la educación científica, es decir, partir de preguntas que surjan del entorno del estudiante y tomen en consideración sus conocimientos conceptuales y procedimentales, para avanzar rumbo a la construcción de modelos científicos con base en la interpretación del fenómeno en el mundo nanoscópico.

Izquierdo y Aliberas (2004) plantean que uno de los retos de este tercer milenio es lograr que la educación química sea razonable y racional, para que genere opinión y contribuya al desarrollo humano de todas las personas, desde primaria hasta universidad. La enseñanza del concepto de equilibrio químico, hasta ahora, no ha sido razonable ni racional; los problemas que se les pide resolver a los alumnos no les son significativos y muchas veces ni siquiera los entienden porque no los identifican en su entorno y como, se presenta tradicionalmente en forma paralela al principio de Le Chatelier, el resultado es que los alumnos memorizan el principio y lo aplican como regla nemotécnica (Huerta, P., 2008).

La enseñanza del equilibrio químico, al igual que otros contenidos de las clases de ciencias, sólo tendrá sentido si le brinda al alumno las herramientas necesarias

para entender los hechos paradigmáticos del mundo y a través de ellos, éste logra construir los modelos teóricos que utiliza la ciencia (Izquierdo, 2005).

La construcción de conocimientos por los estudiantes, en el marco de una determinada propuesta, se da en una “situación” en la que se articulan los objetivos de aprendizaje, las tramas de contenidos a enseñar que se han elaborado, la información que se consigue acerca de las concepciones de los alumnos, las actividades que se proponen y la forma de evaluar que se programe. Todo ello configura la situación de aprendizaje compleja y multidimensional que se ha de analizar a la hora de decidir su relación con el aprendizaje.

Si bien el aprendizaje en ciencias implica adquisición de conceptos, procedimientos y actitudes de una manera integrada, el presente estudio apunta a poner de relieve lo que ocurre con el aprendizaje conceptual, pero a partir del conocimiento didáctico del contenido de los profesores que imparten este concepto en el aula.

Las nuevas estrategias que actualmente se recomiendan emplear en el aula, con el propósito de que el estudiante participe activamente en el aprendizaje de los conceptos científicos, han dado lugar a que se requiera que el profesor sea un mediador, un guía, un orientador, para que sus estudiantes adquieran en forma significativa el conocimiento.

Feuerstein y otros (1980) expresan que todo sujeto tiene la capacidad de modificar sus procesos de aprendizaje cognitivo, lo cual se consigue a través de la interacción activa entre el individuo y las fuentes internas y externas de estimulación. Destacaron el concepto de *mediador*, cuya labor consiste en implicar al sujeto en su experiencia de aprendizaje; favorecer que el sujeto aprenda a aprender; fomentar la curiosidad intelectual, la originalidad y la creatividad; permitir que el sujeto se auto-perciba activo, capaz de generar y procesar información; efectuar un seguimiento más individualizado, enriquecido por el diálogo con el grupo; promover la interacción entre el sujeto y el medio ambiente.

El profesor debe organizar y estructurar los contenidos programáticos; seleccionar los temas a tratar en clase, para que el alumno pueda generar y procesar

información que finalmente lo conduzca al aprendizaje, al introducirlo en gran variedad de estrategias y procesos que le permitan experimentar sus habilidades cognitivas, es decir, desarrollar más su capacidad de aprender. Pero involucrar al sujeto en su experiencia de aprendizaje no resulta simple, pues implica el desarrollo de la cognición, es decir, del conocimiento adquirido por la inteligencia y sus procesos mentales como son la atención, la memorización, la percepción, la generalización, etc., procesos que ayudan al sujeto a enfrentarse con su medio.

El papel que ocupa el profesor en la adquisición y construcción del conocimiento en sus alumnos, alcanza importancia relevante pues se enfrenta al obstáculo que representan los múltiples problemas conceptuales, procedimentales y actitudinales que poseen los alumnos sobre el tema al ingresar al aula. Es importante recordar que los profesores representan una de las principales variables en el proceso enseñanza- aprendizaje de conceptos científicos, principalmente junto con los alumnos, los libros de texto, los laboratorios, los planes y programas de estudio y, actualmente, la radio y televisión (Mellado y otros, 2006) y las nuevas tecnologías.

El desempeño docente dentro del aula es uno de los factores trascendentales en el logro académico de los estudiantes. La docencia se ha profesionalizado cada vez más y las transformaciones sociales y las características de los estudiantes exigen mayor preparación y conocimiento técnico pedagógico, para incidir de manera significativa en su formación y aprendizaje escolar.

Los profesores tenemos ideas, comportamientos y actitudes sobre la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, que pueden obstaculizar una actividad docente innovadora (Vázquez y otros, 2009 y 2010); colectivamente podemos reflexionar y analizar las concepciones y prácticas asumidas acríticamente y construir propuestas coincidentes con la investigación e innovación didáctica actual; requerimos de la autocrítica para reconocer la insuficiencia, en general, de nuestra formación profesional y de nuestra enseñanza habitual.

Usualmente el profesor únicamente se refiere al conocimiento de la materia, pero no incluye:

- a. El conocer los problemas y contextos que dieron lugar a la construcción de conocimientos científicos y, en particular, los obstáculos epistemológicos que se opusieron a dichos progresos.
- b. Conocer las estrategias metodológicas empleadas en estas construcciones científicas.
- c. Adquirir conocimientos teóricos sobre la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.
- d. La preparación de actividades de aprendizaje. e) La dirección de la actividad de sus alumnos.
- e. Conocer las interacciones existentes entre ciencia, técnica y sociedad asociadas a los conocimientos científicos.
- f. Conocer desarrollos científicos recientes para adquirir una visión dinámica, no acabada, de la ciencia.
- g. Saber seleccionar contenidos adecuados que den una visión correcta de la ciencia y sean accesibles e interesantes para los estudiantes. i) Evaluar el proceso de enseñanza/aprendizaje y su implicación en tareas de innovación e investigación (Gil, 1991).

Con respecto a la formación del profesorado de ciencias, se presenta el desafío de determinar qué conocimientos y creencias del profesor están relacionadas con su práctica y actitudes, cuán fuertes son estas relaciones y cuáles son las causas de las mismas. Al igual que los alumnos, los profesores de ciencias tenemos concepciones alternativas y actitudes respecto de la ciencia y la enseñanza que pueden favorecer o no la adquisición de nuevos conocimientos didácticos, por lo cual tanto los profesores en formación como en activo, a partir del análisis de esas concepciones deben ampliar sus recursos y modificar sus perspectivas, para orientar su propia formación como un cambio conceptual, metodológico y actitudinal, aplicado a la enseñanza.

La investigación sobre las concepciones y la práctica de los profesores es uno de los principales temas de la agenda de investigación en didáctica de las ciencias (Tobin y otros, 1994; Tobin, 1998; Freitas y otros, 2004; Mellado y otros, 2006, Vázquez y otros, 2007). Sin embargo, en el caso del tema de Equilibrio Químico

hay poca información sobre cuáles son las concepciones alternativas de los docentes que imparten el tema, tanto en bachillerato como en licenciatura. Porlán y Martín del Pozo (1996) expresan la importancia de conocer las concepciones científicas del profesorado, por diversas razones, entre las que se encuentran: tienen cierta relación con el modelo de enseñanza que se lleva a cabo y con lo que se entiende por enseñar, guardan cierta coherencia con las concepciones que se refieren a cómo aprenden ciencias los alumnos, muchos profesores participan de los mitos científicos dominantes en nuestra sociedad (el mito del progreso científico, de lo científico como absoluto y de los expertos como seres infalibles), forman parte de un sistema más amplio de creencias en torno al conocimiento en general, a su naturaleza, génesis y evolución y a los procesos a través de los cuales se construye y facilita en contextos institucionales y, por último y no menos importante, influyen en las concepciones científicas del alumnado y contribuyen a formar y/o reforzar la imagen de la ciencia del público en general.

Cuando en este trabajo se plantea que se pretende estudiar la relación existente entre el aprendizaje de los alumnos y una forma determinada de enseñar, en este caso, Equilibrio Químico, se hace con el convencimiento de que las variaciones en el aprendizaje que se producen cuando se realizan cambios en la enseñanza, no puede considerarse simplemente una relación causa–efecto (Fenstermacher, 1989). Si se concibe al que aprende como responsable último del hecho de aprender y se tiene en cuenta, desde esta perspectiva de análisis, que la intencionalidad del comportamiento humano es uno de los rasgos distintivos de la investigación educativa, ello requiere adoptar una perspectiva de investigación cualitativa que tenga en cuenta esta situación y analice integradamente lo que ocurre con el aprendizaje, en la situación real en que se desarrolla la investigación.

En este sentido dos de las primeras preguntas que guiaron esta investigación son:

¿Qué necesita conocer y saber hacer un profesor para impartir el tema de equilibrio químico, de tal forma, que este aprendizaje sea lo suficientemente

significativo para que los alumnos lo usen en la construcción de explicaciones argumentadas científicamente de los fenómenos que observan a su alrededor?

¿Por qué un profesor que tiene una buena comprensión del concepto equilibrio químico, e incluso ha sido formado para enseñarlo, no parece tener éxito en su enseñanza, con base en la investigación educativa sobre el tema?

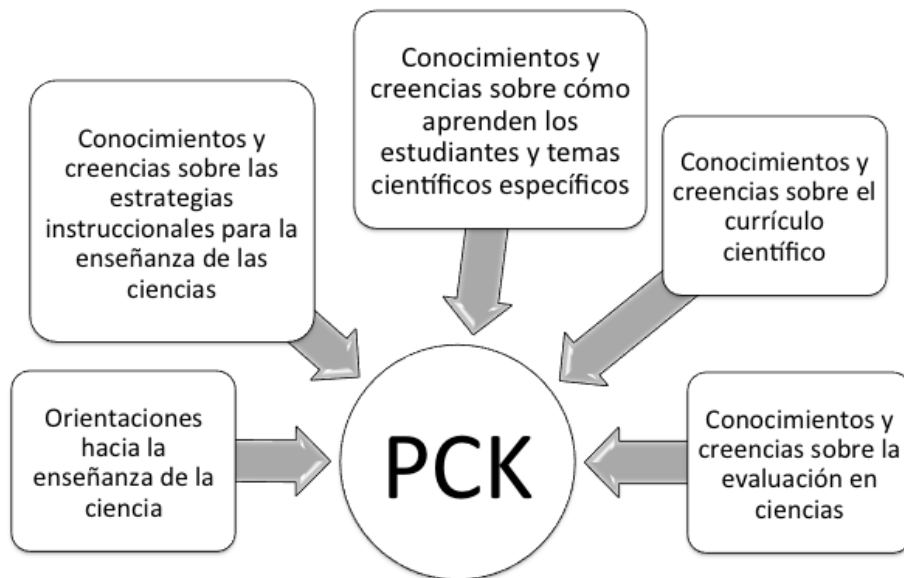
Con la intención de dar respuesta a estas preguntas, nos propusimos investigar el *Conocimiento Didáctico del Contenido* (CDC en lo sucesivo) –*Pedagogical Content Knowledge* en inglés (PCK)–, un concepto propuesto inicialmente por Lee S. Shulman en 1983 y que hoy se considera clave para la investigación y la mejora de la práctica docente del profesorado.

Shulman (1986), consideró el CDC como “el conocimiento base para la enseñanza, que describe la capacidad de los profesores para ayudar a que los estudiantes comprendan un tema o concepto determinado”. Consideró que los factores clave del CDC son el conocimiento de las representaciones del tema y la comprensión de las dificultades específicas de aprendizaje. Con base en esto, planteó que para ubicar el conocimiento que se desarrolla en la mente de los profesores, hay que distinguir tres tipos de conocimientos:

- El Conocimiento del Contenido Temático de la Asignatura (CA), que se refiere a la cantidad y organización del conocimiento del tema *per se* en la mente del profesor, requiriéndose ir más allá del conocimiento de los hechos o conceptos de un dominio y entender las estructuras del tema.
- El Conocimiento Curricular (CC) representado por el abanico completo de programas y materiales (como libros de texto, software, demostraciones de laboratorio), diseñados para la enseñanza de temas particulares que se encuentra disponible en relación con estos programas, incluyendo indicaciones y contraindicaciones para el uso de currículo particulares o materiales de programas en circunstancias particulares.
- El Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC), que es el que ha recibido más atención, tanto en el campo de la investigación como en el de la práctica. Shulman (1987) lo definió como las formas de representar y

formular el contenido temático para hacerlo más comprensible para los demás, y expresó: es el conocimiento que va más allá del tema de la materia per se y que llega a la dimensión del conocimiento del tema de la materia para la enseñanza. El CDC es diferente del Conocimiento Didáctico general para la enseñanza, el cual comprende principios genéricos de organización y dirección en el salón de clases, y el conocimiento de las teorías y métodos de enseñanza.

Por otro lado, Magnusson y colaboradores (1999), proponen que el Conocimiento Didáctico del Contenido se compone de los siguientes elementos:



El CDC habilita al profesor para responder preguntas como: ¿Qué analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones de laboratorio, simulaciones, son las formas más efectivas para comunicar los entendimientos adecuados o las actitudes de un determinado tópico a estudiantes con antecedentes particulares?, es decir, se refiere a la transducción que debe hacer el docente para hacer comprensible los temas que imparte. También incluye la comprensión de lo que facilita o dificulta el aprendizaje de tópicos específicos y las concepciones y preconcepciones con que los estudiantes de diferentes edades y antecedentes acceden al aprendizaje de los distintos tópicos enseñados.

En resumen, el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC), es una forma de describir el conocimiento que poseen los profesores. Es una especie de puente entre aspectos pedagógicos y de contenidos que pueden ser útiles para mejorar la enseñanza de las ciencias en sus diversos aspectos. Muchas investigaciones tratan el tema como herramienta ventajosa en la formación del profesorado de ciencias, campo que históricamente se ha enfocado solamente a la formación disciplinaria.

Sin embargo, después de una investigación bibliográfica sobre el CDC de profesores que imparten equilibrio químico, nos dimos cuenta que el tema está prácticamente desierto. Con base en lo anterior, el problema objeto de estudio de la presente tesis doctoral es:

Frente a lo difícil que sigue siendo el enseñar y aprender el equilibrio químico, en todos los niveles educativos y, dado el papel central que este concepto tiene en el aprendizaje de la química y su necesidad en el entendimiento de tantos fenómenos de relevancia industrial y contextual, como son los desequilibrios atmosféricos, nos proponemos indagar el CDC de los profesores que imparten el tema en la Universidad Nacional Autónoma de México, particularmente en la Escuela Nacional Preparatoria y en la Facultad de Química.

2.2 Preguntas de investigación

Con base en lo anterior, las preguntas que dirigieron esta investigación son:

- ¿cuáles son las diferencias entre los docentes de bachillerato y los de licenciatura en la enseñanza del tema equilibrio químico?
- ¿es posible, que el CDC de los docentes nos de información acerca de cuál es el marco de enseñanza (cinético o termodinámico) didácticamente más adecuado para el aprendizaje del equilibrio químico?
- ¿cuáles son las metodologías de enseñanza y las formas de evaluación más adecuadas de este concepto, que le permita al estudiante un

aprendizaje significativo y la construcción de explicaciones argumentadas sobre los fenómenos de su entorno, relacionados con este concepto?,

- ¿es el CDC una herramienta útil en la identificación de un modelo de enseñanza del equilibrio químico que nos aleje de las numerosas concepciones alternativas que se forman durante la instrucción de este concepto?
- El conocimiento del CDC de los docentes que imparten el equilibrio químico ¿permite el desarrollo de propuestas que nos guíen a la construcción de estructuras conceptuales útiles para la interpretación del comportamiento de los sistemas en equilibrio que sean la base para superar las dificultades conceptuales que se sabe que existen en el aprendizaje de este tema?

2.3 Objetivos generales del proyecto

Uno de los objetivos centrales de esta investigación es comprender mejor la complejidad del proceso de enseñanza aprendizaje del concepto equilibrio químico.

En acuerdo con lo que afirma Mercè Izquierdo (2004, p. 117), es necesario “implicar a los alumnos en fenómenos relevantes y significativos para ellos, y garantizar una dinámica que les permita pensar, hacer y comunicar de manera coherente “según las reglas del juego de la química”. No bastan las buenas preguntas ni un sistema de valores adecuado; es necesario disponer de buenas teorías que ayuden a pensar y de las palabras adecuadas para sustentar una dinámica cognitiva que es, a la vez, intervención y transformación del mundo”.

Frente al problema tan importante que plantea la enseñanza del equilibrio químico, el papel central que éste juega en la educación química y con base en los resultados de la literatura especializada, que indican la importancia de poner atención a la forma como se presenta la enseñanza y al seguimiento que se debe hacer sobre la persistencia de las concepciones alternativas, cambiando la estrategia de instrucción para evitarlas.

Con lo anterior en mente, en este estudio trabajaremos en la captura del CDC de ocho profesores mexicanos, cuatro de bachillerato y cuatro de licenciatura, con la finalidad de identificar si existe congruencia entre las dificultades de enseñanza aprendizaje del concepto y las metodologías y formas de evaluación que emplean los docentes. La finalidad de esto será la búsqueda de una propuesta didáctica que favorezca una nueva dinámica de clase basada en la comunicación de las ideas y una enseñanza de la química como un proceso de modelización.

De esta suerte, los objetivos que nos planteamos en esta investigación son:

- Capturar el Conocimiento Didáctico del Contenido de ocho profesores mexicanos que imparten el tema de equilibrio químico en el bachillerato y la licenciatura de la UNAM.
- Indagar sobre las metodologías de enseñanza y las formas de evaluación que acostumbran los docentes y comparar las de los dos niveles de enseñanza, en la búsqueda de aquellas que promuevan de mejor manera el aprendizaje significativo de los alumnos.
- Comparar los “modelos de enseñanza” de los profesores de ambos niveles para obtener información de las ventajas y desventajas de la enseñanza de este concepto en el campo de la termodinámica y de la cinética.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 El papel central del equilibrio químico en la enseñanza de la química

La importancia del estudio del equilibrio químico, radica en que es complemento esencial en el aprendizaje de varios temas importantes en el estudio de la química, particularmente en el de cambio químico. El conocimiento del equilibrio químico es crucial para saber hasta qué punto avanza un proceso, cuál es su límite termodinámico y cuáles sus aplicaciones industriales de importancia económica.

La importancia del estudio de este concepto, radica en que por una parte, complementa el tema de reacción química, razón por la cual se considera fundamental en el estudio de la química (figura 1), y por otra, permite comprender los equilibrios de la naturaleza, de aplicación industrial y de la vida cotidiana, como son la formación de la capa de ozono, la regulación del pH en la sangre, la adaptación al mal de altura, etc.

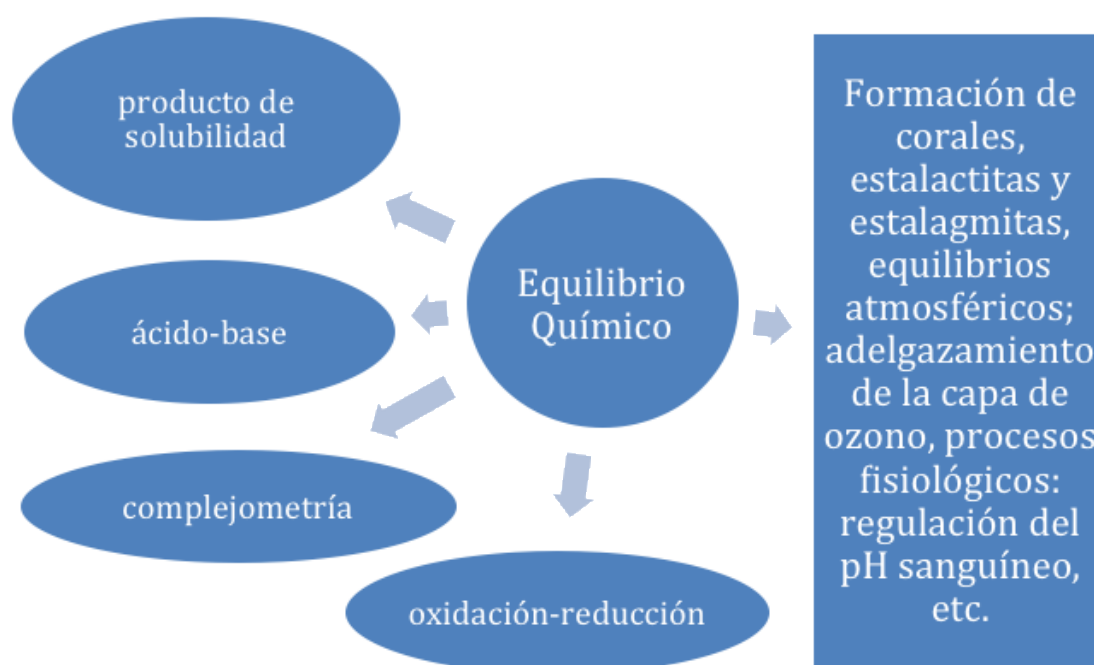


Figura 3.1. El equilibrio químico; complemento del cambio químico e importancia contextual.

El entender el equilibrio químico le permitirá a los estudiantes no solo tener un conocimiento más completo de la reacción química, podrá comprender los diversos sistemas en equilibrio que se encuentran en su entorno; tanto naturales como de importancia industrial (Irazoque, 2010).

Con el estudio del tema los alumnos reconocerán la importancia social y científica del mismo y tendrán información que les permita identificar las variables de control de estos procesos y la importancia de generar un comportamiento crítico y responsable hacia el medio ambiente. Tradicionalmente, la enseñanza de este concepto se hace con base en el Principio de Le Chatelier (Raviolo, et al, 1998). Esto impide que los alumnos identifiquen y caractericen el concepto para posteriormente puedan usarlo en la explicación de las rupturas de los equilibrios naturales, tan de moda en nuestros días.

El equilibrio químico es un concepto abstracto y complejo de interpretar, que requiere de una terminología específica, tiene gran demanda de prerrequisitos conceptuales y un alto grado de enlace con conceptos que tampoco son sencillos de enseñar, como es el de reacción química, por ejemplo. La investigación educativa menciona que a diferencia de otros temas del currículo, una parte importante de las concepciones alternativas relativas al equilibrio químico se generan durante la instrucción y se heredan de otros conceptos como el de reacción química. Enseñar el tema de equilibrio químico es un desafío en todos los niveles educativos, desde la educación media hasta la universitaria (Moncaleano, et al, 2003).

Por otro lado, Shayer y Adey (1981) sostienen que un alumno que no ha alcanzado un nivel de pensamiento formal avanzado es incapaz de entender las características del equilibrio químico: simultaneidad de dos procesos en direcciones opuestas.

Los alumnos que comprendan el concepto de equilibrio químico podrán entender algunos de los cambios en el medio ambiente debidos a la actividad humana. El caso del adelgazamiento de la capa de ozono podría ser uno de los más relevantes porque ya empieza a afectar la calidad de vida de los seres vivos. Si los alumnos comprenden de qué se trata el equilibrio químico que mantenía el grueso de la capa de ozono en la estratosfera hasta hace algunos años, podrán entender las alteraciones de éste, podrán comprender las causas que están provocando el adelgazamiento de esta capa en diversas partes de la atmósfera y, solo así, podrán imaginar propuestas de solución a este problema. Es importante que conciban que implica el que el ozono de la estratosfera se encuentra en un estado de equilibrio dinámico, porque este gas se produce y descompone continuamente, pero siempre se mantiene en una proporción determinada.

No menos relevantes son las aplicaciones industriales de importancia económica, donde se ponen en juego simultáneamente conceptos de equilibrio y cinética química, como la síntesis del amoníaco (proceso Haber) o la producción de hierro metálico por reducción del mineral de hierro. El conocimiento del equilibrio es crucial para saber hasta qué punto avanza un determinado proceso, cuál es su límite termodinámico y con qué aplicaciones industriales de importancia económica están relacionados estos equilibrios.

Con el estudio del tema los alumnos reconocerán la importancia social y científica del mismo y tendrán la información necesaria para poder identificar las variables de control de estos procesos y la importancia de generar un comportamiento crítico y responsable hacia el medio ambiente.

El equilibrio químico es un concepto abstracto y complejo de interpretar, que requiere de una terminología específica, tiene gran demanda de prerrequisitos conceptuales y un alto grado de enlace con conceptos que tampoco son sencillos de enseñar, como es el de reacción química, por ejemplo (figura 3.2).



Figura 3.2. Conceptos antecedentes al estudio del equilibrio químico.

3.2 Evolución histórica del concepto

La evolución histórica del equilibrio químico ha sido descrita en varias revisiones (Berger, 1997; Laidler, 1985; Lindauer, 1962; Lund, 1965, 1968). El concepto fue introducido en 1860 en el contexto de estudios empíricos de conversiones químicas incompletas y reversibles. Las explicaciones para este fenómeno fueron formuladas sobre las bases de dos perspectivas teóricas esencialmente diferentes, un marco teórico cinético y uno termodinámico. (Machado, E.,)

La historia y epistemología de la química, nos indican que el concepto de equilibrio químico apareció tardíamente en química, cuando ya se había consolidado la "química de las sustancias" (Sánchez e Izquierdo, 1996).

Se han identificado tres etapas en el desarrollo histórico del concepto. En la primera de ellas, se tenía la necesidad de responder la pregunta: ¿por qué hay unas sustancias que reaccionan entre ellas y otras que no lo hacen? En la búsqueda de posibles respuestas se realizó una tabulación empírica, construida a partir de las reacciones de desplazamiento, que representaba el comportamiento

observado y el previsible en la interacción de algunas sustancias. Bergman (1775) en *De attractionibus electivis* expuso el concepto de afinidad electiva como propiedad dependiente solo de la naturaleza de los componentes de las sustancias y que determina el resultado de las interacciones de éstas. Sin embargo, se tuvieron que considerar otros factores para poder responder las preguntas que había sobre cuál era el mecanismo responsable de estas reacciones y de las anomalías que presentaban respecto al sistema de Bergman.

Las reacciones entre ácidos y bases se habían clasificado ya en completas e incompletas y, con base en estas diferencias observadas, surgió una nueva pregunta sin respuesta: ¿por qué unas sustancias reaccionan totalmente y otras no?

