



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR
FACULTAD DE QUÍMICA
CAMPO DE CONOCIMIENTO: QUÍMICA

Pensemos Químicamente: secuencia de enseñanza-aprendizaje del tema reacción química para el nivel medio superior.

TESIS

que para optar por el grado de

Maestro en Docencia para la Educación Media Superior

PRESENTA

Q. Carlos Trujano Cuéllar

TUTOR

Dra. Flor de María Reyes Cárdenas Facultad de Química

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

Dra. Aurora de los Ángeles Ramos Mejía Facultad de Química

Dra. María de los Ángeles Olvera Treviño Facultad de Química

Dra. Miriam Aidé Castillo Rodríguez Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

Dra. María del Rosario Moya Hernández Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

Ciudad Universitaria, CD. MX. enero de 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Contenido

Contenido.....	3
Agradecimientos	4
Resumen	6
Abstract.....	8
1. Introducción.....	9
1.1. Pregunta de investigación.....	11
1.2. Objetivos	11
2. Marco teórico.....	12
2.1. Diseño hacia atrás y Secuencias de Enseñanza y Aprendizaje (SEA).....	13
2.2. Pensamiento Químico (PQ).....	18
2.3. Planes de estudio y reacción química.....	42
2.4. La importancia de la evaluación en el diseño de instrumentos	45
3. Metodología.....	48
3.1. Sujetos y contexto de aplicación.....	49
3.2. SEA Pensemos Químicamente	50
3.3. Herramientas de evaluación de Pensemos Químicamente.....	58
4. Resultados: análisis y discusión	60
4.1. Sobre los Pensamientos Químicos	61
4.2. Sobre los Entendimientos Duraderos de Pensemos Químicamente.....	74
5. Reflexiones finales y consecuencias docentes.....	83
Referencias de consulta	86
Anexo 1: SEA “Pensemos Químicamente”	89

Agradecimientos

A mi mamá, la dama de hierro, pues sin su apoyo este proyecto no habría sido posible.

A mi esposa, el amor de mi vida, porque siempre, siempre, inspiró e inspira mi mente, cuerpo y alma.

A Asbel Hernández, quien me mostró el camino hacia el bienestar.

A la Profesora Patricia García del CCH Sur, quien confió en mi sin conocerme y me defendió a capa y espada después de ser mi mentora.

A las Doctoras Flor, Aurora y Ángeles, cuya paciencia infinita me permitió desarrollarme profesionalmente. Cualquier cosa puede ser objeto de la enseñanza.

“La diferencia entre conocimiento técnico y sabiduría es la diferencia entre, por un lado, quien domina las teorías, metodologías y técnicas que se requieren para practicar la ciencia y, por el otro, quien es verdaderamente profesional, pues también las entiende en el contexto de la historia, la filosofía, la sociología y la política económica de la ciencia – en corto, la ciencia de las ciencias.” (Relke, 2002)

Relke, D.M.A. (2002). From the Other Side of the Looking Glass: A view on the public image of chemistry. Canadian Chemical News/L' Actualité chimique Canadienne. May. 32-33.

Resumen

El Pensamiento Químico es un modelo de enseñanza de la química para nivel universitario que acuñan los autores Talanquer y Pollard en la Universidad de Arizona, EE. UU en 2007. Los 5 PQs son (Talanquer y Pollard, 2010):

- PQ1-Identidades: la estructura de los átomos y/o iones de un material determina su identidad y sus propiedades.
- PQ2-Interacciones: las interacciones entre estructuras cambian las propiedades de los materiales o crea materiales nuevos.
- PQ3-Haceres Químicos: el estudio de las identidades e interacciones de los materiales ayuda a separarlos, detectarlos, identificarlos, cuantificarlos, sintetizarlos y transformarlos.
- PQ4-Predicciones Químicas: el estudio de las identidades e interacciones de los materiales permite provocar y controlar sus transformaciones.
- PQ5-Factores Químicos: identificar la estructura de un material y los factores del medio ambiente que influyen en su estabilidad, permiten sintetizarlo, transformarlo y predecir su reactividad

El objetivo de esta tesis es documentar los alcances de incluir de forma explícita en los objetivos de aprendizaje de la Educación Media Superior al Pensamiento Químico (PQ3) “Haceres Químicos” al implementar una secuencia de enseñanza-aprendizaje (SEA) sobre el tema reacción química.

Dicha SEA es Pensemos Químicamente. Esta tesis la defiende a través de la investigación educativa documental y la investigación de campo cualitativa que conlleva este instrumento en estudiantes del Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Sur, CDMX en 2019.