Por otro lado, una vez que Lavoisier fundamenta su “Sistema Químico” en la Ley de Conservación de la masa, aumenta el interés por entender ¿de qué manera influye la masa de los reactivos en el progreso de una reacción química?

Paralelamente, Berthollet (1803) modifica el “sistema de afinidades” al considerar que la actividad química de una sustancia tenía dos contribuciones: la afinidad de esta sustancia hacia otra y la masa de la primera que estaba en contacto con la segunda. De esta manera se explicó el hecho de que las reacciones pueden llevarse a cabo en sentido contrario al predicho por las afinidades electivas.

Durante la primera mitad del siglo XIX, las ideas sobre las afinidades electivas y la participación de la masa en las reacciones químicas quedaban enmarcadas en las ideas del atomismo de Dalton y como Berthollet asumía que las proporciones de los componentes en una sustancia podrían ser variables, algunos químicos asumieron incompatible la ley de las masas con las teorías atómicas.

Por otro lado, se observó que factores como la volatilidad, la solubilidad, el calor y la fuerza de cohesión, concepto ya definido por Berthollet, intervenían en el efecto de las masas sobre la dirección de las reacciones químicas. Esto hacía muy complejo el problema y los químicos lo abandonaron por varios años.

En aquel entonces, Berthollet consideraba el estado de equilibrio como estático, en comunión con las ideas de balance mecánico de fuerzas que manejaban los

físicos de aquel entonces. Parecía que las interacciones químicas eran el resultado de fuerzas atractivas mutuas actuando entre los reactivos, lo que llevaba implícita, siguiendo la mecánica newtoniana la consecuencia de un equilibrio estático en el punto en que las fuerzas en ambos sentidos son iguales. A partir de la segunda mitad del siglo XIX muchos químicos diseñaron experimentos para verificar la acción de la masa en las reacciones químicas. Era preciso preguntarse entonces, ¿cuáles son las causas que estabilizan las reacciones de equilibrio?

En 1864, Guldeberg y Waage publican la Ley de acción de masas en la que introducen un nuevo concepto: la masa activa, que esencialmente coincide con el término actual de concentración. Para ello, tomaron en cuenta los trabajos de Berthollet, en particular los conceptos de masa activa y el de la esfera de acción en la que actuaban las fuerzas de cohesión. Las fuerzas en cada sentido eran proporcionales a las masas activas de los reactivos y quedaban igualadas en el equilibrio.

3.2.1 El equilibrio químico en el marco de la cinética

Desde la perspectiva cinética, Pfaundler formuló una explicación para la disociación parcial del cloruro de amonio en amoníaco y cloruro de hidrógeno. Lo hizo en término de movimiento y colisiones de partículas, cuya energía cinética es disipada a cierto valor, la cual está relacionada con la temperatura. Como consecuencia, en algún momento, a temperatura y presión constante, algunas moléculas podrían descomponerse mientras otras nuevas se forman por las colisiones.

En un estado de equilibrio, el número de moléculas por unidad de tiempo que están siendo descompuestas debe ser igual al número de moléculas que son formadas.

Más tarde, Guldberg y Waage fueron los primeros en derivar una ecuación matemática para las masas activas. (Guldberg y Waage, 1879). Sin embargo, más que usar nociones corpusculares explícitas, Guldberg y Waage dedujeron su ecuación sobre la base de sus estudios empíricos.

3.2.2 El equilibrio químico en el marco de la termodinámica.

Dentro del marco termodinámico, una explicación cualitativa para el fenómeno del equilibrio fue dada por Horstmann (1873). Él usó la Segunda Ley de la Termodinámica como punto de partida para razonar que en un estado de equilibrio químico, la entropía del sistema debe ser máxima. En su visión, los procesos moleculares son sólo influenciados por el tiempo que les lleva alcanzar el estado de equilibrio.

Van't Hoff formuló las características del equilibrio químico en términos de un sistema dinámico (Van't Hoff, 1884). Muy poco tiempo después, esta formulación fue adaptada por Le Chatelier, quien propuso una regla simple, explicando el comportamiento de los sistemas en equilibrio debidos a cambios en presión, volumen, concentración o temperatura, en términos de cambios para compensar parcialmente el "stress" aplicado (Le Chatelier, 1884).

Por su cuenta, Van't Hoff elaboró una ley sobre la base de igualar las velocidades de reacción en los dos sentidos, lo cual implicaba una perspectiva dinámica del mecanismo de las reacciones. Actualmente, esta propuesta sigue vigente mayoritariamente en la enseñanza del equilibrio químico.

La visión termodinámica. Desde que se propone la teoría de la afinidad, se tenía una pregunta pendiente: ¿de qué manera influye el calor de reacción en el equilibrio de las reacciones? Bergman (1775) construyó incluso tablas de afinidad para aquellas sustancias que reaccionaban a altas temperaturas, ya que suponía que el calor era la única causa que podía enmascarar las fuerzas de afinidad.

Hubo que esperar a la segunda mitad del siglo XIX en que Thompson y Berthelot formularan, a partir de métodos calorimétricos, que la magnitud del calor de una reacción química era una medida directa del máximo trabajo disponible de las fuerzas que actuaban, es decir, de la afinidad química; las reacciones exotérmicas habían de ser espontáneas y las endotérmicas no.

Van't Hoff deduce la ecuación que relaciona la variación del estado de equilibrio (la constante K) con la variación de la temperatura, que adquiere un carácter más general con las deducciones de Gibbs (1870) sobre potenciales termodinámicos. El

desarrollo de esta argumentación condujo a medir la afinidad química reformulada como energía libre.

3.3 El estudio del equilibrio químico en México

Gran parte de los currículos de bachillerato en el mundo contemplan el estudio del equilibrio químico y casi en todos ellos se le ubica en los últimos años de este nivel educativo. Muchos autores afirman que lo anterior se debe a que es un concepto abstracto de difícil comprensión y con una gran carga conceptual y esto justifica que su estudio se inicie hasta el último curso de química de la enseñanza media superior.

Otra razón por la que este tema es incluido hasta el final del bachillerato es que, desde el punto de vista del desarrollo cognitivo del alumno, la naturaleza abstracta del concepto requiere de la utilización del pensamiento formal para su comprensión. Wheeler y Kass (1978) en su investigación, sostienen que un alumno que no ha alcanzado un nivel de pensamiento formal avanzado es incapaz de entender que el equilibrio químico es un proceso dinámico: dos procesos con sentidos opuestos.

En los programas de estudio de la licenciatura, el tema está considerado generalmente en el primer tercio de las carreras del área.

3.3.1 Su ubicación en los currículos mexicanos.

3.3.1.1 En el bachillerato universitario.

La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) cuenta con dos subsistemas de bachillerato, uno de ellos es la Escuela Nacional Preparatoria (ENP) y el otro es El Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH).

La ENP tiene nueve planteles a los que actualmente asisten cerca de 48,000 alumnos y 2,400 profesores (<http://www.dgenp.unam.mx/acercaenp/index.html>), el CCH cuenta con cinco planteles.

El bachillerato universitario tiene una identidad propia y metas específicas para impulsar y consolidar la formación integral de sus alumnos como ciudadanos de su época y su nación. Su misión está dirigida a prepararlos para una carrera

determinada; al mismo tiempo pretende el desarrollo integral de sus facultades para hacer de ellos ciudadanos cultivados, con una personalidad propia dentro de la formación de una disciplina intelectual que lo dote de un espíritu científico, de una cultura general que le dé una escala de valores, de una conciencia cívica que le defina sus deberes frente a su país y frente a la humanidad.

A partir de 1996 se han actualizado los programas de estudio de la Nacional Preparatoria y se ha considerado que esto es suficiente para mantener la vanguardia en la enseñanza, pues no se había hecho una reforma desde los planes de estudio de 1964. El currículo de química actual contempla las siguientes asignaturas (figura 3.3):

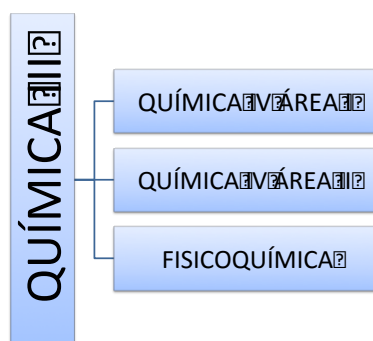


Figura 3.3. Asignaturas de química que se imparten en la ENP (Huerta, 2008).

El curso de Química III es introductorio, se imparte a toda la población estudiantil en el quinto año, es un curso de química general y pretende el estudio de la química necesaria para tener una cultura general. Los otros tres cursos deben ser una herramienta útil para el estudiante de las áreas físico-matemáticas (I) y químico-biológicas (II), son cursos propedéuticos que se imparten en el sexto año del bachillerato.

Estos programas de estudio presentan una distribución instruccional, son un listado de contenidos con una serie de actividades que no están bien definidas, ni estructuradas. Se favorece la exposición oral del profesor y no se fomentan las capacidades creativa e innovadora del alumno ni del profesor. Se dan instrucciones en términos propios de un aprendizaje memorístico, conductista y

nunca se describe cómo se deben abordar estas estrategias o cuáles son sus finalidades.

Algunos temas están incompletos y carecen de una estructura conceptual coherente, en muchos casos se salta de un tema a otro sin una continuidad, los conceptos se trabajan como temas sueltos, aislados. El programa de química III pretende dar un enfoque CTS y toma ideas relacionadas con algunos temas ambientales, saltando de estas aplicaciones a los conceptos químicos, regresando al listado de actividades cerradas que indican que la ciencia tiene una sola solución o respuesta. La mayoría de los contenidos vuelven a estar alejados de los intereses propios de los alumnos, de hecho, nunca se toma en cuenta al alumno y sus características propias.

No se integran los tres niveles de representación: macroscópico, nanoscópico y simbólico, predominando en los contenidos la interpretación nanoscópica por parte del alumno. De hecho el nivel simbólico no está del todo claro, ya que no se contempla el tema de nomenclatura química, en el programa de química III.

Las estrategias didácticas sólo se mencionan pero no están bien descritas ni tienen la profundidad necesaria. No se sugieren actividades experimentales puntuales; existe un manual de prácticas que en muchas ocasiones no coincide con el programa de estudio y los experimentos se presentan descontextualizados, sin aplicaciones de la vida cotidiana. Se menciona el uso de lecturas, experimentos y videos que no se describen y tampoco se indica de qué manera deben usarse.

En la ENP, el estudio del equilibrio químico está contemplado en el tercer año de las áreas de estudio I (matemáticas e ingenierías) y II (ciencias de la salud).

3.3.1.2 En las licenciaturas de la Facultad de Química de la UNAM.

Prácticamente en todos los currículos de las licenciaturas relacionadas con la Química, el estudio del equilibrio químico se contempla en el primer tercio de los Planes de Estudio.

La Facultad de Química cuenta con 8 112 alumnos inscritos. En agosto de este año, ingresaron 1 375 estudiantes a la facultad de química de la UNAM. Se estudian cinco carreras: Química, Ingeniería Química, Ingeniería Química metalúrgica, Química de Alimentos y Química Farmacéutica Biológica.

El tema de equilibrio químico, se estudia en dos momentos en la Facultad de Química de la UNAM. Por un lado, forma parte del Programa de Estudios de la asignatura titulada Química General II que se imparte en el segundo semestre del tronco común de la Facultad, es decir, todos los alumnos, independientemente de la carrera que hayan elegido, deberán cursarla. Es un curso teórico-práctico y los objetivos que se indican en relación con el estudio del equilibrio químico son:

- a) Que se establezcan las condiciones que determinan los aspectos macroscópicos de un sistema en equilibrio y predigan cualitativamente el sentido del desplazamiento de la condición de equilibrio.
- b) Que apliquen los conocimientos del equilibrio químico en la predicción de reactivos y productos.

Los alumnos que cursan esta materia, deberán estudiar como primer tema el de "Estequiometría en reacciones completas y después el tema de equilibrio químico al que se le dedican cinco horas de teoría y diez de laboratorio. Los subtemas que se contemplan son:

- Reacciones cuantitativas. Reacciones no cuantitativas y reversibilidad.
- Orígenes cinéticos de la Ley de Acción de masas. Ley de Acción de Masas. Cociente de reacción y la constante de equilibrio, K_{eq} , K_c , K_p .
- Sistemas homogéneos (gaseosos). Sistemas heterogéneos. Sistemas en disolución.
- Alteración de la condición de equilibrio. Aspectos cualitativos y tendencia al equilibrio químico. Temperatura, concentración, volumen, presión. Aspectos cuantitativos.
- Aplicación de la K_{eq} a la predicción o cálculo de concentraciones al equilibrio (problemas). Aplicación de K_{eq} cuando se altera la condición de

equilibrio, para los cálculos de la nueva situación de equilibrio. Problemas numéricos.

El temario continúa con el estudio de equilibrios ácido base en disolución acuosa en donde ven, entre otras cosas, disoluciones amortiguadoras.

La otra asignatura donde se estudia equilibrio químico es la de “Equilibrio y cinética” que al igual que la anterior, es de tronco común pero de tercer semestre. Inicia con los temas de Equilibrios físicos (sistemas ideales) y Sistemas binarios, para después entrar al estudio del Equilibrio Químico (sistemas ideales), pero ahora enmarcado en la termodinámica. El tiempo dedicado al tema son dieciocho horas; nueve de teoría y nueve de laboratorio. Los subtemas que se tratan son:

- Análisis de las propiedades de la energía de Gibbs y el potencial químico como criterio de espontaneidad y equilibrio. Aplicación de la energía de Gibbs y del potencial químico a procesos químicos.
- Constante de equilibrio termodinámica de sistemas homogéneos y heterogéneos.
- Factores que afectan a la constante de equilibrio, su dependencia con la P, T y concentración.
- Cálculo del grado de conversión para sistemas reaccionantes homogéneos y heterogéneos.

El curso finaliza con el estudio del tema de Cinética Química.

El tercer curso en el que se estudia el concepto es el de la Termodinámica Química. Esta materia se imparte en seis horas a la semana; cuatro de teoría y dos de laboratorio, pertenece al cuarto semestre de la carrera de Ingeniería Química y es de carácter obligatorio.

El curso inicia con el tema de Principios Fundamentales en el que se ven el concepto y los criterios del equilibrio; las condiciones generales del equilibrio, su aplicación en sistemas cerrados, el estado de equilibrio con diferentes restricciones y, después de establecer la estructura matemática necesaria, se

estudian diagramas de fase, ecuaciones de estado, coeficientes de actividad y funciones en exceso, para cerrar el curso con los temas:

- Enfoque termodinámico: Constante de equilibrio.
- Enfoque no estequiométrico.
- Regla de las fases.
- Equilibrio físico y químico en sistemas de varios sistemas reaccionantes.

Esta asignatura pertenece al segundo semestre del Tronco Común, es decir, se imparte a todos los estudiantes de la Facultad.

3.4 Concepciones alternativas y dificultades de enseñanza aprendizaje reportadas sobre el tema.

Por lo anterior, la enseñanza aprendizaje del equilibrio químico ha sido objeto de muchos estudios en didáctica de las ciencias y, como frecuentemente se ha asociado con dificultades de aprendizaje, no es de sorprender que se ha escrito mucho al respecto y con diferentes objetivos; para conocer las dificultades de aprendizaje de los alumnos, los errores conceptuales, las concepciones alternativas, las explicaciones a estos errores, la superposición de los niveles de representación macroscópica y nanoscópica, etcétera.

La enseñanza del concepto equilibrio químico implica un gran desafío, tanto en la educación media superior como en la universitaria. Van Driel y Gräber (2002, p. 271), inician el capítulo recordando una frase de Hildebrand, que considero significativa:

“Parece ser que no hay tema en la química del primer año que presente más dificultades a los estudiantes que el equilibrio químico. Después de tratar por casi 30 años de dar respuestas claras a sus preguntas, he llegado a tener una gran simpatía por mis alumnos y me he dado cuenta que es un tema inherentemente difícil”

Los autores, además de un recuento de las investigaciones que se han hecho para conocer las dificultades de aprendizaje que presentan los alumnos, cuáles son las concepciones alternativas asociadas y buscar explicaciones a estos errores, presentan algunas recomendaciones con el fin de diseñar propuestas didácticas más efectivas en la construcción del concepto por parte de los alumnos:

Una de las observaciones que hacen los autores es la de que en cursos introductorios de química, las reacciones químicas usualmente se asocian con fenómenos observables; cambios de color, evolución y absorción de calor, formación de precipitados, formación de gas, etc., y se presentan como procesos que avanzan hasta terminar y tienen lugar en una sola dirección (Van Driel y Gräber, 2002). En contraste, en cursos más avanzados, la introducción del concepto de equilibrio químico toma en cuenta la reversibilidad de las reacciones químicas y la posibilidad de que las reacciones no terminen.

La naturaleza dinámica del equilibrio químico no se observa macroscópicamente; esto complica de manera importante el que los estudiantes comprendan que se llevan a cabo dos reacciones químicas simultáneas y opuestas, y en consecuencia, es necesario que al introducir el concepto de equilibrio químico, los estudiantes revisen su concepción inicial de reacción química.

Por otro lado, el énfasis en la resolución de problemas está puesto en aspectos cuantitativos del aprendizaje a expensas de razonamientos cualitativos. En el caso de la constante de equilibrio, los alumnos pueden calcular su valor, pero difícilmente darán una interpretación correcta de éste.

Es importante, que el alumno comprenda que la gran mayoría de las reacciones son reversibles y que la unidireccionalidad en los cambios químicos son la excepción. La mayoría de las reacciones que se presentan en el aula, en ambos niveles educativos, se llevan a cabo en fase acuosa, de tal manera que trabajamos con sistemas cerrados aunque los matraces estén abiertos.

También se ha investigado que una buena parte de los problemas de aprendizaje del equilibrio químico, se presenta por el uso habitual de analogías inadecuadas durante el proceso de enseñanza.

Por otro lado, existe una comprensión insuficiente de los conceptos asociados a las reacciones químicas como son el de estequiometría, termoquímica, etc. Sin embargo, los conceptos más problemáticos son la naturaleza dinámica y reversible del equilibrio químico, el uso del Principio de Le Chatelier y la constante de equilibrio.

Como se observa, la enseñanza del equilibrio químico no es empresa fácil, es un concepto con alto grado de complejidad, especificidad y abstracción. Tiene también una gran exigencia conceptual en virtud de que su aprendizaje requiere de la comprensión y el manejo de otros conceptos químicos también de difícil aprendizaje como son los de reacción química, estado gaseoso, estequiometría, cinética y termoquímica (figura 3.2), y esta situación propicia que el proceso de aprendizaje del equilibrio químico herede las dificultades asociadas a los conceptos antecedentes.

La investigación educativa menciona que a diferencia de otros temas del currículo, una parte importante de las concepciones alternativas relativas al equilibrio químico se generan durante la instrucción y se heredan de otros conceptos como el de reacción química. Enseñar el tema de equilibrio químico es un desafío en todos los niveles educativos, desde la educación media hasta la universitaria (Moncaleano, et al, 2003).

Por otro lado, Shayer y Adey (1981) sostienen que un alumno que no ha alcanzado un nivel de pensamiento formal avanzado es incapaz de entender las características del equilibrio químico: simultaneidad de dos procesos en direcciones opuestas.

Los cuantiosos trabajos de investigación sobre enseñanza y aprendizaje del equilibrio químico (Wheeler y Kass, 1978; Quílez, 1995 y 2002; Raviolo y Martínez, 2003; Irazoque, 2009) se deben en gran medida a la importancia que este concepto tiene en el aprendizaje de la química y a que este tema es uno de los que presentan más dificultad desde el punto de vista didáctico. En su artículo Raviolo y Martínez (2003) hacen una revisión exhaustiva de los estudios empíricos

reportados en la literatura sobre las concepciones alternativas que presentan los estudiantes respecto del equilibrio químico.

Una buena parte de estos estudios (Raviolo y Martínez, 2005) indican que dos de las ideas antecedentes fundamentales para la enseñanza del equilibrio químico, son la de reversibilidad y la de equilibrio dinámico. En su investigación, Laugier y Dumon (2000) precisan en su investigación que para que los alumnos puedan construir el concepto de equilibrio químico es necesario, entre otras cosas, que:

- acepten la existencia de uno de los reactivos después de que el sistema cambió,
- entiendan que la flecha en la ecuación química no es sinónimo de la desaparición de todos los reactivos,
- sepan que la ecuación química se puede usar para representar situaciones experimentales diferentes,
- imaginen que un sistema químico en el estado de equilibrio es una mezcla de todas las sustancias químicas escritas en la ecuación química.

Al analizar los puntos anteriores, es evidente, la estrecha relación que tienen con los conceptos de reversibilidad y equilibrio dinámico y es por ello, que los resultados de la investigación educativa en general, insisten en la necesidad de tratarlos con mayor detenimiento que el que comúnmente se le da en los programas de estudio.

Esta idea la estudian Bradley, Gerrans y Long (1990, en Raviolo y Martínez (2003)) y afirman que los alumnos que mantienen un modelo nanoscópico inadecuado de la reacción química, pueden sostener concepciones alternativas como considerar independientes las direcciones directa e inversa de la reacción química.

Como la reversibilidad de las reacciones no se “ve”, es necesario ponerla en evidencia. La construcción de este concepto resultará de muchas observaciones, experimentos e inferencias, que si no se presentan en un contexto adecuado y con las “reglas del juego” claras para los alumnos, no les será significativo y terminarán adivinando lo que el profesor desea escuchar.

Otras investigaciones (Rocha y Escandrolí, 2000, Quílez y Solaz, 1995) coinciden en que el origen de varias de las concepciones alternativas que presentan los alumnos, se deben entre otros factores a la experiencia casi nula que los alumnos poseen en el trabajo con reacciones químicas reversibles.

De hecho, es frecuente que, tanto en bachillerato como en la licenciatura, el tema de cambio químico se ilustre sólo con reacciones irreversibles, de tal forma que el estudio de la reversibilidad y del equilibrio dinámico parece no tener un espacio relevante antes de entrar al tema de equilibrio químico.

Por la importancia conceptual del tema, la literatura es abundante en trabajos de investigación sobre las concepciones alternativas que presentan los alumnos de bachillerato y licenciatura al respecto. Los resultados de la investigación educativa muestran que a diferencia de otros temas del currículo, una parte importante de las concepciones alternativas relativas al equilibrio químico se generan durante la instrucción y otras se heredan de conceptos antecedentes como el de reacción química.

Huerta (2008) realizó un estudio exhaustivo de estas investigaciones y, en su tesis de maestría, las clasifica en las que son heredadas de la enseñanza de conceptos antecedentes, las que se generan por falta de los conocimientos conceptuales necesarios y las que se generan durante la instrucción. Algunas de las que Huerta considera más relevantes en su estudio se muestran en la siguiente figura (3.4).

Como puede observarse, además de las dificultades heredadas del aprendizaje de los conceptos antecedentes, son muy importantes las relativas a las características de este estado termodinámico: sistema cerrado, proceso reversible, equilibrio dinámico, igualdad de velocidades, constancia de concentraciones e interpretación de la constante de equilibrio, sin mencionar todas las que se propician por la enseñanza tradicional en la que, antes de asegurar la comprensión del equilibrio químico como un estado termodinámico con características particulares y muy novedosas para los alumnos, se introduce el famoso Principio de Le Chatelier provocando, en muchas ocasiones, una confusión mayor.

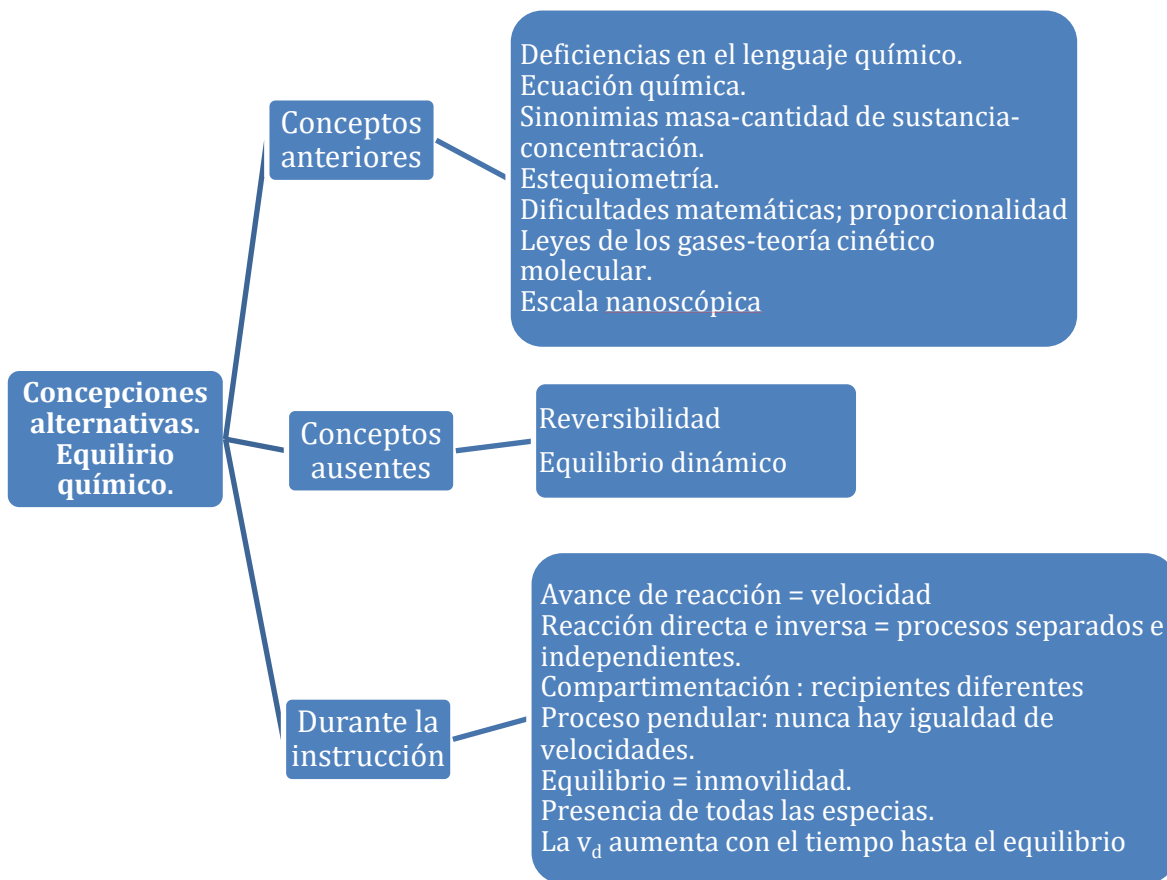


Figura 3.4. Concepciones alternativas importantes de considerar en el aprendizaje del concepto de equilibrio químico (Huerta, 2008).