Los aspectos más importantes de esta tesis son los siguientes:

- Marco teórico de los alcances de diseño de Pensemos Químicamente.
- Metodología y resultados de la implementación de Pensemos Químicamente.
- Análisis y discusión de reflexiones y consecuencias docentes.

Abstract

Chemical Thinking is a teaching model coined in 2007 in the University of Arizona by the authors Talanquer and Pollard used to teach chemistry. The 5 “Chemical Thoughts” (Talanquer and Pollard, 2010) are:

- CT1-Identities: the identity and properties of atoms and/or ions is determined by their structure.
- CT2-Interactions: the properties of materials change or new materials are created by the interactions between structures.
- CT3-Chemical Actions: the study of the identities and interactions allows the separating, detecting, identifying, quantifying, synthesizing, and transforming of materials.
- CT4-Chemical Predictions: the study of identities and interactions allows the creation and control of the transformation of materials.
- CT5-Chemical Factors: the identification of the structure and the environment allows the synthesis, transformation, and prediction of reactivity of materials.

Documenting the scope of explicitly including Chemical Thought (CT3) Chemical Actions in the High School curriculum by implementing a teaching-learning sequence (TLS) about the chemical reaction topic is the objective of this thesis.

Let’s Think Chemically is said TLS. This thesis defends it by researching the science education of its design and by the qualitative field research of applying it to CCH – Sur students in 2019, Mexico City, Mexico.

These are the most important aspects of this thesis:

- Theoretical Background: design scope of Let’s Think Chemically.
- Methodology and results: implementation of Let’s Think Chemically.
- Analysis and discussion: reflections and implications for teaching.

1. Introducción

La Maestría en Docencia para la Educación Media Superior – Química, o solo MADEMS, es un posgrado de la UNAM que busca, en la opinión del autor de esta tesis, reconciliar que la enseñanza requiere de profesionales de la educación que también sean profesionales de la disciplina que enseñan. Esta opinión se forma a través de, precisamente, la formación profesional, primero, en química y, segundo, en docencia.

Además, los profesionales de la ciencia tienen, según el autor de esta tesis, la responsabilidad de divulgar y fomentar el aprendizaje de la misma. Sin embargo, experiencias personales relacionadas con muchos colegas han sido de menosprecio hacia esta responsabilidad. La educación en ciencias es muy relevante para la formación integral del individuo. Contar con ciudadanos informados puede apoyar a una mejor construcción de la sociedad. A su vez, ciudadanos científicamente alfabetizados están mejor capacitados para cambiar el *statu quo* de su entorno como respuesta a las inconformidades e injusticias sociales de su comunidad y a nuevos problemas sociales emergentes.

Por su parte, los profesionales de la educación tienen, según el autor de esta tesis, la responsabilidad de ejercer su práctica docente conforme al estado del arte de la investigación educativa. Sin embargo, experiencias personales relacionadas con muchos docentes han sido de apatía hacia esta responsabilidad. Tradicionalmente, la enseñanza de la ciencia se centra en contenidos disciplinares desarticulados. Esto conlleva a que los estudiantes memoricen sin comprender la mayor parte de los contenidos curriculares ni su relación entre ellos. Lo anterior reduce muy considerablemente la posibilidad de promover el desarrollo de habilidades de pensamiento y de orden superior que son indispensables para resolver problemas.

Específicamente, una enseñanza enfocada en un aprendizaje conceptual desarticulado no promueve el tipo pensamiento que requiere un ciudadano para reflexionar sobre problemas actuales generales y, especialmente, los que involucran un corte de la química.

Por lo tanto, es la intención de esta tesis proponer, en parte conforme a los requisitos de la MADEMS, un instrumento que permita reconciliar a la disciplina de la química y a la profesionalización de la enseñanza. El diseño de este instrumento está fundamentado en un modelo de enseñanza de la química, Pensamiento Químico (Talanquer y Pollard, 2010) y en el plan de estudios del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH, 2016). Específicamente, el PQ3-Haceres Químicos sobre cómo piensan los profesionales de la química en el área experimental y en el tema reacción química, considerado uno de los más importantes y complejos de la disciplina por ser su objeto de estudio y por su abstracción.

A esta tesis la conforman cuatro partes principales:

- Marco teórico
- Metodología
- Resultados
- Reflexiones finales y consecuencias docentes.