Tradicionalmente, la enseñanza de este concepto se hace con base en el Principio de Le Chatelier (Raviolo, et al, 1998). Esto impide que los alumnos identifiquen y caractericen el concepto para posteriormente puedan usarlo en la explicación de las rupturas de los equilibrios naturales, tan de moda en nuestros días.

Los libros de texto también tienen su participación en este renglón (Rocha y Escandroli, 2000, Quílez y Solaz, 1995),

- c) la importancia dada, en clase y en los libros de texto, a los cálculos estequiométricos, que ponen énfasis en los coeficientes de la ecuación química.
- d) la utilización de analogías para explicar el equilibrio por parte de los docentes y de los libros de texto.

Los trabajos de investigación sobre enseñanza y aprendizaje del equilibrio químico (Quílez, 1995), ponen de manifiesto que este tema es uno de los que presentan más dificultad desde el punto de vista didáctico y coinciden en cuáles son los puntos de mayor conflicto.

Las reacciones químicas están asociadas con cambios macroscópicos, que pueden ser observados directamente; cambios de color, etc., o con la ayuda de un instrumento específico; cambio de punto de fusión. En un sistema en equilibrio químico, todas las propiedades macroscópicas son constantes. A pesar de que se están llevando a cabo simultáneamente dos reacciones opuestas a la misma velocidad; los efectos macroscópicos observables se cancelan entre sí. Por lo tanto, el equilibrio químico es un proceso dinámico.

En su tesis de maestría, Huerta (2008) menciona que la enseñanza habitual del equilibrio químico generalmente parte del estudio del Principio de Le Chatelier, sin embargo, la investigación documental que realiza y el análisis de los resultados de la propuesta didáctica que diseñó, concuerdan con el hecho de que la pareja principio de Le Chatelier-equilibrio químico es más dañina que fructífera, ya que propicia que el estudiante de bachillerato no centre su atención en los aspectos que caracterizan e identifican al concepto y, el estudio de este concepto queda siempre asociado a lo que sucede al cambiar concentración, presión y/o temperatura.

3.5 El Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) y cómo registrarlo

El conocimiento didáctico del contenido (CDC, PCK por sus siglas en inglés) es un concepto propuesto por Shulman en 1983 en una conferencia que tituló: “El paradigma perdido en la investigación sobre la enseñanza”. Hoy el CDC se considera clave para la investigación y mejora de la práctica docente del profesorado y en el proceso de formación y evaluación de la docencia.

En su trabajo, Shulman reconsidera el conocimiento del profesor y brinda especial atención al papel que juega el entendimiento y la transposición didáctica del conocimiento especializado de un tema a conocimiento escolar objeto de enseñanza y aprendizaje (Chevallard, 1991). Para ello, hay que tener en cuenta

las creencias y teorías implícitas que forman parte del pensamiento docente y que orientan sus ideas sobre el conocimiento, la construcción de su enseñanza y su aprendizaje (Abell, 2007; Cochran-Smith y Lytle, 1990).

Shulman (1987) señala posteriormente, que el proceso docente propiamente dicho se inicia cuando el profesor empieza con una planificación reflexiva de su actividad docente, desde las finalidades educativas, la estructura conceptual y las ideas del tema que va a enseñar, hasta el contexto educativo y, entonces comprende a fondo lo que debe ser aprendido por sus estudiantes (Acevedo, 2009).

A continuación reflexionó sobre cómo lo debe enseñar (selección y organización de los materiales a utilizar, así como de analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones, explicaciones, etc.), tomando en consideración las mejores formas de representación del contenido y las características del razonamiento de sus propios alumnos, para plantear una forma de enseñanza, evaluación, reflexión y nueva comprensión para el futuro, con lo que se reiniciará otra vez un ciclo de reflexión (figura 3.5).

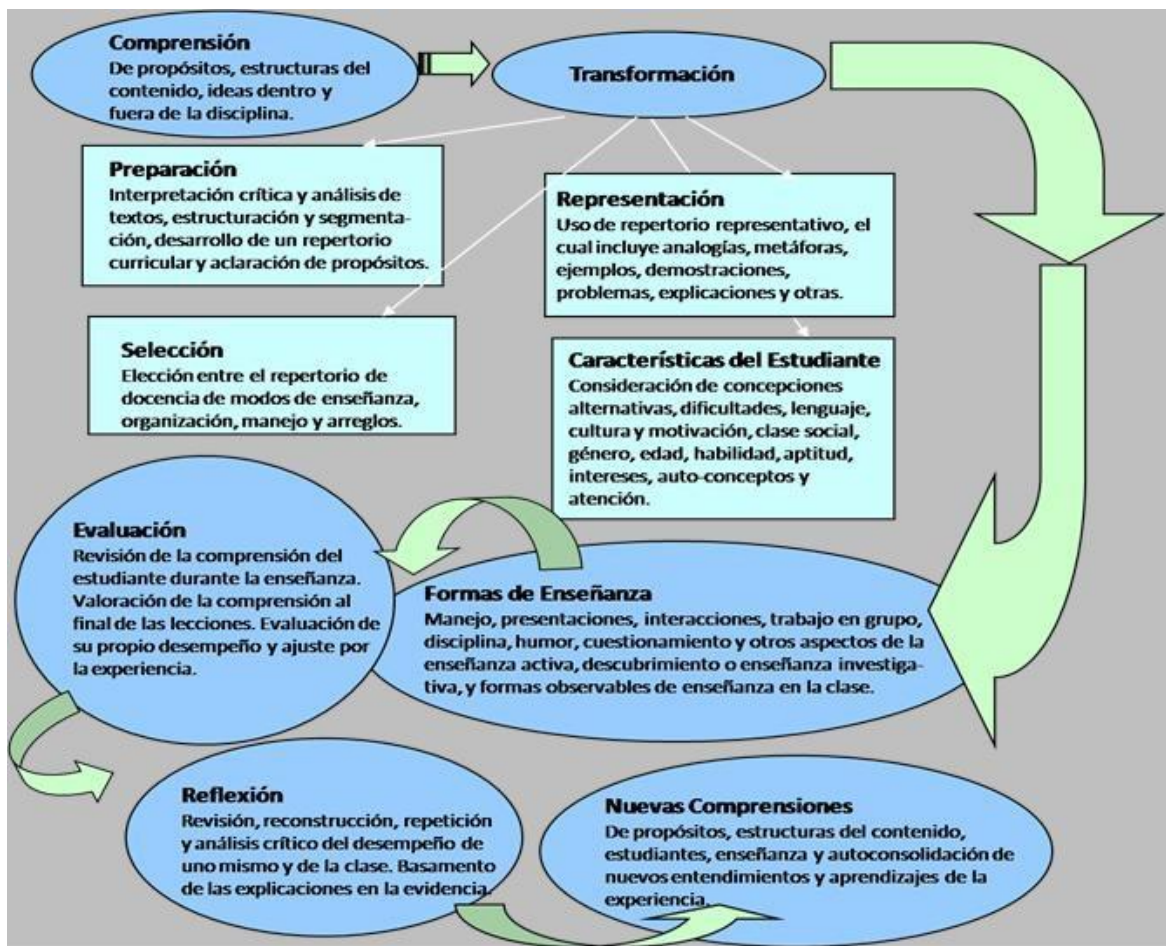


Figura 3.5. Modelo Didáctico de Razonamiento y Acción propuesto por Shulman (1987). Tomado de Acevedo (2009).

La introducción de este concepto al campo de la didáctica de las ciencias, causó gran inquietud, y muchos investigadores empezaron a estudiarlo, algunos de ellos están mencionados en la tabla 3.1 al igual que la interpretación que hacen del CDC.

Autores	Interpretación
Shulman (1987)	Define el CDC los “camino” que el docente construye para representar y formular el contenido temático para hacerlo más comprensible a los alumnos.
Grossman (1990) (alumna distinguida de Shulman)	Identifica tres dominios que influyen en el CDC de los profesores: <ul style="list-style-type: none"> - conocimiento del contenido temático - conocimiento pedagógico. - conocimiento del contexto.
Cochran y otros (1991)	Hablan del “saber didáctico del contenido” más que del CDC y lo definen como las formas en que los maestros relacionan su conocimiento didáctico con su conocimiento en el contexto escolar y con las cuatro componentes que posee el docente: pedagogía, conocimiento de la materia, características del estudiante y contexto de aprendizaje.
Geddis (1993)	Afirma que los docentes deben conocer: qué es lo que hace a un tema en particular difícil de aprender para los estudiantes, cuáles son las estrategias didácticas idóneas para “enfrentar” las concepciones alternativas que presentan los alumnos respecto del tema y propiciar el aprendizaje y, por último, cuáles son las metodologías didácticas (analogías, ilustraciones, ejemplos, demostraciones, etc.) más adecuadas para que los alumnos aprendan.
Fernández-Balboa y Stiehl (1995)	Consideran que la “efectividad” del docente depende de las creencias y conocimientos que guían sus decisiones y acciones docentes.
Veal y MaKinser (1999)	Construyen una taxonomía para el CDC y los niveles que identifican son: pedagogía, CDC general, CDC disciplinario (ciencias, idiomas,...), CDC de dominios específicos (biología, química, ...) y CDC de temas específicos (solubilidad, oxidación, ...). Describen herramientas generales de enseñanza o pedagogía que deben desarrollar todos los profesores e incluyen, actividades docentes como: planeación, métodos de enseñanza, evaluación, trabajo de grupo, cuestionamientos, tiempo de espera, retroalimentación, instrucción individual, lecturas, demostraciones y reforzamiento.

Tabla 3.1. Interpretaciones del concepto CDC acuñado por Schulman.

En acuerdo con Talanquer (2004), la habilidad de los docentes para crear situaciones de aprendizaje propicias y efectivas para el aprendizaje, no solo depende de qué tanto sabe éste del tema o de los diversos métodos de enseñanza que se han propuesto en la literatura, parece ser que su éxito didáctico se centra en la habilidad para transformar el conocimiento disciplinario que posee en formas que resulten significativas para sus estudiantes.

Para conseguir esta transformación pedagógica del conocimiento científico se requiere que el docente haga una amalgama entre lo que sabe de la materia que imparte con los propósitos que identifica para enseñarla.

En este sentido, Talanquer (2004) afirma que: “esta “recreación” del contenido demanda, entre otras cosas, que el docente: identifique las ideas, conceptos y preguntas centrales asociados con un tema; reconozca las probables dificultades conceptuales que enfrentarán sus alumnos y su impacto en el aprendizaje; identifique preguntas, problemas o actividades que obliguen al estudiante a reconocer y cuestionar sus ideas previas; seleccione experimentos, problemas o proyectos que permitan que los estudiantes exploren conceptos e ideas centrales en la disciplina; construya explicaciones, analogías o metáforas que faciliten la comprensión de conceptos abstractos; diseñe actividades de evaluación que permitan la aplicación de lo aprendido en la resolución de problemas en contextos realistas y variados.”

A pesar de la importancia didáctica que tiene la enseñanza aprendizaje del equilibrio químico y de la gran diversidad de estudios que se han publicado para entender las dificultades de aprendizaje, las concepciones alternativas, las posibles explicaciones a estos errores, cuáles deben ser sus propósitos de enseñanza, etc., existen muy poca información acerca del CDC de los docentes que imparten el tema en los dos niveles educativos en que se encuentra comúnmente.

Por otro lado, en los últimos años los docentes y los investigadores educativos han manifestado (Talanquer, 2005) la necesidad de desarrollar el CDC de los maestros como una herramienta útil para mejorar el aprendizaje.

3.5.1 Los CORE's y los PaPeRs

La pregunta ahora es ¿cómo extraer el CDC de un profesor? Baxter y Lederman (1999), indican que este es un proceso muy complejo debido, entre otras cosas, a que se trata de un conjunto de conocimientos implícitos que primero hay que hacer explícitos, tarea a la que los docentes no estamos acostumbrados. Además, hay que tener en cuenta que el CDC de un profesor es dinámico y no estático (Nilsson, 2007, 2008; Wang y Volkmann, 2007 en Acevedo, 2009) y que la articulación del CDC de un profesor suele requerir un amplio periodo de tiempo en general (Loughran, Berry y Mulhall, 2006).

Desde el punto de vista del diseño de una investigación, se han sugerido distintos procedimientos, métodos e instrumentos de recogida de datos para intentar sacar a la luz y describir el CDC del profesorado. En esta investigación, para recopilar el CDC de los profesores elegimos la metodología propuesta por Loughram y colaboradores (Loughran, Berry y Mulhall, 2006), que consiste fundamentalmente en dos herramientas:

- I. Las Representaciones del Contenido CoRes (en inglés: ContentRepresentations, CoRes).
- II. Los Repertorios de experiencia Profesional y Didáctica, (en inglés Pedagogical and Professional-experience Repertoires, PaPeRs).

Para recopilar las CoRes, los autores empiezan por extraer del profesor las ideas o conceptos centrales de su exposición del tema y, para cada idea central le hacen las siguientes preguntas (basadas en las propuestas por Klafki en 1969):

- A. ¿Qué intentas que los estudiantes aprendan alrededor de esta idea?
- B. ¿Por qué es importante para los estudiantes aprender esta idea?
- C. ¿Qué más sabes sobre esta idea? (Lo que tú no vas a enseñar por ahora a los estudiantes).
- D. Dificultades y limitaciones conectadas a la enseñanza de esta idea.
- E. Conocimiento acerca del pensamiento de los estudiantes que influye en tu enseñanza de esta idea.

- F. Otros factores que influyen en la enseñanza de esta idea.
- G. ¿Qué procedimientos empleas para que los alumnos se comprometan con la idea?
- H. ¿Qué maneras específicas utilizas para evaluar el entendimiento o confusión de los alumnos sobre la idea?

De aquí, las CoRes son una generalización de las respuestas del profesorado que dan una visión global, expresada en forma de proposiciones, acerca del modo en que los profesores enfocan la enseñanza de un tema y las razones respecto a cómo lo van a hacer y por qué lo van a hacer de ese modo. También proporcionan alguna comprensión de las decisiones que los profesores pueden tomar cuando enseñan un tema, incluyendo los vínculos existentes entre el contenido, los estudiantes y la práctica docente. Ahora bien, puesto que la información se representa en forma de proposiciones, las CoRe dan una información limitada sobre la comprensión de la experiencia de la práctica docente. Tal vez por ese motivo, Mulhall, Berry y Loughran (2006) desarrollaron también los PaPeRs.

Los PaPeRs son explicaciones narrativas del CDC de un profesor para una pieza particular de contenido científico. Cada PaPeR “desempaca” el pensamiento del profesor alrededor de un elemento del CDC de ese contenido y está basado en observaciones de clase y comentarios hechos por el profesor durante las entrevistas en las cuales se desarrolla la CoRe.

En suma, los PaPeRs tratan de capturar la naturaleza holística y compleja del CDC que no es posible conseguir con las CoRe. Por lo tanto, CoRe y PaPeRs son dos representaciones complementarias del CDC de los profesores sobre la enseñanza de un tema concreto.

4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Metodología descriptiva de la investigación

En este estudio documentamos y recogimos el CDC de ocho profesores que imparten el tema de equilibrio químico. Cuatro de ellos maestros del bachillerato de la Universidad Nacional Autónoma de México que enseñan el concepto en el tercer año para alumnos que ya eligieron carreras de ingeniería, medicina, química o ciencias biológicas. Y otros cuatro docentes de la Facultad de Química, que imparten la asignatura de Cinética y Equilibrio para alumnos del tercer semestre cualquiera de las cinco licenciaturas que se estudian en esa facultad: Ingeniería Química (IQ), Química Farmacobióloga (QFB), Ingeniería Química Metalúrgica (IQM), Química (Q) y Química en alimentos (QA).

Para documentar el CDC, se decidió usar la metodología propuesta por Loughran y colaboradores (2004) debido no solo a las exitosas publicaciones basadas en esta propuesta (Garritz, Porro, Rembado & Trinidad, 2007), sino a la sencillez y claridad de la metodología. Con base en lo anterior, la investigación se conformó de las siguientes etapas:

Etapa 1. Investigación bibliográfica de los últimos avances de la investigación didáctica sobre el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC), su recomendación y pertinencia en el diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje y estudio de las propuestas existentes sobre el tema.

Etapa 2. Selección del grupo de profesores con los que se trabajaría, identificación de los CoRes y toma de datos.

Etapa 3. Análisis de los CoRes de los profesores y diseño de los PaPeRs

Etapa 4. Análisis de los resultados y elaboración de conclusiones.

Como la secuencia de enseñanza-aprendizaje que se diseñó como tesina del Máster asociado al Doctorado, estuvo pensada para la enseñanza en el

bachillerato y la licenciatura, se invitó a participar en esta investigación a cuatro profesores de cada uno de dichos niveles educativos.

4.2 Los conceptos centrales

Una vez que los profesores aceptaron la invitación para participar en este estudio, se programaron reuniones con cada grupo de docentes para que acordaran cuáles eran para ellos las ideas principales para la construcción del equilibrio químico por parte de los alumnos. El concepto de idea principal lo tomamos de Mulhall, Berry y Loughran (2003):

"Entendemos por "conceptos centrales" los que están en el corazón del entendimiento y la enseñanza de un tema particular; son los tópicos que forman parte del conocimiento disciplinario, en los que acostumbramos dividir la enseñanza del tema en cuestión. La clave es que en ese conjunto de ideas estén reflejadas nítidamente las más importantes del tema, incluido quizás alguno de sus precedentes.

Para los profesores de bachillerato, las cuatro ideas centrales para la enseñanza del equilibrio químico son:

1. Antecedentes: disoluciones y su concentración, reacción química y estequiometría, y velocidad de reacción.
2. Reversibilidad y equilibrio dinámico
3. Constante de equilibrio (K_c)
4. Factores que modifican el equilibrio químico

A diferencia de los profesores de bachillerato, los de licenciatura acordaron las siguientes cinco ideas centrales:

1. Espontaneidad, reversibilidad y equilibrio
2. Estequiometría y avance de reacción
3. Propiedades termodinámicas (S , G)
4. Potencial químico (\square)
5. Constante de equilibrio (K)

A pesar de que se les dio un plazo de dos meses a los maestros para que nos enviaran sus CoRes, éste no se cumplió y hubo un profesor de licenciatura que entregó el cuestionario ocho meses después, situación que significó un retraso importante en el análisis de datos y la elaboración de las entrevistas que se decidió serían las herramientas que jugarían el papel de los PaPeRs en este estudio.

4.3 Los CoRe's y su captura

Ya con esta información a la mano, los CoRe's fueron construidos con cinco de las ocho preguntas que propone Loghran y con las ideas centrales que cada grupo de maestros acordó por consenso, eran los conceptos más importantes en la construcción del equilibrio químico y que están listados en el apartado anterior.

Por otro lado, de las ocho preguntas que proponen Loughran, Berry y Mulhall (2006), se seleccionaron cinco, ya que por estudios anteriores (Garritz, 2007, 2006), se ha visto que son las que proporcionan información más útil para el CDC.

Las preguntas son:

- A. ¿Por qué consideras importante que los estudiantes aprendan este concepto central y cuál es tu intención al enseñarlo?
- B. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones relacionadas con el aprendizaje de este concepto central?
- C. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones relacionadas con la enseñanza de este concepto central?
- D. ¿Qué procedimientos o metodologías didácticas (analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones, reformulaciones, experimentos etc.) empleas para que los alumnos identifiquen la importancia de este concepto central?
- E. ¿De qué formas evalúas el aprendizaje de los alumnos sobre este concepto central?

4.3.1 De los profesores de bachillerato

Tres de los profesores de bachillerato se eligieron por ser egresados de la Maestría en Docencia de la Química (MADEMS-Química), que se imparte en la Facultad de Química. El cuarto profesor no tiene maestría en docencia, pero si en la disciplina. Los cuatro imparten la materia del último año del bachillerato (alumnos de 18 años de edad) que contempla el estudio del equilibrio químico (cuadro 4.1).

Profesor	Edad	Experiencia Docente (años)	Formación profesional
B-1	36	14	Maestría en Didáctica (Química)
B-2	50	18	Maestría en Didáctica (Química)
B-3	42	23	Maestría en Ciencias Químicas (Química Orgánica)
B-4	51	28	Maestría en Didáctica (Química)

Cuadro 4.1. Perfil de los docentes de bachillerato que participaron en el estudio.

De esta forma, los CoRe's , quedaron contruidos de la siguiente manera; en el cuadro 4.2 se presenta el formato para recabar los CoRe's de los profesores de bachillerato y en el cuadro 4.4 el correspondiente a los profesores de licenciatura.

Este cuestionario está diseñado para tratar de evaluar el conocimiento didáctico del contenido(CDC) de un grupo de profesores del nivel bachillerato, con relación al tema de "equilibrio químico".

Nombre
Grado Académico
Edad
Experiencia Docente (años)

Conceptos centrales decididos en consenso	Antecedentes	Reversibilidad y equilibrio dinámico	Constante de equilibrio (K_c)	Factores que modifican el equilibrio químico
---	--------------	--------------------------------------	-----------------------------------	--

Por favor, contesta lo más extensamente posible, para cada uno de estos conceptos centrales, las siguientes preguntas:

¿Por qué consideras importante que los estudiantes aprendan este concepto central y cuál es tu intención al enseñarlo?				
¿Cuáles son las dificultades y limitaciones relacionadas con el aprendizaje de este concepto central?				
¿Cuáles son las dificultades y limitaciones relacionadas con la enseñanza de este concepto central?				
¿Qué procedimientos o metodologías didácticas (analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones, reformulaciones, experimentos etc.) empleas para que los alumnos identifiquen la importancia de este concepto central?				
¿De qué formas evalúas el aprendizaje de los alumnos sobre este concepto central?				

Cuadro 4.2. Cuestionario CoRe para los profesores de bachillerato.

4.3.2 De los profesores de licenciatura

Para conformar el grupo de profesores de licenciatura, invitamos al profesor más joven y al más antiguo impartiendo la materia, los otros dos elegidos imparten la materia desde hace más de cinco años. Aunque el genero no será una variable del estudio, lamentamos que este grupo esté conformado por cuatro varones a diferencia del de bachillerato que son dos mujeres y dos hombres (cuadro 4.3).

Profesor	Edad	Experiencia docente (años)	Formación profesional
L-1	35	14	Maestría en Ciencias Químicas (Fisicoquímica)
L-2	50	18	Doctorado en Fisicoquímica
B-3	62	23	Licenciatura en Ingeniería Química
B-4	67	28	Doctorado en Fisicoquímica

Cuadro 4.3. Perfil de los docentes de licenciatura que participaron en el estudio.

Este cuestionario está diseñado para tratar de evaluar el conocimiento pedagógico del contenido(CPC) de un grupo de profesores del nivel universitario, con relación al tema de "equilibrio químico".

Conceptos centrales decididos en consenso	Espontaneidad, reversibilidad y equilibrio	Estequiometría y avance de reacción	Propiedades termodinámicas (S, G)	Potencial químico (m)	Constante de equilibrio (K)
Por favor, contesta lo más extensamente posible, para cada uno de estos conceptos centrales, las siguientes preguntas:					
¿Por qué consideras importante que los estudiantes aprendan este concepto central y cuál es tu intención al enseñarlo?					
¿Cuáles son las dificultades y limitaciones relacionadas con el aprendizaje de este concepto central?					
¿Cuáles son las dificultades y limitaciones relacionadas con la enseñanza de este concepto central?					
¿Qué procedimientos o metodologías didácticas (analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones, reformulaciones, experimentos etc.) empleas para que los alumnos identifiquen la importancia de este concepto central?					
¿De qué formas evalúas el aprendizaje de los alumnos sobre este concepto central?					

Cuadro 4.4. Cuestionario CoRe para los profesores de licenciatura.

4.4 Entrevistas, captura y análisis

Una vez recibidos los CoRes, se analizaron y con base en los resultados se estructuró lo que sería el PaPeR para cada docente participante. A seis de ellos se les diseñó una entrevista y a los restantes se les solicitó la entrega del material didáctico que utilizan para la enseñanza del equilibrio químico en sus clases. Este material se encuentra en los anexos y, en el siguiente capítulo se expondrán los cuestionarios resueltos por los docentes.

5. RESULTADOS OBTENIDOS

5.1 Los CoRe's de los maestros de bachillerato

Este cuestionario está diseñado para tratar de evaluar el conocimiento pedagógico del contenido(CPC) de un grupo de profesores del nivel universitario, con relación al tema de "equilibrio químico".				
Clave del profesor	B-I			
Grado académico	Maestría en Docencia (Química)			
Edad (años)	36			
Experiencia docente (años)	14			
Conceptos centrales decididos en consenso	Antecedentes (disoluciones y su concentración, reacción química-estequiometría y velocidad de reacción)	Reversibilidad y equilibrio dinámico	Constante de equilibrio (Kc)	Factores que modifican el equilibrio químico
Por favor, contesta lo más extensamente posible, para cada uno de estos conceptos centrales, las siguientes preguntas:				
¿Por qué consideras importante que los estudiantes aprendan este concepto central y cuál es tu intención al enseñarlo?	Los antecedentes que se plantean no sólo son fundamentales para la comprensión del tema del equilibrio químico, sino que también son parte fundamental del currículo de la asignatura.	Parte de la comprensión del tema de reacción química implica tener conocimiento de la reversibilidad y del equilibrio. Además, este conocimiento permite comprender algunos procesos de la vida cotidiana, por ejemplo: la capa de ozono.	Este concepto es importante para que el alumno entienda no sólo cualitativa, sino también, cuantitativamente el concepto del equilibrio y dará pie para comprender cómo se puede modificar éste.	Conocer el tema de equilibrio, también implica saber qué factores le modifican, pues es parte de lo que el ser humano ha buscado en la historia de su desarrollo: comprender la naturaleza y manipularla.
¿Cuáles son las dificultades y limitaciones relacionadas con el aprendizaje de este concepto central?	En general, un problema subyacente al aprendizaje de estos temas es la cuestión de la nomenclatura que no dominan. Aunque, por lo general, los temas que implican cálculos	El concepto de reversibilidad es complicado en la medida en que es difícil para los estudiantes comprender que ocurren dos procesos simultáneos: han estado acostumbrados a que una reacción química ocurre en	Es frecuente que el cálculo de la constante sea sencillo para los estudiantes: sustituyen en una fórmula. Sin embargo, los problemas surgen al tratar de interpretar los resultados.	En el caso de los programas de la ENP, se pide que estos factores se analicen desde el punto de vista del Principio de Le Chatelier, lo cual hace muy confuso para los

	(por ejemplo concentraciones molares o estequiometría) pueden subsanarse con ejercicios. El único problema de esto es el tiempo que debe dedicarse en detrimento de otros temas del programa de la asignatura.	una sola dirección. Por otro lado, la sola expresión "equilibrio" genera en ellos la idea de algo estático, por lo que hablar de "equilibrio dinámico" resulta complejo.		estudiantes este aprendizaje.
¿Cuáles son las dificultades y limitaciones relacionadas con la enseñanza de este concepto central?	Dado que este tema se da en Química IV, y los antecedentes se estudiaron en el año anterior, es casi imposible asegurar que los estudiantes han estudiado con detenimiento los temas necesarios para el abordaje del tema, por lo que casi siempre es necesario retomar los conceptos (si no es que abordarlos por primera vez), lo cual no es problemático, pero sí implica usar tiempo que teóricamente corresponde a otros temas del programa.	Como se ha mencionado, el que el estudiante tenga ideas alternativas arraigadas sobre la "unidireccionalidad" de las reacciones, dificulta el que haya una comprensión real de la reversibilidad, por otro lado, las lagunas de conocimiento en la nomenclatura química, o en el concepto y cálculo de concentraciones, pueden dificultar el abordaje del tema. Además, en el caso del programa de química IV, este tema está propuesto para ser abordado en mucho menos de 10 horas de clase, de modo que si se está apegado a esa propuesta, resulta imposible hablar de una verdadera comprensión del tema.	En toda la enseñanza de la química a nivel bachillerato (y probablemente en otros también) la resolución de ejercicios algorítmicos ha predominado por encima del razonamiento, por lo que en este tema, el cálculo de la constante no implica mayor problema, todo lo contrario ocurre si se pretende que el alumno interprete el valor de K.	La enseñanza desde el punto de vista del Principio de Le Chatelier implica que los estudiantes tengan claros otros conceptos como por ejemplo: reacciones endotérmicas y exotérmicas, gases ideales, entre otros, por lo que si los estudiantes tienen carencias en estos conceptos previos, el abordaje de estos temas es difícil.
¿Qué procedimientos	En general se hacen	Se usa la analogía	Se hacen ejercicios de cálculo	Se hace un análisis de

<p>o metodologías didácticas (analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones, reformulaciones, experimentos etc.) empleas para que los alumnos identifiquen la importancia de este concepto central?</p>	<p>ejercicios y cuestionarios para indagar sus conocimientos. Posteriormente, se da un repaso que incluye la lluvia de ideas, ejemplos y nuevamente, la resolución de ejercicios en clase.</p>	<p>"transferencia de líquidos entre recipientes" y se dan ejemplos en clase. En el laboratorio se hacen experimentos en los que se puedan predecir fenómenos o formular hipótesis.</p>	<p>en diversas reacciones y se analizan los resultados con relación a la constante</p>	<p>diferentes situaciones donde se modifican las condiciones del equilibrio, haciendo uso de lecturas ("formación de estalactitas y estalagmitas", "capa de ozono", "monóxido de carbono y asfixia", etc.)</p>
<p>¿De qué formas evalúas el aprendizaje de los alumnos sobre este concepto central?</p>	<p>Esto se evalúa con los ejercicios y cuestionario previo.</p>	<p>Se evalúa mediante un examen escrito al final del tema. El examen comprende opción múltiple en el caso de aspectos conceptuales (reversibilidad, factores que afectan el equilibrio, etc.) y cálculos e interpretación de la constante de equilibrio.</p>		

Este cuestionario está diseñado para tratar de evaluar el conocimiento pedagógico del contenido(CPC) de un grupo de profesores del nivel universitario, con relación al tema de "equilibrio químico".				
Clave del profesor	B-II			
Grado académico	Maestría en Didáctica (Química)			
Edad (años)	50			
Experiencia docente (años)	18			
Conceptos centrales decididos en consenso	Antecedentes (disoluciones y su concentración, reacción química-estequiometría y velocidad de reacción)	Reversibilidad y equilibrio dinámico	Constante de equilibrio (Kc)	Factores que modifican el equilibrio químico
Por favor, contesta lo más extensamente posible, para cada uno de estos conceptos centrales, las siguientes preguntas:				
¿Por qué consideras importante que los estudiantes aprendan este concepto central y cuál es tu intención al enseñarlo?	En mi caso sólo imparto clases en 6° año (Química Área I de la ENP-UNAM) por lo que los conceptos antecedentes de disoluciones y su concentración, reacción química y estequiometría (contenidos vistos en 5° año, según programa oficial de Química III) los trato como actividad de repaso, recuerdo (o visto por primera vez para algunos) al inicio del ciclo escolar. El concepto de velocidad de reacción es un contenido que se ve antes del de equilibrio químico, temas que se ven en la unidad dos del programa oficial de dicha asignatura. Mi intención es que el estudiante tenga las bases conceptuales para poder entender el equilibrio químico, concepto que considero de mayor complejidad.	Considero que no se entendería un proceso de equilibrio químico sin entender antes un proceso reversible. Mi intención es que el estudiante comprenda que en muchos sistemas se tienen procesos de reacción química reversibles que llegan a un equilibrio, es decir, que en este estado se tienen tanto productos como reactivos y que entre ellos hay una proporción definida, una relación de concentraciones, que se mantiene constante al paso del tiempo. Que de manera ininterrumpida	Este concepto refleja la proporcionalidad que se guarda entre la cantidad de producto(s) y la de reactivo(s). El entender que no precisamente las concentraciones de ambos deban ser iguales, sino constantes con respecto al tiempo. Claro que es igual de importante mencionar que el valor de esta constante sí es afectado con la variación de la temperatura, ya que esta propiedad ocasiona que las	Entender la importancia de que el sistema en equilibrio químico es susceptible de que en un momento dado pueda ser perturbado y que hay un efecto que hace que se restablezca dicho equilibrio. Es sorprendente para algunos alumnos saber que este proceso es propio del sistema.

		se transforma el o los reactivos en producto(s), guardando la ya dicha proporción.	cantidades de reactivos y productos varíen.	
¿Cuáles son las dificultades y limitaciones relacionadas con el aprendizaje de este concepto central?	Para la mayoría de los estudiantes el concepto de "Cantidad de sustancia" con su unidad "el mol" y luego relacionarla con su masa, con su volumen, etc. sigue siendo muy abstracto, y es mas, entender su relación en una reacción química les es igual de complicado; como ejemplo menciono que cuando ya he visto o repasado el tema y les pregunto una vez más que cuál es la masa de un mol, la mayoría me sigue diciendo que 6.022×10^{23} o que 1 g (sin importar la sustancia) entonces a lo largo del curso refuerzo este tema para tratar de romper con esta concepción...otro ejemplo: al balancear una ecuación química les es muy difícil escribir coeficientes fraccionados pues lo que recuerdan muy bien de sus cursos anteriores es que no se pueden tener medias moléculas o átomos y no logran comprender que ahora estamos balanceando mol de esas moléculas y/o átomos y que fraccionarlo no implica tener partículas "destruidas". El problema con el concepto de concentración es que de inicio lo confunden mucho con la densidad, también tienen la idea de	En este caso, un problema muy común es que a los estudiantes les cuesta trabajo conceptualizar esa "reversibilidad", pues la interpretación que más les ajusta, a la que más recurren es que conciben que primero todo(s) el o los reactivos se convierten en producto(s) y una vez que todo es producto comienza la reacción inversa, es decir, se regresa todo a ser reactivo(s) otra vez. Se les dificulta comprender que la transformación antes descrita suceda al mismo tiempo una vez que el sistema de reacción haya alcanzado el equilibrio químico.	Respecto a este concepto, a los estudiantes se les dificulta aplicar la expresión con literales a una reacción química en específico, es decir, cuando uno explica una reacción de manera general utilizando "aA + bB" como reactivos en equilibrio químico con los productos "cC + dD", para luego con ellos escribir la expresión de la constante, los alumnos dicen "está bien" pero al solicitarles que lo apliquen a una reacción como la obtención de amoníaco a partir de hidrógeno y nitrógeno, me preguntan "¿cuál considero como A o como D?" y "es que usted escribió al inicio	Aquí los alumnos aceptan fácilmente que existen ciertos factores que puedan desequilibrar a un sistema, sin embargo, en el momento en el que se ve como afectan y como es que en el sistema se restablece el equilibrio es cuando surgen los conflictos cognitivos, especialmente cuando se trata de la temperatura y de la presión. Por ejemplo una pregunta común es: "Profe si se baja la temperatura (ellos lo relacionan con un proceso endotérmico) ¿cómo es que para recuperar el equilibrio se intensifica el sentido exotérmico de la reacción y al revés?", por lo que es importante comprobar que el estudiante no tenga problemas en entender lo que es un proceso exo o endotérmico y desde que punto de vista se emite tal clasificación, es decir, desde el sistema o alrededores. Con base en la presión, les

	<p>que si una disolución se fracciona cambia su concentración, mencionan que "como cambia la cantidad de soluto pues cambia la concentración" y no se percatan que también cambia el volumen de la disolución. En relación a la reacción química he observado que uno como profesor da por hecho que identifican perfectamente quienes son reactivos y quienes productos y la sorpresa es que no, por ejemplo si se les solicita: "escribe las estructuras de Lewis de los productos de tal reacción química", algunos escriben las estructuras de los reactivos, otros de todo (de los reactivos y productos) y sólo algunos logran cumplir con la tarea. También en ocasiones algunos alumnos siguen con la dificultad de diferenciar un proceso químico de un físico, por ejemplo mencionan que la transformación de agua líquida a gaseosa es una reacción química. Con base en la estequiometría, es el tema que más desconocen del curso anterior (Química III) y cuando lo veo en las clases de inicio de año, les empieza de inmediato a sonar "raro" el propio nombre, luego de lo que se trata, ya que se les dificulta comprender la proporcionalidad entre los productos y reactivos y que esto nos ayuda a predecir cantidades que</p>		<p>una reacción con dos reactivos y dos productos y en esta sólo hay un producto, entonces cómo le hago". Es difícil también que dejen de pensar que en el equilibrio químico las concentraciones de reactivos y productos son "siempre" iguales para todos los sistemas de reacción, es decir, no aceptan fácilmente el que haya la posibilidad de que en el equilibrio pueda haber más productos que reactivos y viceversa.</p>	<p>es complicado comprender su efecto pues deben razonar en función del total de los mol gaseosos en reactivos y en productos; entonces hay que hacer hincapié en que estos son conceptos que se complementan, es decir, que un factor "externo" tiene un efecto tal que hace que el sistema lo contrarreste.</p>
--	---	--	---	---

	se requieren de reactivo(s) y cantidades que se van a obtener de producto(s), por ejemplo.			
¿Cuáles son las dificultades y limitaciones relacionadas con la enseñanza de este concepto central?	<p>Para el docente es difícil hacer que el alumno perciba algo tan abstracto como lo es ese número de partículas para luego relacionarlo a lo que es el mol, y de aquí su relación con su masa, y aún más a la concentración de una disolución, ya que el estudiante no tiene medios palpables para hacerlo familiar a lo que el conoce, por ejemplo en laboratorio no tenemos un aparato que de una medida de mol, pero sí de masa, entonces es mucho lo que el alumno tiene que relacionar en su mente. Ya mencionada la concentración es importante recalcar que el docente debe insistir en que este concepto se trata de caracterizar una mezcla y no una sustancia, de aquí que el alumno lo confunda continuamente con la densidad, pues generalmente no hace la diferencia entre las unidades, que para ellos son parecidas. En lo que respecta a reacción química, a veces nos sorprendemos de que, como lo mencioné en el cuadro anterior, un alumno pueda concebir que la evaporación del agua sea una reacción química, reflexionemos, hay que pensar que el alumno se puede confundir por dos acciones muy</p>	<p>Considero que desde que escribo la doble flecha en una ecuación de reacción química para identificar un proceso reversible, puedo provocar que el estudiante piense que en un primer momento los reactivos se convierten totalmente en productos y luego en un segundo momento lo contrario, entonces es necesario precisarles la interpretación correcta para romper con este pensamiento. Esto es complicado para el profesor, ya que al alumno le satisface más esa idea (la del ir y venir de manera intermitente) que la del intercambio que se da al mismo tiempo.</p>	<p>El conflicto en este caso es que generalmente les presentamos la ecuación como algo terminado, algo que así es y ya, y entonces podemos provocar que al estudiante se le dificulte interpretarla, tanto para entender cómo se estructura su expresión como para saber que es lo que nos dice su valor. Si el estudiante tiene deficiencias básicas de matemáticas como es el concepto de proporcionalidad, de comprensión de ecuaciones con exponentes y de su aplicación a un caso en específico, el problema se agrava; por lo que se refuerzan, en lo posible, dichas carencias.</p>	<p>Este concepto también lo considero abstracto por lo complicado que resulta de entender lo que hace el factor externo para romper el equilibrio químico en el sistema y lo que hace el sistema para regresar a ese equilibrio. Entonces debemos conocer lo que nuestros alumnos están pensando cuando vemos el tema para que en ese momento se aclaren dudas y no dar por hecho que pensamos lo mismo, más en lo que respecta a la temperatura y la presión, según lo expuesto en el cuadro anterior.</p>

	<p>comunes que hacemos: 1) les presentamos reacciones químicas que se producen con sólo calentar el sistema, por ejemplo la descomposición del carbonato de calcio en óxido de calcio y dióxido de carbono y 2) el dicho proceso de evaporación de agua lo representamos con flecha de reacción; ...y damos por sentado que el alumno lo integra y lo sabe diferenciar al igual que el docente. En lo que respecta a estequiometría, el conflicto más común es en el balanceo de la ecuación química pues confunden coeficientes con subíndices; entonces si notamos este error, es necesario hacer un alto y repasarlo, con el fin de no arrastrar esa concepción alternativa al momento de ver equilibrio químico.</p>			
<p>¿Qué procedimientos o metodologías didácticas (analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones, reformulaciones, experimentos etc.) empleas para que los alumnos identifiquen la importancia de este concepto central?</p>	<p>En un inicio hago preguntas que contestan los estudiantes de manera oral y aplico un cuestionario diagnóstico, el cual contesto en la siguiente sesión de la aplicación para tratar de que el grupo, en lo general, tenga las bases que considero importantes para el objetivo didáctico de entender posteriormente el equilibrio químico. Aplico problemas, de lápiz y papel, relacionados con cantidad de sustancia y concentración (mol/L). Repaso balanceo por óxido-</p>	<p>Expongo el tema, el cual conecto con los conceptos que veo al inicio del ciclo sobre reacción química y tipos de reacción. Realizo una pequeña presentación teatral con la ayuda de algunos alumnos: hago dos pequeños grupos de 3 o 4 personas, les indico que se enganchen de los brazos y que uno</p>	<p>Comento sobre la relación de la proporcionalidad que se genera entre reactivos y productos en una reacción química en equilibrio y como se puede representar por medio de la expresión de la constante de equilibrio. Se indica en que condiciones la</p>	<p>Exposición oral del tema. Planteamiento de situaciones donde los alumnos propongan lo que sucede en el sistema para restablecer el equilibrio. Proyección de película didáctica, en la que los estudiantes deberán contestar un cuestionario que previamente se les proporcionó. Participación oral de los estudiantes con el fin de concluir sobre lo</p>

	<p>reducción y se resuelven ejercicios. Para el concepto de velocidad de reacción dejo que el estudiante busque la información con base en el programa de la asignatura, luego proyecto una película del tema y se lleva a cabo una práctica experimental en donde el tema central es -factores que afectan la velocidad de reacción.</p>	<p>o dos personas se intercambien de grupo y que no sean siempre las mismas, al inicio sólo se observa que cada quien va por su lado, que se chocan entre sí, sin embargo, poco a poco se van coordinando haciendo el intercambio más evidente y en ese instante le comento al resto del grupo que observen como en un momento dado no cambia el número de personas en uno u otro equipo a pesar del intercambio constante y que esto lo pueden lograr porque lo hacen a la misma "velocidad", entonces guío al grupo a que relacionen lo expuesto con los puntos importantes para definir el equilibrio químico.</p>	<p>constante tiene un valor mayor a 1, menor a 1 e igual a 1 y lo que esto significa, esto con la participación oral de los estudiantes. Después se hacen ejercicios en donde se debe desarrollar la expresión de la constante de equilibrios para diferentes reacciones químicas. Se aclara el efecto que hace la variación de la temperatura en el valor de la constante. Para Química IV Área I se acordó de manera general en un seminario interanual de la enseñanza (SADE), que el nivel de profundidad fuera el descrito en este apartado, es decir, no hacer ejercicios o problemas de cálculo matemático de la constante.</p>	<p>expuesto y el cuestionario de la película. Dependiendo de los tiempos del programa se planea una práctica de laboratorio, que generalmente no da tiempo de realizarla, ya que se prefiere para el área I, hacer prácticas sobre otros contenidos como lo son velocidad de reacción y/o electroquímica.</p>
<p>¿De qué formas evalúas el</p>	<p>Revisión del instrumento diagnóstico, de las participaciones de los alumnos,</p>	<p>Participación de los alumnos en la analogía</p>	<p>Registro de participaciones de los</p>	<p>Registro de participaciones de los alumnos y revisión del</p>

aprendizaje de los alumnos sobre este concepto central?	de los problemas y ejercicios resueltos y de la búsqueda de información. Reporte de laboratorio.	del proceso de reversibilidad, tanto de los que la protagonizaron como de los que sólo observaron. Registro de conclusiones.	alumnos y revisión de los ejercicios.	cuestionario de la película. Reporte de laboratorio si es que se programó. Registro de conclusiones.
---	--	--	---------------------------------------	--

Este cuestionario está diseñado para tratar de evaluar el conocimiento pedagógico del contenido(CPC) de un grupo de profesores del nivel universitario, con relación al tema de "equilibrio químico".				
Clave del profesor	B-III			
Grado académico	Maestría en Ciencias Químicas (Química Orgánica)			
Edad (años)	42			
Experiencia docente (años)	23			
Conceptos centrales decididos en consenso	Antecedentes (disoluciones y su concentración, reacción química-estequiometría y velocidad de reacción)	Reversibilidad y equilibrio dinámico	Constante de equilibrio (Kc)	Factores que modifican el equilibrio químico
Por favor, contesta lo más extensamente posible, para cada uno de estos conceptos centrales, las siguientes preguntas:				
¿Por qué consideras importante que los estudiantes aprendan este concepto central y cuál es tu intención al enseñarlo?	Es necesario que los estudiantes tengan claro todos los aspectos de la reacción química, entre ellos, el equilibrio. Para lo cual es fundamental que los alumnos conozcan todos los antecedentes.	Muchos de los procesos que ocurren en la vida cotidiana de nuestros estudiantes se rigen por el equilibrio químico y la reversibilidad.	Para comprender el equilibrio químico, es necesario saber la magnitud de la constante, pues con ello nos podemos dar una idea de qué está pasando en el proceso a estudiar.	Muy importante, pues esto nos permitirá modificar o no, a nuestra conveniencia el sentido del equilibrio en una reacción.
¿Cuáles son las dificultades y limitaciones relacionadas con el aprendizaje de este concepto central?	El tema de reacción química, como antecedente del equilibrio químico, al igual que la nomenclatura y la estequiometría son complicados para los alumnos.	Se considera el equilibrio como estático y no como dinámico. Es difícil para los alumnos comprender que es dinámico. Con respecto a la reversibilidad no hay problema, pues eso lo podemos verificar con experimentos de laboratorio.	Ninguna	Ninguna

¿Cuáles son las dificultades y limitaciones relacionadas con la enseñanza de este concepto central?				
¿Qué procedimientos o metodologías didácticas (analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones, reformulaciones, experimentos etc.) empleas para que los alumnos identifiquen la importancia de este concepto central?	Cuestionario exploratorio y experimentos que inducen al concepto de equilibrio, como por ejemplo la dimerización de óxido nítrico.	Experimento de la transformación de cromato de potasio a dicromato de potasio.	Ejercicios de escritura de la expresión de la constante de equilibrio y cálculos de la constante de equilibrio.	Ejercicios y práctica de laboratorio.
¿De qué formas evalúas el aprendizaje de los alumnos sobre este concepto central?	Resolución de ejercicios	Examen práctico experimental	Examen	Examen

Este cuestionario está diseñado para tratar de evaluar el conocimiento pedagógico del contenido(CPC) de un grupo de profesores del nivel universitario, con relación al tema de "equilibrio químico".

Clave del profesor	B-IV
Grado académico	Maestría en Docencia (Química)
Edad (años)	51
Experiencia docente (años)	28

Conceptos centrales decididos en consenso	Antecedentes (disoluciones y su concentración, reacción química-estequiometría y velocidad de reacción)	Reversibilidad y equilibrio dinámico	Constante de equilibrio (Kc)	Factores que modifican el equilibrio químico
---	---	--------------------------------------	------------------------------	--

Por favor, contesta lo más extensamente posible, para cada uno de estos conceptos centrales, las siguientes preguntas:

<p>¿Por qué consideras importante que los estudiantes aprendan este concepto central y cuál es tu intención al enseñarlo?</p>	<p>Sin los antecedentes los estudiantes presentarán mayores dificultades en la comprensión y construcción del concepto de equilibrio. Es importante que manejen conceptos como: reacción química y su estequiometría, concentración, velocidad de reacción.</p>	<p>Es importante que el alumno caracterice el estado de equilibrio químico como un proceso reversible, donde la concentración de R (reactivos) y P (productos) se mantienen con el tiempo (nivel macroscópico) y donde la formación de Reactivos a Productos y de Productos a Reactivos, se lleva a cabo a la misma velocidad continuamente (nivel nanoscópico). Cuando se enseña el tema de manera habitual, la caracterización de este estado no es clara, provocándose en el alumno una serie de concepciones alternativas en torno al tema.</p>	<p>Saber expresar la constante de equilibrio (K_{eq}) y cómo se calcula ayudará al alumno a saber las concentraciones de las sustancias presentes en un equilibrio determinado. También es importante la interpretación de los valores de la constante de equilibrio y la predicción de diversos equilibrios en la naturaleza y en la industria.</p>	<p>La observación de la reversibilidad de las reacciones sólo se hace visible experimentalmente, cuando se modifican las condiciones como la temperatura, concentración, etc.; es necesario hacer estos cambios. Además, aterrizar la aplicación de los diversos equilibrios que se pudieran presentar, es importante para que el conocimiento adquirido sea útil.</p>
---	---	---	--	--

		Es importante que el alumno haga uso del modelo cinético molecular, para explicar, a nivel nanoscópico, la naturaleza dinámica y la igualdad de velocidades en uno y otro sentido de la reacción.		
¿Cuáles son las dificultades y limitaciones relacionadas con el aprendizaje de este concepto central?	Diversos, dado la cantidad de conceptos requeridos. Por ejemplo: el concepto de reacción química completa e irreversible puede dar lugar a una falsa idea de las reacciones reversibles. Generalmente relacionan los cambios físicos como reversible y los químicos como irreversibles.	La abstracción y complejidad de los conceptos es muy alta. Para aprender equilibrio el alumno debe tener un desarrollo cognitivo formal avanzado. Algunos alumnos tienen ciertas deficiencias en cuanto a los conceptos que previamente debe tener para aprender el tema y aunque son pocas las ideas previas en torno al tema, ya que es la primera vez que el alumno tiene que ver con la enseñanza de este tema. Sin embargo, lo que puede llegar a afectar en el estudio del tema son su idea acerca del equilibrio mecánico y el lenguaje cotidiano, que considera al equilibrio con igualdad, y que lo transfiere a igualdad de concentraciones. Debemos ser conscientes de que debemos hacer accesible el concepto, dado su grado de	Si es enseñado como un algoritmo aislado, puede provocar problemas serios en el análisis cualitativo. La poca experiencia con el manejo de constante o falta de entendimiento de este tipo de expresiones	Dificultades en el lenguaje matemático y en la estequiometría. La forma en que los libros de texto tratan el principio. La falta de comprensión de conceptos asociados a la aplicación.

		dificultad. Buscar métodos adecuados a lograrlo, los profesores muchas veces no somos conscientes de esto.		
¿Cuáles son las dificultades y limitaciones relacionadas con la enseñanza de este concepto central?	Una inadecuada construcción de los conceptos, falta de conexión entre conceptos, falta de secuenciación lógica y aplicación.	No tener conocimiento de las dificultades que pudiera tener el alumno en la construcción de los conceptos. Subestimar el grado de dificultad y abstracción de los conceptos asociados. No utilizar recursos suficientes (simuladores, imágenes, ejemplos, etc.) ni hacer uso de las diversas formas de abordar el concepto.	Enseñar de forma tradicional, sólo resolviendo ejercicios. No contextualizar ni dar significado al valor numérico, no problematizar.	Enseñar a "identificar" si el equilibrio se desplaza "a la derecha" o a la "izquierda" en lugar de hacer un análisis de lo que sucede en un sistema en equilibrio. Sólo se memoriza una regla que marca un "reconocimiento". No se hace pensar, ni razonar y mucho menos a resolver un problema.
¿Qué procedimientos o metodologías didácticas (analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones, reformulaciones, experimentos etc.) empleas para que los alumnos identifiquen la importancia de este concepto central?		El uso de la analogía de los recipientes de agua es una forma muy conveniente para acercar al alumno al concepto de reversibilidad. Se hacen experimentos con sales como cromato o dicromato de potasio para cambiar de un sentido a otro la reacción, hacer visible la reversibilidad con este tipo de sistemas. El uso de simuladores para comprender, con modelos moleculares, el equilibrio dinámico, es de mucha ayuda.	Una de las características del estado de equilibrio es la constancia de concentraciones, se parte de aquí para utilizar la constante de equilibrio. Se hacen ejercicios en los que se exprese la constante de equilibrio a partir de la correspondiente ecuación química, se calcula el valor de la constante y las concentraciones de las sustancias presentes en un equilibrio determinado. También es importante el análisis y la interpretación de los valores de la constante de	Se realizan otros experimentos donde el alumno analiza de qué manera se puede modificar un estado de equilibrio y qué factores están involucrados en ello. Volvemos a usar el sistema de cobalto para alterar el equilibrio modificando la temperatura. También se utiliza la reacción con KSCN y iones Fe ³⁺ para ver el efecto de la concentración. Es importante resaltar que una vez que es alterado el equilibrio, éste se reestablece en las nuevas condiciones.

			equilibrio, ¿qué es lo que representa el valor numérico de la constante de equilibrio? y las sustancias que predominan en una reacción química específica.	
¿De qué formas evalúas el aprendizaje de los alumnos sobre este concepto central?	No hago una evaluación de los antecedentes porque previamente se revisan los conceptos en una unidad temática anterior (cinética química) y durante el desarrollo del curso se van ejercitando en la escritura de fórmulas y su estequiometría.	Resolución de ejercicios en el cuadernillo de trabajo, revisión y retroalimentación. Resolución de un cuestionario.	Resolución de un cuestionario de forma personal.	Desarrollo de un cartel que involucre el análisis de situaciones donde deba modificarse el equilibrio (análisis cuanti y cualitativo). Por ejemplo: el caso de la hiperventilación, la destrucción del arrecife de coral, el equilibrio entre el ozono y el oxígeno. Trabajo colaborativo.