Se busca seguir con cada una de estas partes una estructura como de reloj de arena. Esto es: el marco teórico iniciará con un discurso general y terminará con aspectos puntuales de la tesis, es decir, la metodología y los resultados que, a su vez, llevan la lectura desde estas partes particulares de nuevo a términos generales al finalizar las reflexiones y consecuencias. General – particular – general; amplio – estrecho – amplio.

1.1. Pregunta de investigación

Actualmente, el currículo se focaliza en contenidos que los estudiantes deben aprender. Si estudiantes de la Educación Media Superior tuviesen acceso a una enseñanza que considere los contenidos de sus planes de estudio y el Pensamiento Químico, ¿los estudiantes se beneficiarían al aprender la reacción química a través de la implementación una SEA centrada en los Haceres Químicos acompañados de los contenidos disciplinares?

1.2. Objetivos

- Diseñar una secuencia de enseñanza-aprendizaje sobre los Pensamientos Químicos (Talanquer y Pollard, 2010) y sobre el tema reacción química.
- Documentar los alcances de incluir de forma explícita en los objetivos de aprendizaje de la Educación Media Superior al Pensamiento Químico (PQ3) “Haceres Químicos” al implementar una secuencia de enseñanza-aprendizaje.
- Documentar los alcances de incluir de forma explícita en los objetivos de aprendizaje de la Educación Media Superior al tema reacción química en la forma de Entendimientos Duraderos (Wiggins y McTighe, 1998) al implementar una secuencia de enseñanza-aprendizaje.

2. Marco teórico

Esta sección aborda cuatro aspectos que buscan llevar la lectura de términos generales que establecen los fundamentos del desarrollo de esta tesis hacia definiciones puntuales. Éstos son:

2.1. Diseño hacia atrás y Secuencias de Enseñanza y Aprendizaje (SEA)

2.2. Pensamiento Químico (PQ)

2.3. Planes de estudio y reacción química

2.4. La importancia de la evaluación en el diseño de instrumentos

2.1. Diseño hacia atrás y Secuencias de Enseñanza y Aprendizaje (SEA)

Pensemos Químicamente es una secuencia de enseñanza-aprendizaje (SEA) por lo que se parte de clarificar el término. Es necesario decir que existen debates amplios sobre este y otros términos similares, por ejemplo: secuencia de enseñanza-aprendizaje (Garritz *et al.*, 2013, Couso y Aduriz-Bravo, 2016), unidad didáctica (García y Garritz, 2006; López-Mota, Moreno-Arcuri, 2014) progresión de aprendizaje (Talanquer, 2013), etc.

A este respecto, Sevian y Talanquer (2014) aseguran que el campo educativo carece de un consenso sobre una definición precisa de cada uno de estos términos. Fensham (2001) menciona que las suposiciones y decisiones concernientes a una secuencia de enseñanza-aprendizaje como: su diseño, los detalles de implementación y la relación entre su enseñanza y su aprendizaje; casi no se discuten en su campo y, además, puede que éstos no se hagan claros ni comprensibles deliberadamente. Esto puede ser, porque no hay un espacio para ello en las publicaciones, porque hay una carencia en el conocimiento artesanal que requiere este tipo de enseñanza o porque no hay instrumentos aceptados convencionalmente en el campo para representar la enseñanza en general.

Entonces, ¿por qué se ha de utilizar la enseñanza a través de secuencias, unidades o progresiones? Duschl, Maeng y Sezen (2011) mencionan que las estrategias didácticas son “de rigor” en el campo para formular y desarrollar ambientes de aprendizaje que estén alineados con el currículo, la instrucción y la evaluación. Los siguientes párrafos presentan los diferentes matices para cada uno de estos conceptos.

Caamaño (2013) afirma que la elaboración de unidades didácticas debería ser, indudablemente, la competencia fundamental del profesorado de ciencias en ejercicio en todos los niveles educativos. Igualmente, Couso y Adúriz-Bravo (2016) confirman que enseñar a diseñar unidades didácticas habría de constituirse en el núcleo mismo de la formación profesional de los nuevos profesores y profesoras. Es mediante esta fundamentación, y otra que se revela a lo largo de esta tesis, que se considera justificable el uso de estrategias didácticas en la enseñanza.