5.2 Los CoRe's de los maestros de licenciatura

Este cuestionario está diseñado para tratar de evaluar el conocimiento pedagógico del contenido(CPC) de un grupo de profesores del nivel universitario, con relación al tema de "equilibrio químico".					
Clave del profesor	L-I				
Grado académico	Maestría en Ciencias Químicas (Fisicoquímica)				
Edad (años)	35				
Experiencia docente (años)	9				
Conceptos centrales decididos en consenso	Espontaneidad, reversibilidad y equilibrio	Estequiometría y avance de reacción	Propiedades termodinámicas (S, G)	Potencial químico (\square)	Constante de equilibrio (K)
Por favor, contesta lo más extensamente posible, para cada uno de estos conceptos centrales, las siguientes preguntas:					
¿Por qué consideras importante que los estudiantes aprendan este concepto central y cuál es tu intención al enseñarlo?	Importante para predecir el comportamiento de un sistema y la dirección en la que evolucionará el mismo cuando es sometido a un proceso físico o químico, y las condiciones en las que dicho proceso es más favorable. Asimismo es primordial que los alumnos comprendan el significado del equilibrio termodinámico: equilibrio térmico, mecánico y material (equilibrio de fases y equilibrio químico).	La estequiometría es la base de la ley de las proporciones definidas y múltiples de tal manera que se puede conocer la proporción en la que se combinan los elementos y se aplica la ley de la conservación de la materia y la conservación de la carga eléctrica.	La variación de estas propiedades permite determinar y cuantificar si el proceso físico o químico es o no espontáneo o bien si el sistema y alrededores se encuentran en equilibrio termodinámico. Además, permite comparar qué tan espontáneo es un proceso con respecto a otro para el mismo sistema en diferentes condiciones.	Es importante porque todo el fundamento y modelado termodinámico aplicado a los procesos químicos se lleva a cabo a través del potencial químico a temperatura y presión constantes. La relación de esta propiedad intensiva con la variación de la energía de Gibbs de la reacción es importante porque esta última se aplica como criterio de espontaneidad y equilibrio.	Es importante porque el concepto de constante de equilibrio está basado en la ley de acción de masas y relacionado con el equilibrio termodinámico, lo cual es aplicado a reacciones no cuantitativas. A través de la constante de equilibrio se puede cuantificar la cantidad de productos y

					reactivos presentes y las perturbaciones externas que lo puedan modificar.
¿Cuáles son las dificultades y limitaciones relacionadas con el aprendizaje de este concepto central?	Los conceptos de espontaneidad, equilibrio y sobretodo reversibilidad son abstractos y encontrar ejemplos que los muestren de forma clara no es sencillo.	Que los alumnos no tienen clara la aplicación de las leyes de las proporciones definidas y de las proporciones múltiples que aprendieron en sus cursos de química general.	Los conceptos de G y S como funciones de estado y sus variaciones son abstractos y resulta difícil de proporcionar ejemplos que permitan entender su significado físico.	El potencial químico es un concepto que resulta muy abstracto para los alumnos ya que resulta difícil proponer ejemplos para que los alumnos interpreten su significado fisicoquímico.	Las limitaciones y dificultades son la estequiometría de la reacción (aplicación de la ley de las proporciones definidas y ley la de las proporciones múltiples), nomenclatura química y comprender el significado del equilibrio termodinámico, e interpretación de la relación de la constante de equilibrio con la variación de la energía de Gibbs.
¿Cuáles son las dificultades y limitaciones relacionadas con la enseñanza de este	Los conceptos de espontaneidad, equilibrio y sobretodo reversibilidad no es fácil transmitir su significado físico a los	Que para retomar el tema de estequiometría, los alumnos no tienen claro o no dominan los	No existen ejemplos sencillos que muestren de manera clara la interpretación y significado físico de	No existen ejemplos sencillos que muestren de manera clara la interpretación y significado fisicoquímico	Mostrar ejemplos que relacionen a la constante de equilibrio con los potenciales

concepto central?	alumnos debido a ideas previas erróneas o preconcebidas.	temas de nomenclatura química, el balanceo de ecuaciones químicas empleando algún método, soluciones y las formas de expresar concentración.	estas funciones de estado y sus variaciones como criterios de espontaneidad y equilibrio. Es difícil hacer comprender a los alumnos el significado del equilibrio termodinámico.	del potencial químico como propiedad intensiva de una especie química en el seno de una reacción, ya que resulta ser un concepto muy abstracto.	termodinámicos (ΔG , ΔH , ΔS) y su interpretación fisicoquímica de tal manera que se pueda predecir el comportamiento de dicho proceso químico.
¿Qué procedimientos o metodologías didácticas (analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones, reformulaciones, experimentos etc.) empleas para que los alumnos identifiquen la importancia de este concepto central?	Se propone para los alumnos material didáctico como animaciones, videos o experiencias de cátedra que muestren los que es un proceso espontáneo y la condición de equilibrio termodinámico, como por ejemplo una reacción química, una transición de fase, la expansión o compresión de un gas, etc. Se les pide a los alumnos que ellos piensen en ejemplos de la vida cotidiana incluso, donde se apliquen estos conceptos de espontaneidad, reversibilidad y equilibrio.	Se propone para los alumnos material didáctico como animaciones, videos, experiencias de cátedra y problemas que en donde se apliquen estos conceptos en reacciones químicas que ellos conocen desde el laboratorio de química general. Por ejemplo, reacciones ácido-base, de formación de un complejo, redox, de precipitación haciendo énfasis en algunas que son de interés industrial.	Se propone para los alumnos material didáctico como animaciones, videos o experiencias de cátedra que muestren diferentes procesos y sistemas bajo ciertas condiciones en donde se les pide a los alumnos que los analicen y los describan de forma cualitativa y cuantitativa de tal manera que conozcan la diferencia entre un proceso espontáneo y no espontáneo o bien las características de un sistema en equilibrio termodinámico.	Se propone para los alumnos material didáctico como animaciones o videos donde se muestre el cambio neto en ΔG y su relación con los potenciales químicos de las especies químicas reaccionantes.	Se presentan a los alumnos experiencias de cátedra de reacciones químicas que ya estudiaron en química general en donde se pueda aplicar el Principio de Le Châtelier (análisis cualitativo del equilibrio químico) para mostrar el efecto de las perturbaciones térmicas o mecánicas, adición de un catalizador, un inerte o la adición o sustracción de un reactivo o producto y su efecto en el

					equilibrio químico. Asimismo, se les proporcionan animaciones de otros ejemplos de otras reacciones químicas en donde se muestren los mismos efectos.
¿De qué formas evalúas el aprendizaje de los alumnos sobre este concepto central?	Se proponen ejemplos de sistemas en ciertas condiciones, así como procesos que son parte de la vida cotidiana tales que los alumnos analicen si el proceso es o no espontáneo, si el proceso es reversible o no, o bien si el sistema bajo ciertas condiciones se encuentra o no en equilibrio termodinámico.	Se llevan a cabo problemas en clase de reacciones químicas de interés industrial o de la vida cotidiana y se les asigna una serie de ejercicios donde apliquen la estequiometría, preparación de soluciones, diferentes formas de expresar concentración, y donde se involucren reacciones químicas en fase homogénea (gases y soluciones líquidas) y heterogénea (formación de un precipitado o desprendimiento de un gas).	Se proponen problemas y ejercicios para los alumnos de procesos físicos y químicos en donde se calculen las variaciones de G y S, para que los alumnos las interpreten físicamente. Se presentan videos y experiencias de cátedra con la intención de que los alumnos infieran qué signo tienen las variaciones de S y G y lo interpreten físicamente.	Se proponen problemas y ejercicios para los alumnos de procesos químicos en donde se calculen las variaciones de G de la reacción, empleando datos de potenciales químicos informados en la literatura y la estequiometría de la reacción. Además, se les solicita que interpreten el signo de la variación de G de la reacción, haciendo énfasis que en el equilibrio: $\sum v_i \mu_i = \Delta G = 0$	Se proponen problemas y ejercicios para los alumnos de procesos químicos en donde se calculen las variaciones de G de la reacción y se determina la constante de equilibrio para obtener la concentración de cada una de las especies químicas al equilibrio (análisis cuantitativo del equilibrio químico).

Este cuestionario está diseñado para tratar de evaluar el conocimiento pedagógico del contenido(CPC) de un grupo de profesores del nivel universitario, con relación al tema de "equilibrio químico".

Clave del profesor	L-II				
Grado Académico	Doctorado en Físicoquímica				
Edad	50				
Experiencia Docente (años)	12				
Conceptos centrales decididos en consenso	Espontaneidad, reversibilidad y equilibrio	Estequiometría y avance de reacción	Propiedades termodinámicas (S, G)	Potencial químico (μ)	Constante de equilibrio (K)

Por favor, contesta lo más extensamente posible, para cada uno de estos conceptos centrales, las siguientes preguntas:

¿Por qué consideras importante que los estudiantes aprendan este concepto central y cuál es tu intención al enseñarlo?	Estos son conceptos claves de la termodinámica. El entendimiento de estos conceptos permiten al estudiante no solo comprender equilibrio químico como también diversos otros que tienen una base común.	En principio, los estudiantes llegan al curso con conocimiento de estequiometría. En mis cursos la preocupación es formalizar la estequiometría para definir avances de reacción, variable clave que facilita la solución cuantitativa de problemas de EQ	Los potenciales termodinámicos permiten definir los estados de equilibrio a partir de sus extremos (máximo o mínimo) y el sentido espontáneo de los procesos de acuerdo a las condiciones con que se llevan a cabo.	Es la variable clave para el entendimiento de los procesos de transporte de materia, del equilibrio material y del equilibrio químico	Cuantitativamente permite el cálculo de las concentraciones de equilibrio y cualitativamente permite visualizar el sentido espontáneo y predecir avances de reacción (reacción cuantitativa, favorecida, etc.)
--	---	---	---	---	--

<p>¿Cuáles son las dificultades y limitaciones relacionadas con el aprendizaje de este concepto central?</p>	<p>El language. Equilibrio, espontaneidad y reversibilidad son palabras que se usan de forma diferente dependiendo del contexto, incluso en otras ramas científicas (por ejemplo, reacciones reversibles, que en realidad no son procesos reversibles)</p>	<p>La forma previa con que los estudiantes aprenden estequiometrías (reglas de tres).</p>	<p>Muchas variables y muchas representaciones termodinámicas para un mismo fenómeno. La dificultad es entender la utilidad de cada una de estas y saber en que condiciones son apropiadas uno u otro potencial termodinámico.</p>	<p>Es una variable no medible, con un significado intuitivo poco claro, que nace de una definición puramente matemática.</p>	<p>La confusión en la definición versus su relación con las actividades, ie, muchos estudiantes la ven como una relación de concentraciones (actividades) y no como un número relacionado a las energías de Gibbs de los estados de referencia.</p>
<p>¿Cuáles son las dificultades y limitaciones relacionadas con la enseñanza de este concepto central?</p>	<p>Eliminar las ideas intuitivas de los estudiantes sobre el significado coloquial de estas palabras, poniendolas en el contexto de la termodinámica</p>	<p>No veo mucha dificultad en la enseñanza de estos conceptos. Son fáciles para los estudiantes.</p>	<p>La forma con que son enseñadas previamente a mis cursos, desunificadas, sin una coherencia lógica.</p>	<p>Dar un significado físico claro, no matemático</p>	<p>El entendimiento de lo que son los estados de referencia.</p>
<p>¿Qué procedimientos o metodologías didácticas (analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones, reformulaciones, experimentos etc.) empleas para que los alumnos identifiquen la importancia de este concepto</p>	<p>Contraste entre los significados comunes de estas palabras y su significado en termodinámica.</p>	<p>Presentación de reacciones donde los estudiantes saben resolver los problemas estequiométricos y formalizar el conocimiento previo.</p>	<p>Experimentos mentales con procesos fáciles, en conjunto con la combinación de las dos primeras leyes de la termo.</p>	<p>Deducción matemática y experimentos mentales, analogías con temperatura (transferencia de calor) y presión (transferencia de trabajo mecánico). El potencial químico juega el mismo papel son que para procesos de transferencia de materia.</p>	<p>Demostración y énfasis en la definición de los estados de referencia para su determinación.</p>

central?					
¿De qué formas evalúas el aprendizaje de los alumnos sobre este concepto central?	Preguntas conceptuales	Problemas numéricos utilizando datos experimentales	Preguntas conceptuales	Preguntas conceptuales	Problemas numéricos

Este cuestionario está diseñado para tratar de evaluar el conocimiento pedagógico del contenido(CPC) de un grupo de profesores del nivel universitario, con relación al tema de "equilibrio químico".

Clave del profesor	L-III
Grado Académico	Licenciatura en Ingeniería Química
Edad	62
Experiencia Docente (años)	39

Conceptos centrales decididos en consenso	Espontaneidad, reversibilidad y equilibrio	Estequiometría y avance de reacción	Propiedades termodinámicas (S, G)	Potencial químico (μ)	Constante de equilibrio (K)
---	--	-------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------

Por favor, contesta lo más extensamente posible, para cada uno de estos conceptos centrales, las siguientes preguntas:

¿Por qué consideras importante que los estudiantes aprendan este concepto central y cuál es tu intención al enseñarlo?	En la naturaleza ocurren muchos fenómenos (químicos), algunos de manera espontánea en tanto que otros los forzamos a que ocurran atendiendo a un interés particular. Es de un gran interés conocer las condiciones en que pueden ocurrir espontáneamente, así como la extensión del proceso, hasta alcanzar la condición de equilibrio y los cambios necesarios en las variables que lo afectan para modificar el estado de equilibrio a nuestra conveniencia.	Para poder precisar las condiciones de equilibrio es necesario tener una idea clara de lo que es la estequiometría de una reacción así como entender lo que significa el avance de la reacción, magnitud que no cambiará cuando se haya alcanzado el equilibrio, a menos de que se modifiquen las condiciones. Si no se tieneclaro el concepto de estequiometría, no es posible abordar el tema de equilibrio.	Establecer si un proceso es viable bajo las condiciones en que se presenta, es fundamental. ¿Qué es lo que hace que un proceso ocurra? ¿Qué puedo medir para establecer si es factible que ocurra el proceso bajo esas condiciones? ¿En qué condiciones puedo recurrir a uno u otro?... La intención es que los alumnos comprendan que existe algo que puedo evaluar (los potenciales termodinámicos), que me permitirá dar respuesta a las	Es una magnitud que les va a permitir plantear las situaciones de equilibrio tanto físico como químico.	Es un concepto de gran relevancia. Poder calcularla es conocer los alcances de una reacción que llega al equilibrio. Su relación con los productos reactivos es crucial para conocer los rendimientos (alcances de una reacción).
--	--	--	---	---	---

			preguntas planteadas.		
¿Cuáles son las dificultades y limitaciones relacionadas con el aprendizaje de este concepto central?	Uno de los aspectos que dificultan el aprendizaje de este concepto es precisamente la idea de alcanzar una condición de equilibrio en la que no todos los reactivos se han consumido aún cuando se hayan puesto en la proporción estequiométrica. Situación que se acentúa si la proporción no es estequiométrica dando lugar a la aparición del reactivo limitante.	En tanto se mantienen las condiciones estequiométricas y la reacción es cuantitativa, el problema se limita a manejar correctamente las proporciones. Sin embargo, al considerar un avance distinto del 100%, se les complica el cálculo de las cantidades tanto de reactivos y productos en condición de equilibrio, situación que se agrava si existe un reactivo limitante.	Una de las principales limitaciones para el aprendizaje y comprensión de este concepto central se encuentra en la capacidad de abstracción de los alumnos, que al proponerles la existencia de propiedades "no tan tangibles" como pueden ser presión, volumen y temperatura, les da la impresión de estar haciendo cálculos mecánicos pero sin tener una idea clara de lo que están calculando.	Nuevamente, una de las principales limitaciones para el aprendizaje y comprensión de este concepto se encuentra en la capacidad de abstracción de los alumnos,	En un enfoque, el tradicional de química general, las dificultades relacionadas con este concepto están influenciadas por las de los conceptos de estequiometría, avance de reacción y el cálculo de las propiedades termodinámicas S y G. Nuevamente uno de las limitaciones es el manejo adecuado de las matemáticas (cálculo, álgebra, logaritmos).
¿Cuáles son las dificultades y limitaciones relacionadas con la enseñanza de este concepto central?	Antes de abordar este tema, para el alumno las reacciones son cuantitativas, esperando que los reactivos se consuman en su totalidad durante una reacción. Para algunos resulta difícil (o muy difícil), creer lo que el maestro está exponiendo, indicando que no todos los reactivos se consumen.	Una de las principales dificultades para este concepto es el manejo correcto de las proporciones y su interpretación correcta en una ecuación química... por ejemplo en la reacción de formación del NH ₃ , una forma de representarla es: $N_2 + 3 H_2 \Rightarrow 2 NH_3$, en un problema donde las presiones parciales de	El planteamiento de "propiedades" que no son tangibles y que requieren además de un manejo adecuado de las matemáticas, específicamente del cálculo diferencial e integral. En algunos casos la situación se complica aún más si el manejo del álgebra y logaritmos es	Se requiere, además de un manejo adecuado de las matemáticas, específicamente del cálculo integral y de ecuaciones diferenciales. En algunos casos la situación se complica aún más si el manejo del álgebra y logaritmos es	En lo operativo, con frecuencia, las dificultades y limitaciones en torno a este tema derivan del programa de estudio de la materia, en el que los temas propuestos exceden a los tiempos que se han asignado a cada tema. En lo académico, principalmente en la necesidad de estar corrigiendo las deficiencias

		reactivos se encuentran en proporción estequiométrica, se tiene que: la presión parcial del H ₂ es el triple de la del N ₂ (P _{H2} = 3 P _{N2}). El alumno suele confundirse y lo expresa como P _{N2} = 3 P _{H2} , tal como están los coeficientes estequiométricos en la ecuación química.	deficiente.	deficiente.	académicas de los alumnos (química general, física y matemáticas)
--	--	---	-------------	-------------	---

<p>¿Qué procedimientos o metodologías didácticas (analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones, reformulaciones, experimentos etc.) empleas para que los alumnos identifiquen la importancia de este concepto central?</p>	<p>Para la exposición de este tema, como antecedente les recuerdo otros fenómenos en los que se alcanza también una condición de equilibrio y que seguramente ya conocen, como es el caso del contacto térmico entre dos cuerpos con diferente temperatura en los que gracias a esa diferencia ocurre la transferencia de energía en forma de calor y que se alcanza una condición en la que la temperatura de ambos cuerpos se igualan y deja de fluir la energía en forma de calor. Otra analogía que funciona bastante bien es la de los vasos comunicantes, especialmente cuando son de diferente diámetro; inicialmente todo el fluido (reactivos) en uno de los vasos, que al abrir la llave que permite el flujo entre ellos permite el desplazamiento del líquido hasta alcanzar la misma altura en ambos vasos (reactivos y productos ambos presentes al mismo tiempo bajo ciertas condiciones que ya no cambian). En ambas</p>	<p>Utilizo una analogía que funciona espléndidamente para el manejo de las proporciones entre las especies participantes, incluso considerando que no se encuentren en proporción estequiométrica, es decir con alguno(s) de los reactivos en menor proporción y que les hace ver de manera clara y sencilla lo que es la estequiometría y el concepto de reactivo limitante... "Considere la estequiometría de la siguiente reacción.... $2 P + 3 J + 2 Q + 3 T + 4 C \Rightarrow S$". ¿Qué pasa si se toman $10 P + 13 J + 11 Q + 14 T + 19 C$ y la reacción ocurre hasta consumir el reactivo limitante? ¿Cuál es el reactivo limitante? ¿Cuánto de S se obtiene? ¿Cuánto queda de cada reactivo?... y para complicarla más... ¿que pasa si por alguna razón la reacción avanza sólo hasta que se han consumido 6 P?... Nuevamente...¿Cuánto de S se obtiene? ¿Cuánto queda de cada reactivo?... Así, las cosas parecen un</p>	<p>En cuanto a la entropía, una primera presentación es resultado del estudio del Ciclo de Carnot (presentación tradicional), y la resolución de problemas en los que se aprecian los aumentos de la entropía en aquellos procesos físicos que ocurren de manera espontánea bajo ciertas condiciones. En este punto resulta muy importante evaluar tanto las variaciones de la entropía como la de los alrededores, particularmente en aquellos procesos en los que el criterio de la entropía resulta insuficiente para determinar la dirección del proceso. Al cambiar las condiciones se plantea la necesidad de otra propiedad que responda adecuadamente bajo las nuevas condiciones, sin tener que recurrir al cálculo de ésta en los alrededores (energía de Gibbs). Al hacer el</p>	<p>Esta parte requiere de un repaso de matemáticas, específicamente del planteamiento y manejo de las ecuaciones diferenciales. La resolución de problemas en los que se involucran varias fases ayuda a comprender mejor el concepto.</p>	<p>Hay un buen número de reacciones que son conocidas por los alumnos sólo desde el punto de la química general. Hacer una presentación secuenciada que conduzca desde el punto de vista de la fisicoquímica al establecimiento de la constante de equilibrio ha despertado el asombro e interés por parte de los alumnos, que hasta antes de esto, el cálculo de la constante de equilibrio lo realizaban de manera dogmática: "Productos entre reactivos"</p>
--	--	---	---	--	---

	<p>analogías, el "flujo" se detiene en algún punto (equilibrio), cuando se iguala en ambos sistemas una "propiedad", que es la que determina la "condición de equilibrio".</p>	<p>tanto confusas, sin embargo cuando se les dice a los alumnos que la proporción para elaborar un "S" (sandwich) es "rebanadas de pan, 3 de jamón, 2 de queso, 3 de tomate y 4 de cebolla, el panorama se les aclara y pueden responder fácilmente cuál es el reactivo limitante, y cuánto queda de cada uno de los componentes para elaborar los sandwiches en los dos casos mencionados anteriormente.</p>	<p>planteamiento de estas propiedades como criterios de espontaneidad, se aborda también el de equilibrio, que conduce, en el caso de las reacciones químicas, al establecimiento de la constante de equilibrio.</p>		
<p>¿De qué formas evalúas el aprendizaje de los alumnos sobre este concepto central?</p>	<p>Se evalúa con la resolución de problemas en los que se pregunta cuáles serían las cantidades de productos y reactivos en una reacción que alcance la condición de equilibrio.</p>	<p>Se evalúa con la resolución de problemas en los que se pregunta cuáles serían las cantidades de productos y reactivos en una reacción que alcance un avance determinado o la condición de equilibrio.</p>	<p>Se evalúa con la resolución de problemas en los que se pregunta cuáles serían las cantidades de productos y reactivos en una reacción que alcance la condición de equilibrio, su relación con la entalpía y la entropía</p>	<p>Se evalúa con la resolución de problemas en los que se pregunta cuáles serían las cantidades de productos y reactivos en reacciones homogéneas y heterogéneas que alcancen la condición</p>	<p>Se evalúa con la resolución de problemas en los que se pregunta cuáles serían las cantidades de productos y reactivos en reacciones homogéneas y heterogéneas que alcancen la condición de equilibrio.</p>

			de la reacción, así como con la constante de equilibrio y la energía de Gibbs.		
--	--	--	--	--	--

de equilibrio.

Este cuestionario está diseñado para tratar de evaluar el conocimiento pedagógico del contenido(CPC) de un grupo de profesores del nivel universitario, con relación al tema de "equilibrio químico".