Los términos “secuencia didáctica” y “unidad didáctica” se han utilizado casi indistintamente en la literatura. Couso y Adúriz-Bravo (2016) aclaran que secuencia de enseñanza-aprendizaje es el término usual en la literatura didáctica de influencia anglosajona, ellos se refieren a ésta como unidad didáctica. Por su parte, López-Mota y Moreno-Arcuri (2014) distinguen una unidad didáctica como un conjunto de secuencias. A partir de los 1980s se diseñaron e implementaron secuencias para temas específicos [fluidos, respiración, acidez/basicidad] como temas aislados, no como estructura curricular. Una característica de las secuencias de enseñanza-aprendizaje es su inclusión en procesos progresivos de investigación que entrelazan la perspectiva científica y la estudiantil (Méheut y Psillos, 2004).

Por estos y otros motivos, el diseño de las secuencias de enseñanza-aprendizaje sirve como un proceso para identificar los propósitos de la enseñanza y para identificar actividades instruccionales para lograr esos propósitos.

Adicionalmente, Duschl, Maeng y Sezen (2011) establecen que las progresiones de aprendizaje están centradas en el conocimiento central del desarrollo y del aprendizaje cognitivo. Esto las hace ideales para el diseño de currículos completos, pues, estas largas secuencias de instrucción requieren tiempo; al igual que el desarrollo del conocimiento y razonamiento científico/matemático. Sin embargo, en el contexto de este trabajo, esta función ya la cubre el plan de estudios del Colegio de Ciencias y Humanidades de la

UNAM. Contexto en el cual, como se establece más adelante, se construye Pensemos Químicamente.

Como se ha mencionado, existe una gran variedad de términos relacionados con la estrategia didáctica. Méheut y Psillos (2004) ahondan en esta variedad asegurando que, a su vez, existen actividades y enfoques de instrucción para mejorar el entendimiento del conocimiento científico de los estudiantes. Aseguran, también, que esta gran variedad proviene, en parte y de forma paralela, de estudios empíricos que obtienen concepciones de distintos fenómenos y conceptos de los estudiantes y de desarrollos teóricos sobre la enseñanza y el aprendizaje como actividades constructivas. Es decir, estas actividades poseen un carácter dual como cualidad única. Este carácter es de investigación y desarrollo; estrechamente involucrados con la enseñanza y el aprendizaje.

En esta tesis se utiliza el término, junto con la carga conceptual que éste conlleva, “Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje”, SEA. Méheut y Psillos (2004, p. 516) definen a la *secuencia de enseñanza-aprendizaje, SEA*, como (1) una actividad de *intervención-investigación* y como (2) un *producto [instrumento]*. Este producto debe incluir *actividades bien investigadas de enseñanza-aprendizaje adaptadas empíricamente al razonamiento de los estudiantes*. Esta tesis incorpora esta dualidad en el diseño y aplicación de una SEA.

La primera parte de esta dualidad [intervención-investigación] está cubierta en la sección siguiente, pues, presenta los detalles de las intervenciones con los estudiantes y del análisis de esos resultados, propios de la investigación educativa. La segunda parte de dicha dualidad [*instrumento adaptado empíricamente al razonamiento de los estudiantes*] se describe en este texto mediante tres razonamientos.

Primero, Lijnse (1994, 1995) argumenta que, en la investigación educativa, este tipo de actividades son una especie de “investigación de desarrollo” [*developmental*

research]. Ésta entrelaza el diseño, el desarrollo y la aplicación de secuencias en un *proceso de evolución cíclico* enriquecido por la información provista por la investigación. Este proceso requiere, indispensablemente, de la *adaptación continua de la investigación de la información de la conducta de los estudiantes* obtenida a través de la práctica docente al diseño, el desarrollo y la aplicación de SEAs.

Segundo, Wiggins y McTighe (1998) establecen el diseño hacia atrás [*Backwards Design*] como una propuesta educativa cuyas influencias son dos corrientes: la investigación teórica en psicología cognitiva y los resultados del *análisis de los logros académicos de los estudiantes*. La propuesta educativa de estos autores consta de tres pasos:

1. *Resultados deseados*. Identificar los *resultados deseados* permite la adquisición del contenido sea un medio para una construcción significativa de él y para la transferencia de ese aprendizaje.
2. *Evaluación*. Se distinguen dos tipos generales de evaluación, tarea de desempeño [*performance task*] y las demás. Determinar cuál será la evidencia de *evaluación* permite establecer cuál tarea de desempeño debe ser la culminación de una sección de estudio.
3. *Instrucción y experiencias de aprendizaje*. Planear la instrucción y las experiencias de aprendizaje proporciona a los estudiantes numerosas oportunidades para hacer inferencias y generalizaciones propias, para aplicar su aprendizaje a nuevas situaciones y para recibir una realimentación oportuna que les permita mejorar.