Clave del profesor	L-IV				
Grado Académico	Doctorado en Ingeniería Química				
Edad (años)	67				
Experiencia Docente (años)	41				
Conceptos centrales decididos en consenso	Espontaneidad, reversibilidad y equilibrio	Estequiometría y de reacción	Propiedades termodinámicas (S, G)	Potencial químico (μ)	Constante de equilibrio (K)

Por favor, contesta lo más extensamente posible, para cada uno de estos conceptos centrales, las siguientes preguntas:

<p>¿Por qué consideras importante que los estudiantes aprendan este concepto central y cuál es tu intención al enseñarlo?</p>	<p>La segunda ley de la termodinámica establece la direccionalidad de los procesos naturales hacia el equilibrio. De modo que los procesos espontáneos siempre son en la dirección de alcanzar el equilibrio. Las reacciones químicas irán en la dirección del equilibrio, por lo tanto, el conocimiento del avance de la reacción en el equilibrio establece el límite al cual puede llegar la reacción. En reacciones reversibles, la dirección de la reacción tiene que ver con la concentración inicial de los componentes. Si es muy rica en reactivos y pobre en productos irá en la dirección de reactivos a productos. pero si es rica en productos y pobre en reactivos, entonces irá de productos a reactivos, siempre en la dirección de alcanzar el equilibrio. Todo lo anterior son las bases del tema de equilibrio en reacciones químicas.</p>	<p>Los cálculos del equilibrio en reacciones químicas requiere de cálculos de balance de materia. Para efectuar estos cálculos se necesitan dos elementos: la estequiometría de la reacción y el concepto de avance de reacción. Los coeficientes estequiométricos se utilizan tanto para el balance de materia como para el cálculo de la constante de equilibrio y la formulación de la ecuación de equilibrio químico. Es fundamental que los alumnos se percaten de que en todos los cálculos deben utilizar siempre el mismo conjunto de coeficientes estequiométricos.</p>	<p>El cálculo del estado de equilibrio está basado en los siguientes resultados de la segunda ley: 1) En un sistema cerrado y aislado el estado de equilibrio corresponde al de máxima entropía; 2) En un sistema a temperatura y presión constante el estado de equilibrio corresponde al de mínima energía de Gibbs; entre otros. Estos resultados son generales y gobiernan a cualquier reacción química sin importar el tipo de componentes involucrados, la temperatura o presión. Esto refuerza el carácter general de la termodinámica y el papel que juegan las propiedades como S y G. Lo siguiente será desarrollar ecuaciones para calcular estas propiedades y efectuar cálculos.</p>	<p>El cálculo de la energía de Gibbs requiere del cálculo de los potenciales químicos. El potencial químico de cada componente en la mezcla de reacción debe ser calculado a la temperatura, presión y composición de la mezcla. Se deberán incorporar coeficientes de actividad y coeficientes de fugacidad, según sea el caso, cuando las condiciones de reacción así lo ameriten. La expresión del potencial químico puede ser expresada en términos de fugacidades. Esta expresión es la que yo en lo particular utilizo. Las</p>	<p>Es usual, y así lo planteo yo, que la expresión del potencial químico de origen a una forma de la ecuación de equilibrio que se conoce como la expresión de la constante de equilibrio. En su planteamiento se llega a una expresión general que es válida para todos los problemas de equilibrio, sin importar la naturaleza de los componentes o las características de la mezcla como temperatura, presión y fase. De este modo la constante de equilibrio es general, única para cada reacción y solo función de temperatura. Sin apelativos, subíndices, etc. Para su cálculo solo se requiere de los potenciales químicos de los estados de referencia de los componentes y los coeficientes estequiométricos. La ecuación de equilibrio basada en la constante de equilibrio tiene en el</p>
---	---	--	---	---	--

				<p>expresiones para calcular el potencial químico están basadas en la introducción de un estado de referencia. Estas expresiones son vitales ya que constituyen la pieza fundamental para el cálculo numérico del equilibrio. La selección del estado de referencia se vuelve entonces un elemento crucial. Es un aspecto que no se enfatiza suficiente. El estado de referencia lo debemos escoger de acuerdo a la disponibilidad de información termodinámica para su cálculo y al tipo de problema de</p>	<p>lado derecho a la constante de equilibrio, cantidad adimensional, y en el lado izquierdo al cociente de fugacidades de los componentes en mezcla, elevadas a los coeficientes estequiométricos. En la expresión anterior, cada fugacidad en la mezcla está dividida por la fugacidad del estado de referencia. Con esta expresión se resuelven todos los problemas de equilibrio. En caso de que varias reacciones se lleven a cabo simultáneamente, se plantea una ecuación de equilibrio para cada reacción. El balance de materia contendrá como incógnitas los avances de cada reacción. Entonces, esta formulación da un sistema de ecuaciones con igual número de incógnitas, una ecuación de equilibrio por cada reacción y un avance por cada reacción como incógnita. Al encontrar</p>
--	--	--	--	--	--

				<p>equilibrio que debemos resolver. Podemos escoger en un problema en particular, estados de referencia diferentes para cada componente presente en la mezcla de reacción. Debemos poder efectuar cálculos del mismo a la temperatura de reacción. Tenemos libertad para escoger la presión y estado físico del estado de referencia como nos resulte más conveniente. Se debe abordar este tema con expresiones generales para cada tipo de fase, con lo</p>	<p>los avances de reacción al equilibrio se tendrá la composición de la mezcla al equilibrio.</p>
--	--	--	--	---	---

				<p>cual tendremos un puñado de ecuaciones para resolver todos los problemas de equilibrio, sin importar su complejidad.</p>	
--	--	--	--	---	--

¿Cuáles son las dificultades y limitaciones relacionadas con el aprendizaje de este concepto central?

Los alumnos están acostumbrados a reacciones que ocurren en forma completa, hasta agotar el reactivo limitante. Al principio les cuesta trabajo pensar en que habrá un límite para una reacción y que el límite es el estado de equilibrio. No tienen claro que una reacción reversible puede llevarse a cabo en ambas direcciones. Más aún, no comprenden que de acuerdo con la 2ª ley todas las reacciones son reversibles. Que este concepto de reversibilidad es diferente al punto de vista cinético. Que la termodinámica no establece el tiempo requerido para alcanzar el equilibrio. Hay que aclarar que un catalizador no influye en el equilibrio, solo en la rapidez de la reacción.

Los alumnos están acostumbrados a reacciones que ocurren en forma completa, hasta agotar el reactivo limitante. Les cuesta trabajo pensar en que sobran reactivos. El avance de reacción es difícil ya que no se refiere a un componente en particular, sino a toda la reacción. La cantidad de reactivo que reacciona y la cantidad de producto que se forma es igual al avance de reacción multiplicado por el coeficiente estequiométrico de cada componente. El valor numérico del avance depende de la estequiometría que se escoja. La cantidad de reactivos o productos son independientes de esta decisión. Ejemplos numéricos en clase ayudan al aprendizaje de este tema.

La entropía es una propiedad abstracta que no terminan por entender. No se diga la energía de Gibbs. Explicaciones moleculares no ayudan. Relacionar la entropía con orden-desorden tampoco ayuda. Partir de que no lograremos que tengan un concepto funcional de estas propiedades. Más bien centrarnos en lo que podemos hacer con ellas. El objetivo debe ser que acepten que ambas propiedades permiten establecer la direccionalidad de los procesos. **Además tenemos la dificultad de calcularlas.** Por eso hay tantos libros de termodinámica y cada uno de ellos intenta darle una explicación.

Primero que comprendan que los potenciales químicos establecen la dirección en que ocurre la reacción. Que hay un potencial químico para cada componente. Las dificultades y limitaciones mayores están en establecer las ecuaciones con las que se calcularán los potenciales químicos. No es fácil que vean la necesidad del estado de referencia y como se llega al potencial químico de cada componente en la mezcla. Aún la más simple es una ecuación compleja. Por

La ecuación del equilibrio químico es una relación compleja que involucra muchos términos. Es necesario explicar con detalle el significado de cada uno de ellos y como se calculan. Además, la solución de un problema de equilibrio requiere que aparte de la ecuación de equilibrio se tengan las ecuaciones del balance de materia. Es fundamental que se vea la conexión entre ellas. En muchos casos la solución del problema de equilibrio requiere de métodos numéricos porque no hay una solución analítica.

				ejemplo, el estado de referencia depende de temperatura y su cálculo requiere de la capacidad calorífica, mediante una doble integral.	
¿Cuáles son las dificultades y limitaciones relacionadas con la enseñanza de este concepto central?	Son conceptos abstractos. A un buen número de alumnos les cuesta trabajo asimilar conceptos abstractos.	El avance de reacción es un concepto que está en la frontera de lo concreto y lo abstracto. Lograr que entiendan que se refiere a la reacción en su conjunto y no a un componente en particular.	Son conceptos abstractos. A un buen número de alumnos les cuesta trabajo asimilar conceptos abstractos.	Hay que tratar apropiadamente el estado de referencia sin terminar con una cantidad grande de opciones. De hecho, en la práctica se utilizan solo dos. El basado en componente puro, ya sea como gas, líquido o sólido. Y el basado en una solución a dilución infinita,	Lograr que los alumnos relacionen el balance de materia y la ecuación de equilibrio. Que identifiquen las variables que las relacionan. Lograr que los alumnos vean la generalidad de la ecuación de equilibrio y distingan las particularidades que adopta para un problema en particular. Insistir en que la constante de equilibrio solo es función de temperatura y es adimensional.

				<p>por ejemplo para iones en solución. Desarrollar después las expresiones para: 1) mezcla de gases ideales; 2) mezcla que dan soluciones líquidas ideales y 3) sólidos puros. Aclarar que soluciones sólidas pueden ser tratadas con la misma metodología que para líquidos. Extender las ecuaciones anteriores para mezclas de gases reales y para soluciones líquida no-ideales.</p>	
--	--	--	--	---	--

<p>¿Qué procedimientos o metodologías didácticas (analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones, reformulaciones, experimentos etc.) empleas para que los alumnos identifiquen la importancia de este concepto central?</p>	<p>Ejemplos de la vida diaria son útiles. Tomar primero ejemplos de equilibrio más fáciles de ilustrar como solubilidad de sólidos en líquidos. después inducirlos a que den ejemplos de equilibrio en reacciones químicas. Hay que buscar ejemplos de acuerdo con los intereses de los alumnos (carrera) en donde el cálculo del equilibrio es importante. Para ingeniería química hay varios ejemplos de reacciones industriales donde el equilibrio es importante para el diseño del proceso.</p>	<p>Tiene uno que escoger problemas que les resulten relevantes y que les ayuden a asimilar los conceptos. Ayuda el calcular el avance de reacción a parte de la conversión de un reactivo o a la cantidad formada de un producto.</p>	<p>Una vez que se ha resuelto un problema de equilibrio, se puede regresar al cálculo de la energía de Gibbs para diferentes avances de reacción. Hacer notar que el avance al equilibrio coincide con el mínimo de la energía de Gibbs.</p>	<p>Las expresiones desarrolladas para el cálculo de los potenciales químicos son la herramienta central para el cálculo del equilibrio en reacciones químicas.</p>	<p>Aplicaciones a ejemplos relevantes para los alumnos, de acuerdo a sus intereses (carrera). Los resultados deben tener significado de acuerdo al problema que se resolvió.</p>
<p>¿De qué formas evalúas el aprendizaje de los alumnos sobre este concepto central?</p>		<p>Problemas concretos, sobre todo si se enuncian solo con palabras.</p>	<p>Problemas concretos como el cálculo que se planteó en el párrafo anterior.</p>	<p>Cálculos concretos que ilustren el uso de las ecuaciones</p>	<p>Cálculos concretos que ilustren el uso de las ecuaciones</p>

5.3 Las entrevistas de los profesores de bachillerato

Profesor B-I

1. ¿Cuál es la finalidad de la enseñanza del concepto de equilibrio químico?
¿Se trata de poder entender fenómenos de la vida diaria del estudiante?
¿Cuáles? ¿Se trata de conocer temas fundamentales para ver otros temas
ulteriormente? ¿Cuáles? ¿Se trata de cumplir con el plan de estudios *per se*?

En un primer momento fue por cumplir con el plan de estudios, ya que es un contenido obligatorio, el 2.2: “Equilibrio químico” de la Unidad 2: “Rapidez y equilibrio de la reacciones químicas”; del programa oficial de estudios de la asignatura Química IV área I de la Escuela Nacional Preparatoria (ENP) de la UNAM. Sin embargo al paso del tiempo, mi interés se amplió más allá de cumplir con el programa, y es que me es importante que los estudiantes conozcan o refuercen que no todas las reacciones se consideran unidireccionales, es decir, irreversibles; sino que en muchos sistemas las reacciones son reversibles y que con esto se pueden interpretar, entender y/o comprender una serie de fenómenos naturales, procesos industriales o funcionamiento de algunos dispositivos. Por ejemplo el control del pH en la sangre para una buena salud, la función de un antiácido, la transformación del contaminante NO_2 a N_2O_4 , el proceso de obtención industrial del amoníaco, entre otros. Cabe mencionar que el tema de equilibrio ayuda a entender un único tema posterior que marca el programa: la teoría ácido-base de Brönsted/Lowry.

2. Si el tema de equilibrio químico no se enseña con el lenguaje termodinámico: sistema-alrededores-frontera-variables, etc. ¿Cómo se entiende lo que pasa dentro y lo que pasa fuera del sistema?

Estoy de acuerdo con ello y en mi caso sí utilizo tal lenguaje ya que se revisó en la Unidad I: “La energía y las reacciones químicas” en el contenido 1.1 “Energía y reacción química”, en este contenido se tratan conceptos como sistemas, estados y funciones de estado, energía interna, entalpía, reacciones endotérmicas y exotérmicas, entre otros.

3. Con respecto a las dificultades de aprendizaje del concepto central ‘Antecedentes’, haces énfasis en repasar los temas cantidad de sustancia y mol, estequiometría, concentración y reacción química, a pesar de que ya los vieron en el curso previo al tuyo.

¿Tienes que volver a dar estos temas antes de iniciar el de equilibrio químico? ¿Puedes darnos unos apuntes de tu clase de “repaso” de estos

temas? Nos interesa sobre todo saber ¿cómo haces para que el alumno perciba algo tan abstracto como lo es ese número de partículas?, para luego relacionarlo a lo que es el mol, y de aquí su relación con su masa, y aún más a la concentración de una disolución.

A través del tiempo en el que he impartido el tema me he enfrentado con el problema de olvido y/o no comprensión de esos temas previos, entonces en el momento de aplicarlos al tema de equilibrio químico mi fracaso al respecto era muy evidente, por lo que tomé la decisión de volverlos a revisar y de esa manera tratar de disminuir el riesgo latente en la enseñanza y el aprendizaje de dicho tema. Me es importante mencionar que aun después de revisar los temas previos, persisten las dificultades en algunos estudiantes para aprender, tanto los temas previos como el tema de equilibrio químico; por lo que sigo hablando de ellos en contenidos posteriores como los de ácido, base y pH.

4. En la pregunta sobre los procedimientos utilizados al dar 'Reversibilidad y Equilibrio Dinámico', hablas de una "representación teatral" en la que se forman algunos grupos que se enganchan de los brazos y que una o dos personas se intercambian de grupo, lográndose llegar al equilibrio cuando las personas que se desenganchan y enganchan lo hacen a la misma velocidad.

¿Cómo se te ocurrió esta representación? ¿Por qué esa y no otras? ¿Fue producto de tu imaginación acerca de cómo hacer que los alumnos aprendan el concepto?, es decir, ¿Algún día se te ocurrió proponerla? O más bien la miraste en algún libro o artículo?

Esta representación se me ocurrió con el fin de hacer más participes a los estudiantes, de que se me distrajeran, que rompieran un poco con el ritmo de la clase, es decir, que no solo recibieran la información o participaran oralmente, sino hacer que algunos se levantaran de sus sillas; de que se estiren y provoquen, tanto en ellos como en el resto del grupo, algunas risas, un poco de gritos, o en algunos un poco de pena propia y ajena. Apuesto a tratar de diversificar los estilos de aprendizaje, en este caso, el kinestésico; que a algunos estudiantes les podría ayudar a entender el concepto. Esta estrategia es propia, no sé si a alguien se le ocurrió antes y si está o no en algún artículo.

Otra estrategia que aplico, y en la que utilizo el pizarrón, es la de los "vasos comunicantes", en esta analogía comienzo explicando que tenemos 3 casos, en cada uno hay dos tanques conectados (les comento aquí que en el sistema tenemos una reacción reversible); en el primero el volumen de los tanques es igual, en el segundo el volumen de lado derecho es más grande que del izquierdo y en el tercero el volumen del tanque izquierdo es mayor que el de la derecha (el volumen representa la concentración de reactivos, lado izquierdo, y productos, lado derecho, en el sistema de reacción. El que yo les mencione las diferencias de volúmenes quiere decir que en el primer caso tenemos concentraciones de reactivos y productos iguales, en el segundo que la concentración de productos es mayor que la de

reactivos, y en el tercero la concentración de reactivos es mayor que la de productos); luego les menciono que colocamos agua en el tanque izquierdo, en cada caso, y que abrimos la válvula que los conecta (con esto les represento que empieza la reacción, que los reactivos empiezan a transformarse en los productos), enseguida pregunto lo que sucederá al hacer esta acción, y la mayoría me contesta que empieza a llenarse el tanque de la derecha hasta que ambos tanques lleguen al mismo nivel, esto en los tres casos (aquí les hablo de tener en el equilibrio químico la misma velocidad de reacción en ambos sentidos de la reacción, independientemente de las concentraciones de reactivos y productos que se tengan, les hago patente que en cada caso tenemos la presencia tanto de reactivos como de productos). Claro que a veces esta analogía, si no tengo cuidado en la explicación, puede generar en los alumnos la concepción alternativa de que el equilibrio químico es estático, pues ellos consideran que cuando los tanques tienen el mismo nivel de agua, todo es apacible y no le ven lo dinámico. Entonces para tratar de evitar lo antes descrito utilizo otra estrategia, está la tomé de la Profesora Patricia Huerta. Llevo dos cubetas con cierta cantidad de agua (tratando de representar los tres casos de los vasos comunicantes) las coloco en la mesa del profesor y pongo en cada cubeta un vaso de plástico de aprox. 250 ml, enseguida paso a dos estudiantes y les doy la instrucción de que seleccionen una de las cubetas y de que pasen, al mismo tiempo y juntos, un vaso de agua de su cubeta seleccionada a la del compañero o compañera; al inicio derraman mucha agua y están desfasados en la acción hasta que van controlando el proceso y ejecutan muy bien la instrucción, en este momento explico al grupo que se fijen bien como los niveles de las cubetas no se modifican y sin embargo la acción de pasar un vaso de agua a la cubeta contraria no cesa, eso es un equilibrio dinámico y entonces lo relaciono a la reacción de equilibrio químico mencionando que así las concentraciones de reactivos y productos permanecen constantes mientras la transformación de unos a otros es continua y dinámica y se lleva con la misma velocidad.

5. Respecto a la enseñanza de la 'Constante de Equilibrio Químico', comentas el acuerdo académico de no hacer ejercicios numéricos para el cálculo de la constante y dices que haces ejercicios en los que se desarrolla la expresión de la constante para diferentes reacciones químicas y se aclara el efecto de la temperatura en el valor de la constante:

¿Cómo se puede poner en evidencia el efecto de la temperatura en el valor de la constante sin hacer cálculos, y cómo enfrentar los problemas de comprensión de la proporcionalidad en los alumnos, sin comparar los distintos valores de la constante en diferentes situaciones experimentales?
¿Qué metodología de enseñanza propondrías para subsanar esta situación?

En este punto se analiza el efecto de la temperatura en el equilibrio químico, es decir, qué sentido se favorece, ya sea el endotérmico o el exotérmico, para restablecer el EQ; dependiendo si se aumenta o se disminuye la temperatura en el sistema. Para este momento los estudiantes ya saben como desarrollar la expresión de la constante y la relación de proporcionalidad que representa entre los productos y reactivos de la reacción química en cuestión. Un ejemplo al tratar el tema, les digo: “en este sistema se aumenta la temperatura y el sentido exotérmico de la reacción química en equilibrio es...y el endotérmico es... (les señalo entonces los sentidos en una reacción química escrita en el pizarrón) prosigo:por lo tanto ¿qué sentido de la reacción química se intensifica para restablecer el equilibrio al aumentar la temperatura en el sistema? y los estudiantes contestan, por decir algo, ... a la derecha!!!, entonces les cuestiono, ¿qué sucede con las concentraciones en el sistema?...cambian, aumenta la de los productos!!!; ...si ahora analizamos la expresión de la constante, qué termino aumentael numerador!!! contestan...entonces ¿qué le sucede al valor de la constante?.....aumenta también!!!....muy bien.....” Como actividad de refuerzo les presento otra situación moviéndome en los parámetros antes descritos, modificando las condiciones del sistema con la misma reacción y luego con otra reacción.

Mi propósito es que comprendan que con los cambios de temperatura, cambian las concentraciones en el sistema de reacción y por lo tanto se modifican los valores de las constantes.

6. Mencionas que existe una gran dificultad en presentar a los alumnos “lo que hace el factor externo para romper el equilibrio del sistema y lo que hace el sistema para recuperar ese estado termodinámico.” En las metodologías de enseñanza que propones está una película y un cuestionario, ¿podrías decirnos qué película es y darnos el cuestionario con las respuestas que esperas de los alumnos? Si te diera tiempo de hacer una práctica de laboratorio, ¿cuál harías y por qué?

Es un video (en formato VHS) del “Centro Visual educativo S.A. de C.V. (CORONET MTI International)” Los temas que incluye son: a) Enlaces químicos y estructura atómica, b) Ácidos, bases y sales, c) Velocidad de reacción y equilibrio químico. En la parte que corresponde al equilibrio químico, aplico el siguiente cuestionario mientras ven el video y en una siguiente clase se discuten las respuestas.

- ¿Cómo definen Equilibrio Químico?
- ¿Cómo alteran la temperatura, la concentración, y la presión al Equilibrio Químico?
- ¿Qué proceso muestran para explicar el efecto de la temperatura en un sistema químico en equilibrio?

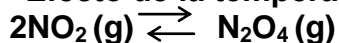
-¿Qué proceso industrial se muestra como ejemplo del control de Velocidad de Reacción y

Equilibrio Químico y en qué consiste?

- ¿Qué catalizadores utilizan en este proceso industrial? ¿con qué finalidad?"

Propuesta de práctica:

“Efecto de la temperatura” - Reacción química en equilibrio:



Generar gas NO₂, con ácido nítrico y cobre, en un vial y luego taponarlo herméticamente, este sería nuestro sistema. Se perturbaría el sistema en equilibrio químico modificando la temperatura, esto se podría lograr sumergiéndolo en un baño de hielo y luego en un baño maría. Cuando se forma el gas NO₂ el sistema se torna de color marrón, al enfriar el vial en el baño de hielo, el color marrón prácticamente desaparece, lo que indica que el equilibrio se desplaza hacia la formación del gas N₂O₄ (sentido exotérmico) con el baño maría

Profesor B-III

1. ¿Cuál es la finalidad de la enseñanza del concepto de equilibrio químico?

A nivel bachillerato es importante que nuestros alumnos comprendan lo que sucede en las reacciones químicas más allá de solo aprender a balancear las ecuaciones. Muchas veces, su interés por la Química se puede fomentar al ver cómo ellos mismos pueden modificar el curso de las reacciones al cambiar temperaturas, presiones y concentraciones tanto de reactivos como de productos, por tanto, el concepto de equilibrio químico es de suma importancia.

¿Se trata de poder entender fenómenos de la vida diaria del estudiante?

Efectivamente, tan simple como que pueda comprender o explicarse el por qué sale disparado el gas carbónico de las botellas de refrescos al destaparlos; y eso es solo un ejemplo de tantas situaciones que pueden encontrar los alumnos en su vida cotidiana respecto al equilibrio químico.

¿Cuáles?

Por lo expuesto en la pregunta anterior.

¿Se trata de conocer temas fundamentales para ver otros temas ulteriormente?

No necesariamente es ver temas (en este caso equilibrio químico) por verlos o porque lo dice el programa de la asignatura. Como lo he expuesto en las respuestas anteriores, el tema de equilibrio químico es de suma importancia para explicar sucesos cotidianos en la vida de nuestros alumnos. Pero también hay que resaltar que el concepto de equilibrio químico es una base importante para comprender otros temas también de suma importancia en la vida cotidiana.

¿Cuáles?

Ácidos y bases, estequiometría en reacciones completas e incompletas, estudio de las leyes de los gases, cinética química, etc.

¿Se trata de cumplir con el plan de estudios *per se*?

No necesariamente, por lo expuesto anteriormente.

2. Si el tema de equilibrio químico no se enseña con el lenguaje termodinámico: sistema-alrededores-frontera-variables, etc. ¿Cómo se entiende lo que pasa dentro y lo que pasa fuera del sistema?

Creo que podemos “omitir” este lenguaje termodinámico solo cuando nos referimos a las concentraciones de reactivos sólidos, líquidos o acuosos. Pero creo que no se puede dejar de lado el lenguaje termodinámico al estudiar fenómenos que involucren gases a ciertas presiones y temperaturas.

3. No respondes cuáles son las dificultades y limitaciones relacionadas con la enseñanza de los ‘Antecedentes’ del equilibrio químico.

¿Puedes contestar esta pregunta extensamente aparte?

Creo que los antecedentes necesarios para comprender el equilibrio químico se van dando desde las primeras clases (inicio del curso) ya que equilibrio químico se enseña casi al último del curso, o bien al inicio de un segundo curso de química. Creo que desde mis primeras clases voy haciendo camino con mis alumnos para que lleguemos al enfrentamiento de este tema. Durante todas estas clases previas analizamos las propiedades, estados, estructura y cambios de la materia. También analizamos la energía asociada a los cambios de la materia. Posteriormente estudiamos los tipos de enlaces que pueden formar los diferentes átomos y moléculas. Después pasamos a la nomenclatura y las reacciones químicas. Con todos estos antecedentes estudiados creo que estamos en condiciones de abordar el concepto de equilibrio químico.

4. En la pregunta sobre tus objetivos al dar ‘Reversibilidad y Equilibrio Dinámico’, dices: “Muchos de los procesos que ocurren en la vida cotidiana de nuestros estudiantes se rigen por el equilibrio químico y la reversibilidad”.

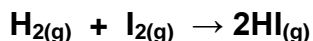
¿Puedes darnos algunos ejemplos de fenómenos de la vida cotidiana que se rijan por el equilibrio químico y la reversibilidad?

Me resulta más fácil dar ejemplos de procesos irreversibles como por ejemplo: romper un vaso de vidrio en añicos, del cual no podemos volverlo a su forma original, o bien, al quemar la gasolina y obtener CO_2 , H_2O y energía, no podemos regresar estos tres a formar nuevamente gasolina. Etc. Algunos ejemplos de procesos reversibles, podría ser la evaporación de un líquido y su posterior condensación o bien la sublimación de alcanfor o yodo en un recipiente que permita solidificarlos nuevamente.