Los autores marcan la importancia de estos tres pasos gracias a un concepto clave: alineación. Es decir, el contenido y entendimiento del paso 1 debe ser lo que se evalúa en el paso 2 y lo que se enseña en el paso 3.

Tercero, el diseño de una SEA debe explicitar y justificar qué se entiende por enseñanza, aprendizaje, ciencia, enseñanza de la ciencia y evaluación, desde los

objetivos de aprendizaje, pues, esta claridad es benéfica para el estudiante según Lijnse y Klaasen (2004). Según los autores, esta claridad permite posibles *comparaciones y análisis de la información recolectada luego de la práctica docente* siempre y cuando las SEAs puedan expresar su contenido en el formato para la estructura didáctica que se propone o que se tome a la estructura didáctica como guía para elaborar las SEAs. Para ello, recomiendan los siguientes pasos:

1. Hacer explícito a los estudiantes el objetivo que pretende la actividad para que ellos necesiten/quieran extender su comprensión conceptual.
2. Debe considerar la “*Scientificaling*” que se refiere a analizar los conocimientos y su relación entre el sentido común y el conocimiento científico,
3. Una estructura didáctica puede tener diversas orientaciones: práctica, teórica, técnico-industrial y social.

Estos tres razonamientos fundamentan, en parte, la naturaleza empírica de la SEA *Pensemos Químicamente*. Con ello, y con toda esta primera parte, se pretende dar sosiego a las dudas de los lectores sobre qué es *Pensemos Químicamente*. Es una SEA cuyas actividades son adaptadas y adoptadas a través de decisiones empíricas del análisis de investigación educativa de:

- El tema reacción química, visto desde el lente de los planes de estudio de la Educación de Nivel Medio Superior.
- El plan de estudios del Colegio de Ciencias y Humanidades y su relación con lo que cae entre el tema reacción química y los *Haceres Químicos del Pensamiento Químico*.
- La investigación educativa del estado del arte del *Pensamiento Químico*.

Este último punto, el *Pensamiento Químico*, será cubierto a continuación.

2.2. Pensamiento Químico (PQ)

El Pensamiento Químico (PQ) es un modelo de enseñanza-aprendizaje de la química propuesto por el Dr. Vicente Talanquer y el Dr. John Pollard en 2007 en la Universidad de Arizona en EE. UU. (Talanquer y Pollard, 2010). Sin embargo, es fundamental expresar que este modelo se alinea con otras investigaciones sobre la enseñanza de la química, el aprendizaje de la química, la sociología de la química, la historia de la química, la filosofía de la química, etc. Algunas de estas aportaciones se presentan a continuación.

Sjöström (2007) hace un compendio de meta-perspectivas filosóficas, históricas y socioculturales sobre el discurso de la química con el objetivo de complementarlo con uno reflexivo y de resolución de problemas. Los siguientes argumentos varían, conforme al trabajo del autor, entre la naturaleza de la química, los discursos disciplinares y sociales de la química y las reflexiones propias sobre los profesionales de la química:

- La preocupación principal del profesional de la química es la multifuncionalidad de la molécula química
- Los profesionales de la química no solo intentan entender y explicar el mundo sino cambiarlo.
- Los profesionales de la química deben pensar con las manos más que la mayoría de los otros científicos.
- La mayoría de los profesionales de la química estuvieron involucrados en actividades que pertenecían al territorio de varias disciplinas.
- Los profesionales de la química tienen muchas suposiciones compartidas y una base común en el estudio de las moléculas.
- Los profesionales de la química extienden el mundo natural todo el tiempo, con un efecto tremendo.

- Los profesionales de la química deberían contribuir al entendimiento de lo que es importante para una sociedad democrática.
- Los profesionales de la química deberían identificar lo que es insatisfactorio para la sociedad.
- Los profesionales de la química deberían encontrar soluciones a problemas globales.

Como Sjöström (2007) considera que estas características son el discurso de la química o, en sus propias palabras, la cosmovisión y los valores filosóficos, políticos, explícitos e implícitos de los profesionales de la química; en este trabajo de investigación se toman como sustento para la construcción teórica de la misma y la vincula con lo que Talanquer y Pollard (2010) llaman el Pensamiento Químico (PQ).