5. En la importancia de que tus alumnos aprendan la 'Constante de Equilibrio' mencionas: "es necesario saber la magnitud de la constante, pues con ello nos podemos dar una idea de qué está pasando en el proceso a estudiar". Mencionas como herramienta de evaluación del aprendizaje de esta idea central, un examen.

¿Podrías darnos una copia de este examen con las respuestas que esperas den tus alumnos y con una explicación de en qué momento de tu enseñanza aprendieron ese aspecto de esta idea central?

Para la reacción en equilibrio representada por la ecuación:



Se tiene una constante de equilibrio $K_c = 54.4$ a una temperatura de 698 K. Si en un reactor de 10 L se introducen 0.1 mol de $\text{H}_{2(g)}$ y 0.1 mol de $\text{I}_{2(g)}$, calcula la concentración de reactivos y producto cuando se alcance el equilibrio.

Los alumnos tendrán que hacer una tabla de concentración de especies:

	$\text{H}_{2(g)}$	$\text{I}_{2(g)}$	$2\text{HI}_{(g)}$
Inicio	0.1 mol/10L =0.01M	0.1 mol/10L =0.01M	0
Al transcurrir la reacción	X	X	2X
Al equilibrio	0.01- X	0.01-X	2X

Al realizar la tabla, los alumnos deben haber comprendido que las reacciones alcanzan su equilibrio después de cierto tiempo, es decir, mientras que los dos reactivos comienzan a reaccionar. Una vez alcanzado el equilibrio, se tendrán como concentraciones de reactivos, lo inicial menos lo que ha reaccionado, a lo que hemos llamado X, y como la reacción es 1:2 se tendrá como concentración de producto, la cantidad 2X.

Teniendo como dato el valor de la K de equilibrio, para encontrar X tendrán que sustituir en la ecuación:

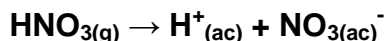
$$K_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]}$$

Es decir, utilizaron el valor de la constante de equilibrio para determinar la concentración de todas las sustancias presentes en el equilibrio de la reacción.

Otro ejemplo de reactivo de examen es en el equilibrio ácido base.

Por ejemplo:

El ácido nítrico se disocia en agua de acuerdo a la siguiente ecuación:



La constante de la reacción es muy grande (prácticamente infinito).

¿El HNO_3 es un ácido fuerte o débil?

Aquí los alumnos deben saber que un ácido fuerte está completamente disociado en agua, por lo que HNO_3 no debe existir

como tal. Al establecer la ecuación para la constante de equilibrio para la disociación de HNO_3 como:

$$K_a = [\text{H}^+] [\text{NO}_3^-] / [\text{HNO}_3] = \infty$$

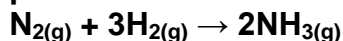
Los alumnos se dan cuenta que para que ese cociente sea igual a ∞ , $[\text{HNO}_3]$ debe ser idéntica a cero, con lo cual se dan cuenta que $[\text{HNO}_3]$ no existe como tal y por tanto HNO_3 es un ácido fuerte.

Estos son dos ejemplos típicos de preguntas de examen referentes a la constante de equilibrio.

6. Sobre el tema de los 'Factores que Modifican el Equilibrio Químico', mencionas que es de fundamental importancia porque "nos permite modificar o no, a nuestra conveniencia, el sentido del equilibrio en una reacción."

¿Podrías explicar con mayor amplitud para qué necesitan tus alumnos saber modificar el equilibrio químico?

Por ejemplo, si un alumno va a ser responsable de una fábrica de producción de amoníaco, de acuerdo a la reacción representada por:



Deben estar conscientes de que si aumentan la concentración de nitrógeno o hidrógeno o ambos, el equilibrio se desplazará hacia la obtención de más amoníaco, o bien, si aumentan la presión en el tanque o recipiente donde se esté llevando a cabo la reacción, el equilibrio también se desplazará hacia la producción de más amoníaco.

Y como este ejemplo, hay muchos más que se pueden mostrar a los alumnos para que vean como se puede dirigir el equilibrio químico hacia donde nosotros queramos variando concentraciones, temperatura, volumen y presión.

Profesor B-IV

1. ¿Cuál es el sentido de la enseñanza del concepto de equilibrio químico?
- ¿Se trata de poder entender fenómenos de la vida diaria del estudiante?
- ¿Cuáles? ¿Se trata de conocer temas fundamentales para ver otros temas ulteriormente? ¿Cuáles? ¿Se trata de cumplir con el plan de estudios *per se*?
- Aunque la primera razón para enseñar el concepto de equilibrio químico es cumplir con el plan de estudios, es importante llegar a las aplicaciones del mismo.**
- Primero se abordan los temas intentando la comprensión de fenómenos naturales como la formación del arrecife de coral y su destrucción, modificando las condiciones y alterando el equilibrio. También se pueden usar ejemplos de la industria como la síntesis de amoníaco, donde la obtención del producto depende de desplazar el equilibrio hacia la formación de reactivos. De esta forma se puede dar sentido al estudio del concepto, sin embargo, habrá que buscar**

ejemplos más cercanos al estudiante; tal vez con el uso de ejemplos como las pilas recargables que utilizamos tan cotidianamente.

También me parece que es fundamental para entender los equilibrios ácido-base y redox, y poder hablar de constantes de acidez, espontaneidad de las reacciones en uno u otro sentido, etc.

Si no se enseña el tema con el lenguaje termodinámico: sistema-alrededores-frontera-variables, etc. ¿Cómo se entiende lo que pasa dentro y lo que pasa fuera del sistema?

- 2. Siguiendo el orden del programa de estudios, el lenguaje termodinámico se aborda al inicio del curso, de tal forma que sí se maneja este lenguaje aún antes de revisar el tema, entonces sí es posible entender los sistemas y alrededores.**

- 3. Nos dices, respecto a la idea central ‘Antecedentes’, en cuanto a las dificultades de enseñanza que “el concepto de reacción química completa e irreversible puede dar lugar a una falsa idea de las reacciones reversibles”.**

¿Puedes ampliar por qué puede ocurrir eso?

Como desde la secundaria los estudiantes manejan el concepto de reacción química irreversible, difícilmente sabe que las reacciones químicas pueden ser reversibles. No se ha construido el concepto de reversibilidad, hay que comenzar a construirlo en este nivel educativo (bachillerato). De hecho, tienen la idea previa de que “los cambios químicos son irreversibles y los cambios físicos son reversibles”, idea tan arraigada que “salta” en todo momento cuando tratan de explicar lo que sucede en una reacción química; hay que enseñar la reversibilidad usando la mayor cantidad de ejemplos que puedan visualizar los alumnos.

- 4. En la pregunta sobre tus objetivos al impartir la idea central ‘Reversibilidad y Equilibrio Dinámico’, dices: “cuando se enseña el tema de manera habitual, la caracterización del equilibrio no es clara, provocándose en el alumno una serie de concepciones alternativas en torno al tema.”**

¿Puedes decirnos qué concepciones alternativas pueden generarse en particular? ¿Cómo habría que enseñar el tema para que ello no ocurra?

Primero, permanece la idea de equilibrio estático, que proviene del estudio del equilibrio mecánico en Física. De tal manera que hay que hacer mucho énfasis en la naturaleza dinámica del equilibrio. Esto hace pensar que el equilibrio está asociado con igualdad de concentraciones, como si los reactivos estuvieran de un lado de la balanza y los productos del otro lado.

Otra concepción que resalta es aquélla en donde los estudiantes piensan que la reacción directa se lleva a cabo primero y más rápido que la inversa, nunca se alcanza la igualdad de velocidades.

La idea “pendular” del equilibrio también se puede encontrar, primero se lleva a cabo la reacción directa, al terminar ésta comienza la inversa.

Hay que ser muy cuidadosos para mostrar las características del equilibrio usando analogías y experimentos que permitan visualizar de diversas maneras cada una de ellas. También el uso de simuladores ayuda mucho.

Primero debe enseñarse el concepto de reversibilidad, con muchos ejemplos; posteriormente ir analizando cada una de las características. Para ello me gusta hacer uso de las analogías, ya que permiten llevar a un ambiente más familiar, este concepto tan abstracto.

Una vez comprendidas las características, habrá que hacer ejercicios que integren los aspectos macroscópico, nanoscópico y simbólico de las reacciones reversibles. Finalmente se analizan situaciones problemáticas en las que se modifica el equilibrio, cambiando las condiciones e interpretando cualitativamente qué es lo que está sucediendo.

5. En tu CoRe, mencionas que las dificultades asociadas con la enseñanza de la constante de equilibrio, es “enseñarla de forma tradicional, solo resolviendo ejercicios. No contextualizar ni dar significado al valor numérico, no problematizar.”

¿Podrías darnos un ejemplo de las diferentes herramientas que utilizas para su enseñanza?

La mayoría de los libros sólo mencionan ejercicios donde se indica una ecuación química, se dice que se varían los factores temperatura y concentración y se solicita al estudiante que indique si la reacción desplaza “a la derecha” o “a la izquierda”. No lleva a reflexionar qué está pasando, para qué sirve el equilibrio en cuestión, y qué implica que se desplace en uno u otro sentido.

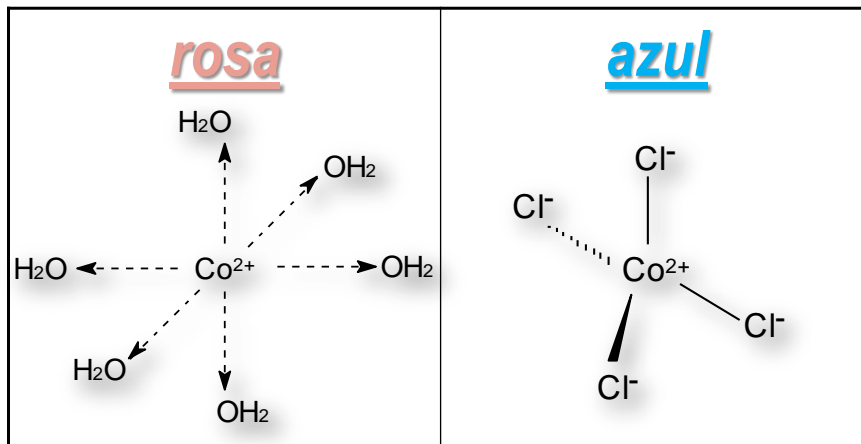
Me he dado a la tarea de buscar ejemplos más cotidianos donde cambian las condiciones, por ejemplo, el caso de la hiperventilación y cómo restablecer el equilibrio. Hay que hacer un mayor número de análisis de situaciones problemáticas, que permitan la comprensión. Más aplicación del conocimiento.

6. En los procedimientos que describes para la enseñanza de la idea central ‘Factores que Afectan el Equilibrio Químico’ mencionas que: “se realizan otros experimentos donde el alumno analiza de qué manera se puede modificar un estado de equilibrio y qué factores están involucrados en ellos”

¿Podrías describir uno de estos experimentos y los mecanismos que tienes diseñados para que los alumnos entiendan que primero los sistemas se encuentran en un estado de equilibrio, cómo saben que sí está, y cómo lo perturban para que alcance otro estado de equilibrio?, ¿cómo explicas, con ese ejemplo, que “una vez que es alterado el equilibrio, éste se restablece en las nuevas condiciones”?

Uno de los experimentos utilizados es el equilibrio del cloruro de cobalto para observar un sistema en equilibrio que involucra la formación de los complejos de cobalto: $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ y CoCl_4^{2-} y posteriormente comprobar el efecto de la variación de concentración y temperatura sobre este sistema en equilibrio (Principio de Le Chatelier).

Complejos de cobalto



Primero se modifica la concentración de agua para observar la reversibilidad, se habla de las aplicaciones de esta reacción. Posteriormente, se hace un pequeño ejercicio donde se modifica la temperatura al escribir mensajes ocultos con la sal y hacerlos visibles pasando sobre la flama de un mechero. Finalmente se modifica la temperatura y los estudiantes deciden si calientan o enfrían para modificar y restablecer el equilibrio. Anexo material usado con los alumnos.

5.4 Las entrevistas de los profesores de Licenciatura

Profesor L-I

1. En tu CoRe comentas que una de las dificultades de aprendizaje de los alumnos, respecto a los conceptos de espontaneidad, equilibrio y reversibilidad, es que son conceptos muy abstractos y sugieres animaciones, videos y experiencias de cátedra como herramientas para enseñarlos, ¿podrías mostrarnos estos materiales y describirnos las experiencias de cátedra que utilizas en clase para subsanar esta dificultad? Nos interesa también el manejo didáctico que realizas para cada una de estas herramientas.

Esto lo hago con los alumnos que cursan termodinámica. Se puede retomar en clase dos ejemplos de la vida cotidiana y que los alumnos estudiaron en su curso de Física I. El propósito es que los alumnos realicen un análisis de dichos procesos desde un punto de vista termodinámico, que indiquen qué transformaciones energéticas ocurren y que deduzcan los signos de ΔG correspondientes, además de que expliquen su interpretación física:

Caída libre de un cuerpo. Este es un proceso espontáneo, en donde dicho cuerpo hace trabajo contra los alrededores de manera natural (en este caso, $\Delta G < 0$), y cuando llega al suelo, el proceso ya terminó, y entonces $\Delta G = 0$.

Tiro vertical. Para que un cuerpo suba y logre vencer la gravedad, este proceso es no natural y requiere suministrarle energía como trabajo para que dicho proceso ocurra. En este caso, $\Delta G > 0$ (proceso no espontáneo que consume trabajo). Cuando el cuerpo alcanza la altura máxima, el proceso termina y entonces $\Delta G = 0$.

Este análisis se puede aplicar para los procesos que ocurren en pilas, máquinas térmicas como motores, refrigeradores, compresores, resistencias eléctricas, etc.

2. ¿Cuáles son los ejemplos de la vida cotidiana que tus alumnos te describen, en los que se aplican los conceptos de espontaneidad, equilibrio y reversibilidad? ¿Cuál es el ejemplo de la vida cotidiana, que consideras estrella para trabajar el concepto de equilibrio químico con argumentos termodinámicos?

El ejemplo de la vida cotidiana que los alumnos describen aplicando el concepto de equilibrio químico y espontaneidad así como reversibilidad es la respiración y la fotosíntesis. En ambos casos se puede hacer el cálculo de ΔG° a partir de datos de la literatura y se puede calcular la K_{eq} . Para la respiración $\Delta G^\circ < 0$ y $K_{eq} > 1$ esto indicaría que esta reacción es favorable termodinámicamente y que el equilibrio químico estaría desplazado hacia productos. Como la fotosíntesis es el proceso inverso a la respiración, al hacer los mismos cálculos, $\Delta G^\circ > 0$ y $0 < K_{eq} < 1$. Esto indica que esta reacción es desfavorable termodinámicamente y que el equilibrio químico está desplazado hacia reactivos. Sin embargo, al ser un proceso desfavorable termodinámicamente, no significa que no se lleve a cabo, sino que para que este proceso ocurra, se debe pagar un costo energético (en este caso, luz solar). Todo esto se puede justificar con la ecuación $\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$, calculando ΔH° y ΔS° , analizando el efecto de T, y de la combinación de signos para ΔH° y ΔS° .

3. Desde tu punto de vista, ¿qué es lo que los alumnos de licenciatura no deben dejar de saber sobre la constante de equilibrio (K_{eq}) y qué herramientas didácticas utilizas para propiciar en ellos la construcción de esta(s) idea(s)?

Es fundamental porque de esta manera, el alumno puede hacer un análisis cuantitativo del sistema reaccionante, basándose en criterios termodinámicos. Es fundamental para el alumno que conozca el significado e interpretación de la constante de equilibrio químico a partir de la ley de acción de masas (que las concentraciones relativas de todas las especies químicas de los productos y reactivos no cambian con el tiempo a T constante), que el alumno plantee una tabla de variación de

especies en términos de la coordenada de reacción para calcular las concentraciones al equilibrio de las especies químicas participantes y que conozca su relación con los potenciales termodinámicos empleando las ecuaciones: $\Delta G^\circ = -RT \ln K_{eq}$, $\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$ y $\ln K_{eq} = -\Delta H^\circ/RT + \Delta S^\circ/R$. Asimismo, es muy importante que el alumno conozca el efecto de la temperatura en la constante de equilibrio a partir de la ecuación de van't Hoff, es decir:

$\ln(K_2/K_1) = -(\Delta H^\circ/R)((1/T_2)-(1/T_1))$. Se le debe enseñar y explicar al alumno la interpretación física de ΔG° , ΔH° y ΔS° así como de sus respectivos signos. Además, deben conocer cómo afectan los signos de ΔH° y ΔS° , y el efecto de la temperatura en el signo de ΔG° y esto cómo dirige la cuantitatividad de una reacción.

4. ¿Qué tan pertinente y útil consideras al Principio de Le Châtelier en la enseñanza del equilibrio químico?

Es fundamental ya que con la aplicación de este principio, el alumno puede desarrollar un criterio para hacer un análisis cualitativo de una reacción, sin necesidad de hacer cálculos. Es muy importante enseñarle al alumno relacionar y explicar el análisis cualitativo de una reacción (principio de Le Châtelier) con el análisis cuantitativo de una reacción (aplicación de los potenciales termodinámicos), para que esto lo aplique en otros temas del curso de Equilibrio y Cinética, tales como la ley de Henry, o en equilibrios de reparto de una sustancia entre dos fases, o bien, se puede extrapolar a otros cursos, como el de termodinámica química o el de química analítica. Es fundamental que el alumno observe la relación de los potenciales termodinámicos a con las perturbaciones realizadas al sistema reaccionante, tales como las mecánicas, las térmicas, y el efecto de la concentración así como el de la adición de un catalizador o inhibidor en la reacción.

El potencial químico es una propiedad central para el aprendizaje del equilibrio químico y los alumnos presentan con frecuencia graves deficiencias matemáticas para comprenderlo y manejarlo. Desde tu punto de vista, ¿cuál debe ser el significado físico, que los alumnos deben construir, sobre este concepto, que les permita comprender de mejor manera el equilibrio químico?

Que el potencial químico es una propiedad intensiva y función de estado que puede verse como una medida de la tendencia natural que posee la materia al cambio (físico o químico) y con él se puede “medir” la tendencia natural que posee una especie química a cambiar frente a otra especie química, es decir, esto es una medida de la reactividad química de una especie química frente a otras. El potencial químico de una sustancia pura disminuye por la presencia de otras sustancias y esto se puede modelar a partir de las ecuaciones:

$\mu_i = \mu_i^\circ + RT \ln P_i$ para mezclas de gases ideales y $\mu_i = \mu_i^* + RT \ln x_i$ para soluciones líquidas o sólidas.

5. De qué manera planteas a los alumnos la condición de equilibrio de una reacción química determinada? ¿Lo haces mediante los potenciales químicos de reactivos y productos? ¿Si o no y por qué?

Se parte del hecho que el potencial químico de una sustancia pura, disminuye cuando se adiciona otra sustancia y esto se modela con las ecuaciones $\mu_i = \mu_i^\circ + RT \ln P_i$ para mezclas de gases ideales y $\mu_i = \mu_i^* + RT \ln x_i$ para soluciones líquidas o sólidas. Esto se relaciona con el cálculo de la variación de la energía de Gibbs de una reacción en términos de los potenciales químicos, es decir: $\Delta G_r = (\sum \nu_i \mu_i)_{\text{reacción}} = \sum \nu_i \mu_i \text{ productos} - \sum \nu_i \mu_i \text{ reactivos}$ y que al aplicar ΔG como criterio de espontaneidad y equilibrio a T y P constantes, al inicio, si la reacción es espontánea $\Delta G_r < 0$ y que la reacción evolucionará en esa dirección ocurriendo la transformación de reactivos a productos hasta que el proceso espontáneo

se detiene, y esto ocurre cuando $\Delta G_r = 0$ o bien que $\Delta G_r = \sum v_i \mu_i = 0$. De acuerdo con el signo de ΔG_r , significa que su valor tiende a minimizarse en esa dirección y que lo que se mide con los potenciales químicos de cada especie química en el sistema reaccionante es la contribución de cada una de las especies químicas participantes frente al cambio químico de las demás especies químicas a T y P constantes (reactividad química de cada una de las especies químicas con respecto a las demás). A partir de esto se puede deducir que: $\Delta G_r = \Delta G^{\circ}_r + RT \ln Q$ donde Q es el cociente de productos entre reactivos elevados a sus coeficientes estequiométricos. En el equilibrio químico, $\Delta G_r = 0$ (criterio de espontaneidad y equilibrio) y entonces como Q es constante a través del tiempo una vez que termina la reacción química, entonces $Q = K_{eq}$ y $0 = \Delta G^{\circ}_r + RT \ln K_{eq}$ o bien $\Delta G^{\circ} = -RT \ln K_{eq}$.

Aquí es importante mencionarle al alumno que ΔG_r es el criterio de espontaneidad y equilibrio a T y P constantes y que en el equilibrio químico $\Delta G_r = 0$, mientras que ΔG°_r indica en qué dirección está desplazado el equilibrio. Así, de acuerdo con la ecuación $\Delta G^{\circ} = -RT \ln K_{eq}$, si $\Delta G^{\circ} < 0$, $K_{eq} > 1$ y esto indica que el equilibrio está desplazado hacia productos y que la reacción tiene a ser cuantitativa, en tanto que si $\Delta G^{\circ} > 0$, $0 < K_{eq} < 1$, e indica que el equilibrio está desplazado hacia reactivos y que la reacción tiene a ser no cuantitativa.

6. En el bachillerato y en el curso de Química General, los alumnos estudian el tema de equilibrio químico en el marco de la cinética química. ¿Cómo manejas la transición didáctica del campo de la cinética al campo de la termodinámica en tus clases de Equilibrio y Cinética?

Se considera que para cualquier reacción química desde el punto de vista cinético, ésta se lleva a cabo de reactivos a productos (reacción directa) y de productos a reactivos (reacción inversa), es decir: $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$

Para la reacción directa, la velocidad de reacción es proporcional al producto de las concentraciones de los reactivos que desaparecen elevadas a un exponente (en este caso a su respectivos coeficientes estequiométricos):

$r \propto [A]^a[B]^b$ al quitar la proporcionalidad:

$$r = k [A]^a[B]^b$$

Del mismo modo para la reacción inversa:

$r \propto [C]^c[D]^d$ al quitar la proporcionalidad:

$$r = k' [C]^c[D]^d$$

El concepto de equilibrio químico desde el punto de vista cinético como se enseña en el bachillerato, es que la velocidad de reacción directa es igual al de la velocidad de reacción inversa, esto es:

$$k [A]^a[B]^b = k' [C]^c[D]^d$$

y agrupando términos: $k/k' = ([C]^c[D]^d)/([A]^a[B]^b)$

En el equilibrio químico, las concentraciones relativas de todas las especies químicas de los productos y reactivos no cambian con el tiempo a T constante, entonces significa que el cociente $([C]^c[D]^d)/([A]^a[B]^b)$ debe ser constante, el cual se define como la constante de equilibrio químico (ley de acción de masas), esto es:

$$K_{eq} = k/k' = ([C]^c[D]^d)/([A]^a[B]^b)$$

Aquí se hace la conexión entre la ley de acción de masas (concepto de la constante de equilibrio químico desde un punto de vista cinético) con la termodinámica ($\Delta G = \sum v_i \mu_i = 0$), ya que como K_{eq} está relacionada con ΔG° a partir de la relación $\Delta G^\circ = -RT \ln K_{eq}$ y a su vez

$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$, se puede construir la ecuación:

$$\ln K_{eq} = -\Delta H^\circ/RT + \Delta S^\circ/R$$

Es importante aclararle al alumno que es la termodinámica la ciencia que explica si una reacción química procede o no, en qué dirección es un proceso espontáneo (proceso natural) y en qué condiciones este proceso químico será favorable o desfavorable, lo que afectará la cuantitatividad de la reacción y que es independiente del tiempo en el que este proceso químico ocurre.

Para conocer el tiempo en el que ocurre la reacción química y los factores que afectan al tiempo en el que ocurre dicha transformación, la ciencia que lo explica es la Cinética Química.

Profesor L-II

A este profesor decidimos solicitarle el material didáctico que utiliza para la enseñanza del tema. Éste se encuentra en los anexos.

Profesor L-III

1. En tu CoRe mencionas que para aclarar los conceptos de equilibrio, espontaneidad y reversibilidad, utilizas como herramientas didácticas algunas analogías como la del equilibrio térmico y la de los vasos comunicantes. Indicas que: “en ambas analogías, el “flujo” se detiene en algún punto (equilibrio), cuando se iguala en ambos sistemas una “propiedad”, que es la que determina la “condición de equilibrio” ¿Podrías decirnos de qué manera insistes en el hecho de que el equilibrio químico se tienen dos procesos químicos distintos, simultáneos y en sentido contrario? y ¿cómo ejemplificas qué “flujo” se detiene y qué “propiedad” se iguala en este estado termodinámico?

No es una insistencia... El punto de vista de los equilibrios en sentidos opuestos es derivado del enfoque cinético en el que ambas reacciones ocurren en sentidos opuestos dando como resultado una rapidez neta igual a cero, donde se ha alcanzado el equilibrio (dinámico).

2. Desde tu punto de vista, ¿qué es lo que los alumnos de licenciatura no deben dejar de saber sobre la constante de equilibrio (K_{eq}) y qué herramientas didácticas utilizas para propiciar en ellos la construcción de esta(s) idea(s)?

Que el equilibrio se puede alcanzar en ambas direcciones y que existe un potencial termodinámico que es el que dirige y controla el proceso.

3. ¿Qué tan pertinente y útil consideras al Principio de Le Châtelier en la enseñanza del equilibrio químico?

Muy útil... con el principio de LeChatelier se muestra a los alumnos que el equilibrio es una condición que depende de otras variables como son la presión y la temperatura.

4. El potencial químico (μ) es una propiedad central para el aprendizaje del equilibrio químico y los alumnos presentan con frecuencia graves deficiencias matemáticas para comprenderlo y manejarlo. Desde tu punto de vista, ¿cuál debe ser el significado físico, que los alumnos deben construir, sobre este concepto, que les permita comprender de mejor manera el equilibrio químico?

Uno de los problemas que se presentan con los nuevos conceptos es el de tratar de darle a éstos un significado físico como lo obtenemos de las cosas que son tangibles, palpables, que están a nuestro alcance. La abstracción es algo que hay que desarrollar y en ese sentido la Matemática nos ayuda a comprender aquellos conceptos que se perciben de manera natural aprovechando sus efectos sobre los sistemas bajo estudio.

5. De qué manera planteas a los alumnos la condición de equilibrio de una reacción química determinada? ¿Lo haces mediante los potenciales químicos de reactivos y productos? ¿Si o no y por qué?

A la usanza tradicional... partiendo de las energías de Gibbs y luego con los potenciales químicos. Efectivamente considerando que en el sistema reaccionante hay un cambio en las propiedades y este cambio se evalúa considerando la diferencia entre el estado final y el inicial.

6. En el bachillerato y en el curso de Química General, los alumnos estudian el tema de equilibrio químico en el marco de la cinética química. ¿Cómo manejas la transición didáctica del campo de la cinética al campo de la termodinámica en tus clases de Equilibrio y Cinética?

Al revés... yo la manejo del campo de la Termodinámica hacia el de la Cinética advirtiéndole que ahora el enfoque de lo que ocurre en su reacción química incluye al tiempo...

Espero que estos comentarios te sean de utilidad....

Profesor L-IV

1. En las respuestas de tu CoRe, comentas que el avance de reacción está en la frontera de lo concreto y lo abstracto y que es importante lograr que el alumno entienda que este concepto hace referencia a toda la reacción y no a un componente en particular. ¿Qué metodologías didácticas consideras necesario desarrollar para la comprensión de este hecho?

La solución de problemas es el elemento central para que el alumno asimile este concepto. El debe, a través de los problemas que se le pida resolver, comprender el uso correcto de los coeficientes estequiométricos en los cálculos relacionados con el consumo de reactivos y la producción de los productos y con la identificación del reactivo limitante. El concepto de avance de reacción establece una metodología que les debe permitir llevar a cabo los cálculos en forma unificada y no como una mera receta. Es necesario que vayan más allá de la regla de tres.

2. Desde tu punto de vista, ¿qué es lo que los alumnos de licenciatura no deben dejar de saber sobre la constante de equilibrio (K_{eq}) y qué herramientas didácticas utilizas para propiciar en ellos la construcción de esta(s) idea(s)?

El valor numérico de la constante de equilibrio conlleva el avance de la reacción que se puede llevar a cabo. Mientras más grande sea su valor una cantidad mayor de los reactivos se transformará a productos.

La constante de equilibrio es solo función de la temperatura. No depende de la composición de la mezcla ni de la presión.

La dependencia con la temperatura tiene que ver con el calor de reacción (reacciones exotérmicas y endotérmicas)

Establece la relación que deben guardar los reactivos y los productos en el equilibrio.

La estrategia didáctica debe estar basada en la solución de problemas. Escoger ejemplos que ilustren los conceptos es fundamental. Algunos problemas se deben resolver en clase y otros como tarea. La solución de problemas en los exámenes es la mejor manera de evaluar el aprendizaje.

3. ¿Qué tan pertinente y útil consideras al Principio de Le Châtelier en la enseñanza del equilibrio químico?

Es importante que el alumno comprenda la influencia de las variables en el equilibrio químico, sobre todo en lo relacionado con la conversión de reactivos a productos. A) Efecto de la temperatura en reacciones endotérmicas y exotérmicas; B) Efecto de la proporción en que se alimenten los reactivos; C) Efecto de la presencia de inertes; D) Efecto al retirar productos del seno de la reacción; E) Efecto de la presión en reacciones en fase gaseosa; etc.

4. El potencial químico (μ) es una propiedad central para el aprendizaje del equilibrio químico y los alumnos presentan con frecuencia graves deficiencias matemáticas para comprenderlo y manejarlo. Desde tu punto de vista, ¿cuál debe ser el significado físico, que los alumnos deben construir, sobre este concepto, que les permita comprender de mejor manera el equilibrio químico?

Para lograr un primer atisbo al significado físico del potencial químico, lo que hago es establecer el símil con la temperatura como potencial térmico. De esta manera, si el potencial químico de los reactivos es mayor que el de los productos, entonces la reacción procederá de reactivos a productos. En el equilibrio se igualan los potenciales químicos de productos y reactivos.

También hay que recordar que el potencial químico lo vieron en el tema de equilibrio de fases. En este sentido, un componente se transfiere de la fase donde su potencial químico es mayor al de la fase donde es menor. En el equilibrio son iguales.

5. De qué manera planteas a los alumnos la condición de equilibrio de una reacción química determinada? ¿Lo haces mediante los potenciales químicos de reactivos y productos? ¿Si o no y por qué?

Hago una deducción teórica que lleva a la ecuación de equilibrio basada en igualdad de potenciales químicos entre productos y reactivos. Esta deducción parte del criterio de equilibrio basado en la minimización de la energía de Gibbs. Esta ecuación no es la ecuación con que trabajamos en la solución de problemas. En seguida, mediante una ecuación que liga al potencial químico con las variables como temperatura presión y composición, encontramos la ecuación de equilibrio en términos de la constante de equilibrio y de fugacidades de reactivos y productos. La ecuación del potencial químico ya se vio en el tema de equilibrio de fases. De esta manera queda claro como se puede calcular la constante de equilibrio a partir de las energías de Gibbs de formación de productos y reactivos. Esta ecuación es la ecuación de trabajo. Nos sirve para resolver cualquier problema de equilibrio, ya sea en fase gaseosa o líquida, en gases ideales o reales, en soluciones líquidas ideales o reales, para reacciones en una sola fase o con presencia de varias fases (gas-sólido, líquido-vapor, líquido-sólido), todos con una sola ecuación. Se necesita, por supuesto, que se sepa como calcular fugacidades.

6. En el bachillerato y en el curso de Química General, los alumnos estudian el tema de equilibrio químico en el marco de la cinética química. ¿Cómo manejas la transición didáctica del campo de la cinética al campo de la termodinámica en tus clases de Equilibrio y Cinética?

Yo nunca he dado el curso de Equilibrio y Cinética.

En cinética química he visto con frecuencia que relacionan a la constante de equilibrio químico con el cociente de las constantes de rapidez de las

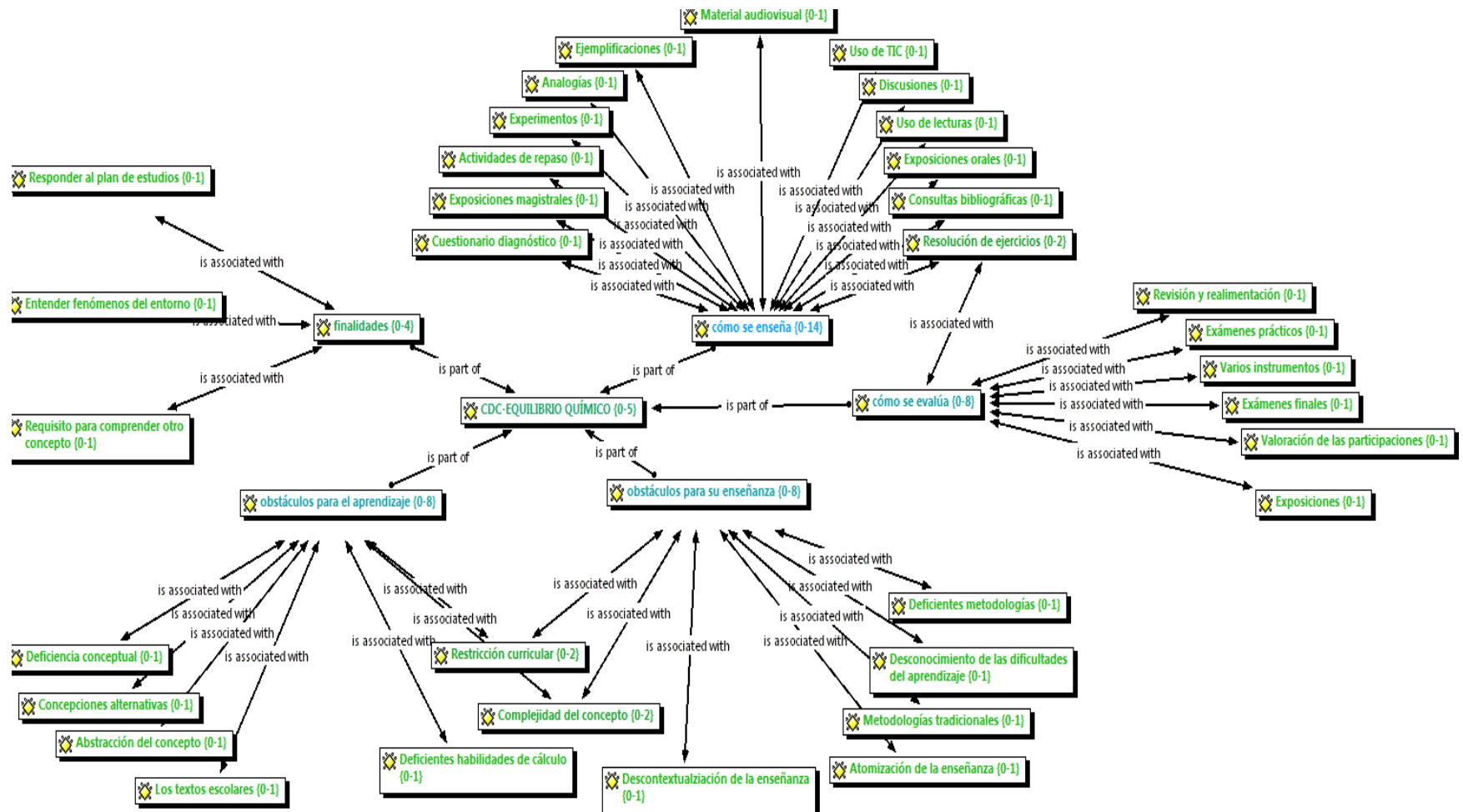
reacciones en ambos sentidos. Esta manera creo que puede resultar atractiva con fines didácticos para fijar conceptos, pero no como un instrumento de cálculo.

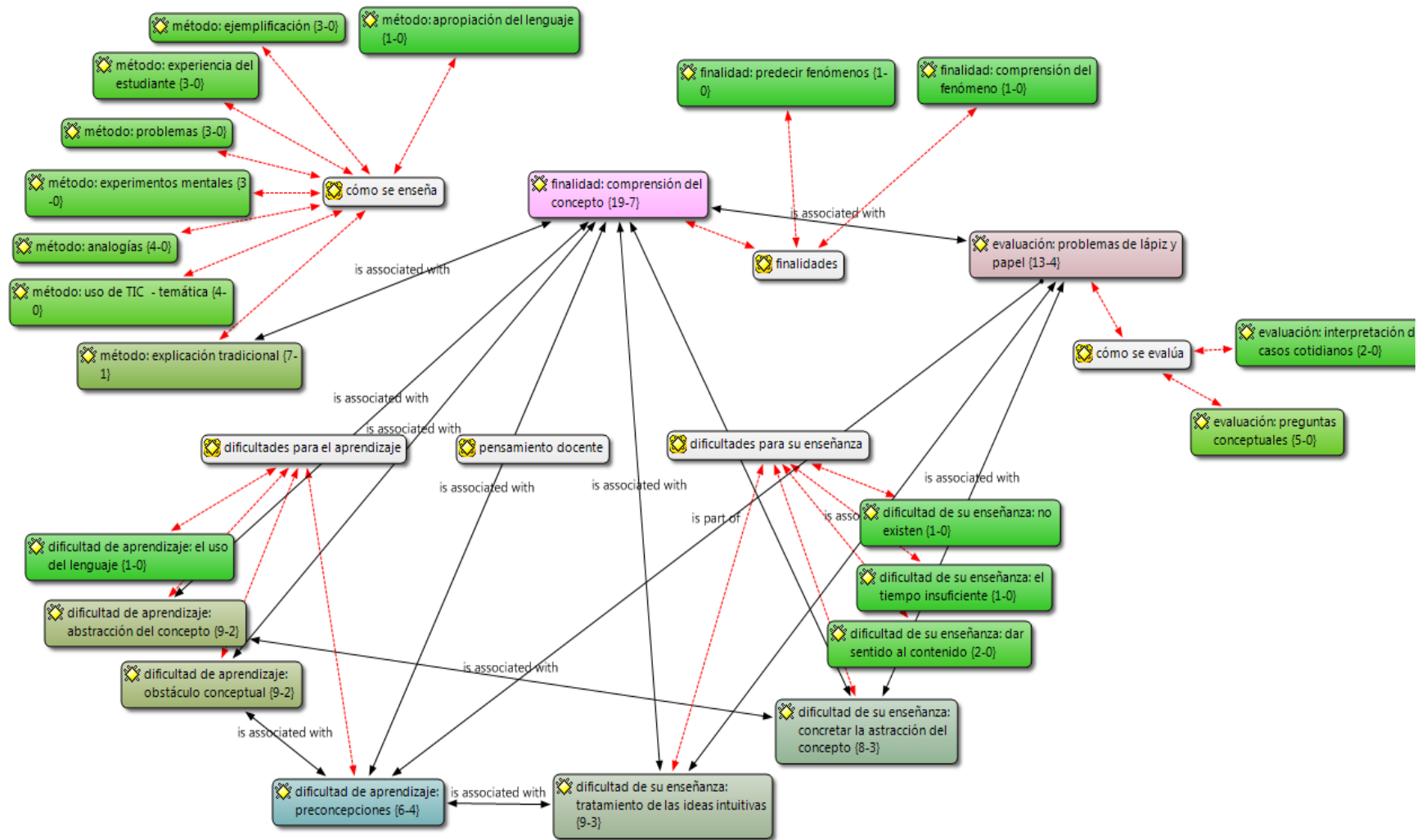
6. ANÁLISIS y CONCLUSIONES

Los datos fueron analizados con el programa Atlas Ti, las categorías de análisis que se eligieron están relacionadas con las preguntas de los CoRe's. Los resultados generales para los maestros de bachillerato y licenciaturase encuentran en los cuadros 6.1 y 6.2 respectivamente.

Con el fin de organizar la información recabada y enriquecer el análisis de los datos obtenidos en los CoRe's de los profesores, se decidió identificar dimensiones de análisis con base en las cuales observar, indagar, describir y discutir las diferentes formas en las que los docentes participantes de este estudio, conceptualizan la enseñanza aprendizaje del equilibrio químico.

- I. **Conceptualización versus Matematización:** en general, los docentes del bachillerato ponen mayor énfasis en la conceptualización del concepto que en la construcción matemática del mismo. Los docentes de licenciatura, en general, están más preocupados por la matematización del concepto en un ámbito de cierta abstracción.
- II. **Formalismo versus Contextualización:** En general, los docentes de bachillerato incluyen más referencias a la relevancia del concepto de equilibrio en sistemas de interés general, mientras los docentes de licenciatura no hacen referencias explícitas en esta área.
- III. **Macroscópico versus Submicroscópico:** En general, la mayoría de los docentes, con la excepción de del profesor con clave B-IV, enfatizan una comprensión a nivel macroscópico sin referencia explícita a modelos corpusculares de la materia.
- IV. **Segmentación versus Conectividad:** En general, los docentes de bachillerato presentan una visión más segmentada del tema y, de hecho, identifican tres segmentos principales: 1. Qué es el equilibrio 2. Cómo se calcula la constante de equilibrio. 3. Cómo se predicen cambios en el estado de equilibrio. Los docentes de licenciatura, en cambio, presentan una secuencia de ideas más relacionadas, pero con un alto nivel de abstracción y matematización).
- V. **Concepciones Alternativas versus Abstracción versus Análisis de Contenido:** El área que nos pareció de mayor interés tiene que ver con la manera en cómo los docentes resaltan las dificultades de aprendizaje. Los docentes de bachillerato tienden a enfatizar concepciones alternativas de manera específica mientras que los docentes de licenciatura enfatizan dificultades en "abstracción" de manera más general: el tema es difícil porque es abstracto. En el caso particular del profesor con clave L-IV, su análisis es diferente en el sentido que describe dificultades más específicas en la comprensión de contenidos específicos.





BIBLIOGRAFÍA

Abell, S. K. (2007). Research on science teacher knowledge. En S. K. Abell y N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 1105-1149). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Acevedo, D. J. A. (2009) Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (I): el marco teórico. *Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien.*, 6 (1), pp. 21-46.

Adúriz-Bravo, A. Conferencias impartidas como parte de los cursos del Máster en Investigación de la Didáctica de las Matemáticas y las Ciencias, Universidad Autónoma de Barcelona, marzo 2009.

Antúnez, J. et al., (1997). Del proyecto educativo a la programación de aula. Barcelona; Graó. Gil-Peréz, D. (1996). New Trends in science education. *International Journal Science Education*, 18 (8), 889-901.

Baxter, J. A. and Lederman, N. G. (1999) Assessment and Measurement of Pedagogical Content Knowledge. In Gess-Newsome, J., Lederman, N. G. (eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge*. Kluwer Academic Publishers. Pp. 147-162.

Berger, 1997;

Caamaño, A (2007). Modelizar y contextualizar el currículo de química: un proceso en constante desarrollo. En M. Izquierdo, A, Caamaño y M. Quintanilla (eds). *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar*. Universidad Autónoma de Barcelona.

Cochran-Smith, M. and Lytle, S. L. (1990). Research on teaching and teacher research: the issues that divide. *Educational Researcher*, 19 (2), 2-10.

Change: Analysis of Constructing Mental Models of Chemical Equilibrium. *J. Res. Sci. Teaching*, 39, 688-712.

Chevallard, Y. (1991). *La transposición didáctica*, Argentina, AIQUE, 196 Pp., 1991.

Chiu, M.-H., Chou, C.-C., Liu, C.-J., (2002) Dynamic Processes of Conceptual

Feurstein, R., Rand, Y., Hoffman, M. y Miller, R. (1980). *Instrumental enrichment: An intervention program for cognitive modifiability*. Baltimore: University Park Press.

Freitas, M. I., Jiménez, R. y Mellado, V. (2004). Solving physics problems: The conceptions and practice of an experienced teacher and an inexperienced teacher. *Research in Science Education*, 34(1), 113-133

Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76 (4), 548-554.

Garritz, A., Raviolo, A. (2007). Analogías en la enseñanza del equilibrio químico. *Educación Química*, 18 (1), 16-29.

Garritz, A. (2007). Análisis del conocimiento pedagógico del curso “Ciencia y Sociedad” a nivel universitario. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4 (2), 226-246, <http://www.apaceureka.org/revista/Larevista.htm>

Garritz, A. (2006). Historia y retos de la formación de profesores (Algo más sobre Lee Shulman). *Educación Química*, 17 (3), 322-326.

Garritz, A., Porro, S., Rembado, F. & Trinidad, R., *Journal of Science Education*, 2007, 79-84.

Gil, D. (1991). ¿Qué han de saber y saber hacer los profesores de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 69-77.

Ghirardi, M., Marchetti, F., Pettinari, C., Regis, A., Roletto, E. A., (2014) A Teaching Sequence for Learning the Concept of Chemical Equilibrium in Secondary School Education. *J. Chem. Educ.*, 91, 59–65.

Guldberg y Waage, 1879. Studies in ... *Chemical Affinity* (7).

Hildebrand, J. H. (1946). Catalyzing the approach to chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 23, 589-592.

Horstmann, 1873.

Huerta, M. P. (2008). El equilibrio químico, una investigación de aula, tesis de maestría, Facultad de Química, UNAM, México.

Huerta, Patricia (2008).) Tesis de maestría, Facultad de Química, UNAM, México.

Irazoque, Glinda (2009), Tesina del Máster en Investigación en Didáctica de las Matemáticas y las Ciencias Experimentales, Universidad Autónoma de Barcelona.

Izquierdo, A. M. (2004). Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: contextualizar y modelizar, *J. Argent. Chem. Soc.*, 92 (4/6), 115-136.

Izquierdo, A. M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Enseñanza de las ciencias sociales*, 6, 125-138.

Izquierdo, M., Aliberas, J. (2004). Pensar, escriure y actuar a la classe de ciències. Per un ensenyament de les ciències racional i raonable. Cerdanyola: Servei Publicacions, UAB

Laidler, 1985, pp153.

Laugier, A. & Dumon, A. (2000). Travaux pratiques en chimie et representation de la reaction chimique par l'equation-bilan dans les registres macroscopique et microscopique : Une etude en classe de seconde (15 – 16 ans). *Chemistry Education: Research and Practice*, 1, 61-75. [<http://www.uoi.gr/cerp>]

Le Chatelier, 1884.

Lindauer, 1962.

Loughran, J., Mulhall, P & Berry, A., *Journal of Research in Science Teaching*, 2005, 41, 370-391.

Loughram, J. J., Berry, A. y Mulhall, P. (2006). *Understanding and developing science teachers' pedagogical content knowledge*. Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.

Lund, 1965, 1968.

Machado, Edylma, tesis de doctorado.

Magnusson, S., Krajcik, J. & Borko, H. (1999). Nature, sources, and development of the PCK for science teaching. In J. GessNewsome, and N.G. Leder-man (Eds.). *Examining pedagogical content knowledge*. Dordrecht: Kluwer.

Moncaleano, H., Furió, C., Hernández, J., Calatayud, M. L., (2003). Comprensión del equilibrio químico y dificultades en su aprendizaje. *Enseñanza de las ciencias*, número extra, 111-118.

Mulhall, P., Berry, A. y Loughran, J. (2003). Frameworks for representing science teachers' pedagogical content knowledge. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 4 (2), <http://www.ied.edu.hk/apfslt/>.

Oliva, J. M. y Aragón, M. del M., (2009). Aportaciones de las analogías al desarrollo de pensamiento modelizador de los alumnos en química. *Educación Química*, 20, (1), 41-54.

Pfaundler, 1867.

Porlán, R. y Martín del Pozo, R. (1996). Ciencia, profesores y enseñanza: unas relaciones complejas. *Alambique*, 8, 23-32.

Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (1998) *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.

Quílez, J. y Solaz, J. J. (1995). Student's and teacher's missapplication of the Le Chatelier's principle: implications for teaching of chemical equilibrium, *Journal of Research in Science Teaching*, 32 [9], 939-957.

Quílez, J. (2009) From chemical forces to chemical rates: A Historical/Philosophical Foundation for the Teaching of Chemical Equilibrium, *Science and Education* [18], 1203-1251.

Quílez, J. (2002). Aproximación a los orígenes del equilibrio químico: algunas implicaciones didácticas. *Educación Química*, 13 (2), 101-112.

Raviolo, A., Andrade, J. (1998). Enseñar el principio de Le Chatelier: un sutil equilibrio. *Educación química*, 9 (1), 40-45. Shayer, M. y Adey, P., (1981). *La ciencia de enseñar ciencias*. Madrid: Narcea.

Raviolo, A., Garritz, A. (2007). Analogías en la enseñanza del equilibrio químico. *Educación Química* 18 (1), 16-29.

Raviolo, A. y Martínez A. M. (2005). El origen de las dificultades y de las concepciones alternativas de los alumnos en relación con el equilibrio químico, *Educación Química*, 16 (número extraordinario), 159-166.

Raviolo, A. y Martínez A. M. (2003). Una revisión sobre las concepciones alternativas de los estudiantes en relación con el equilibrio químico. Clasificación y síntesis de sugerencias didácticas, *Educación Química*, 14 (3), 60-66.

Rocha, A., Escandrolí, N., Domínguez, J. M. y García-Rodeja, E. (2000). Propuesta para la enseñanza del equilibrio químico, *Educación Química*, 11 (3), 343-352.

Sánchez-Lladó, M. e Izquierdo-Aymerich, M. (1966). Resolución de problemas: el equilibrio químico, en *Elaboración de instrumentos de evaluación diagnóstica de los conocimientos de Ciencias y de matemáticas en los niveles no universitarios*, editores Mercè Izquierdo Aymerich y Josep M Fortuny Aymemi, Departament de Didàctica de les Matemàtiques i de les Ciències Experimentals, UAB (1996), pp 213-242.

Shulman (1987), Knowledge and teaching: foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57 (1), 1-22. Traducción castellana (2005): Conocimiento y enseñanza: fundamento de la nueva reforma. *Profesorado. Revista de Currículum y Formación de Profesorado*, 9 (2), <http://www.ugr.es/~recfpro/rev92ART1.pdf>.

Talanquer, V., *Chem. Educator*, 2005, 10, 95-99.

Talanquer, V., (2004) Formación docente: ¿Qué conocimiento distingue a los buenos maestros de química? *Educación Química* 15 (1), pp. 60-66.

Tobin, K., Tippens, D. J. y Gallard, A. J. (1994). Research on Instructional Strategies for Teaching Science. En. D. L. Gabel (ed.). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, 45-93, New York: Mc Millan P. C.

Tobin, K. (1998). Issues and trends in the teaching of science. En: B. J. Fraser y K. Tobin (eds.): *Internacional Handbook of Science Education*, 129-151. Dordrecht: Kluwer A. P.

Van Driel, J., Gräber, W. (2002). The teaching and learning of chemical Equilibrium. En Gilbert, J.K. et al (eds.) *Chemical Educations: Towards Reseach-based Practice*, Kluwer Academic Publishers, 271-292.

Van Driel, J.H., De Vos, W., Verloop, N., & Dekkers, H. (1998). Developing secondary students' conceptions of chemical reactions: the introduction of chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*, 20, 379-392.

Van't Hoff, 1884

Vázquez, B., Jiménez, R. y Mellado, V. (2007). La reflexión en profesoras de ciencias experimentales de enseñanza secundaria. Estudio de casos. *Enseñanza de las Ciencias*, 25 (1), 73-90.

Vázquez, B., Jiménez, R., Mellado, V. y Martos, A. (2009). Aprendizaje escolar y obstáculos. Estudio de caso de una profesora de ciencias de secundaria. *Ciencia & Educação*, 15 (1), 1-19.

Vázquez, B., Jiménez, R. y Mellado, V. (2010). Los obstáculos para el desarrollo profesional de una profesora de enseñanza secundaria en ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 28 (3), 417-432.

Wheeler, A. E. y Kass, H. (1978). Student's misconceptions in chemical equilibrium. *Science Education*, 62, (2), 223-232.