Erduran y Scerri (2002) argumentan que la educación de la química se beneficiaría de discusiones que detallen la naturaleza del conocimiento de la química. Su fundamento se concentra en el rol de (1) la reducción, (2) las explicaciones, (3) las leyes y (4) la *superveniencia* [*supervenience*] como temas salientes que proveen un establecimiento para la filosofía de la química en su enseñanza. En sus argumentos, esta tesis busca justificar, a través de esta discusión sobre la filosofía de la química, a algunas características de los profesionales de la química.

1. La reducción. Los profesionales de la química explican más que la suma de las propiedades físicas de los componentes atómicos y moleculares de la materia; a pesar de que suele reducirse a la química a la física. Por ejemplo, la composición de la materia, su cambio que sigue leyes conocidas en el tiempo, el enlace químico y la estructura molecular.
2. La explicación. De forma similar, los profesionales de la química hacen una gran cantidad de ciencia que suele explicarse con niveles electrónicos y orbitales de

electrones desde un punto de vista mecánico cuántico. Sin embargo, las explicaciones son anti-realistas dado su estado ontológico, pues, no sirven para hacer labor experimental como sintetizar materiales, explicar el comportamiento ácido-base, química redox, fotoquímica y estudios de reactividad; a pesar de que todos esos ejemplos se discuten haciendo referencia al intercambio de electrones en distintos tipos de orbitales electrónicos.

3. Las leyes. Los profesionales de la química tienen un vasto almacén de intuición química que utilizan para idear leyes aproximadas pero poderosas. Por ejemplo, la ley periódica. Mendeleiev predijo la existencia de elementos químicos y sus propiedades con el estudio de la repetición periódica de la reactividad química de los elementos conocidos en su época.
4. La superveniencia¹ [*supervenience*]. Los profesionales de la química juegan un rol importante en la investigación empírico-científica, pues, establecen algunos aspectos del paradigma que es la relación entre sistemas nanoscópicos y macroscópicos a través del estudio de la relación entre propiedades como el color, olor y textura de los materiales y sus estructuras y enlaces moleculares. Es decir, si se sintetizan dos compuestos químicos a partir de partículas elementales de forma idéntica compartirían el mismo aroma. La superveniencia [*supervenience*] argumenta que si dos compuestos químicos comparten la misma propiedad macroscópica de aroma no es posible inferir que los componentes nanoscópicos que los conforman fuesen idénticos. Se asume que dos sistemas macroscópicos contruidos con componentes nanoscópicos idénticos mostrarían las mismas propiedades macroscópicas; mientras que la observación de propiedades macroscópicas idénticas en dos sistemas cualesquiera no necesariamente implica la misma identidad a un nivel nanoscópico. A pesar de la

¹Superveniencia: f. Acción o efecto de supervenir. dla.rae.es/supervenir 25 de febrero de 2022 1:05pm
Supervenir: Intr. Suceder, acaecer, sobrevenir. dla.rae.es/supervenir 25 de febrero de 2022 1:05pm

superveniencia [*supervenience*], los profesionales de la química sintetizan materiales a través del uso de símbolos y teorías cosrpusculares con objetivos macroscópicos y resultados precisos en su color, olor y texturas.

Erduran y Scerri (2002) hacen hincapié con estos argumentos sobre lo únicos que son los profesionales de la química, por lo menos, con respecto a los profesionales de la física.

A este respecto, y de acuerdo con estos autores en esta defensa particular de nuestra profesión, en este trabajo de investigación se destacan las cualidades de los profesionales de la química. Bensaude-Vincent (2009), Ngai y Sevian (2017) y Chamizo (2013) continúan esta defensa esgrimiendo hechos históricos y sociológicos, respectivamente, así como la importancia que tienen estas reflexiones en la enseñanza y el aprendizaje de la química.

Bensaude-Vincent (2009) reflexiona sobre la importancia histórica de los estilos de pensamiento científico [*styles of scientific thinking*], específicamente, el estilo de pensar de los profesionales de la química [*the chemists' style of thinking*]. El motivo de sus reflexiones es el de establecer la identidad de la disciplina hoy en día, como un producto contingente de una larga historia de aventuras, éxitos y fracasos frente a la ausencia de un territorio definido y, según la autora, “*de estar entre las fronteras de la vida y la muerte; el paraíso y la tierra y lo macroscópico y lo microscópico*”.

A continuación, se presentan algunos de estos estilos de pensamiento de los profesionales de la química de Bensaude-Vincent (2009):

1. Los profesionales de la química hacen materiales y sustancias en el laboratorio.

2. Los profesionales de la química son los fundadores y dueños del trabajo científico en el laboratorio, esto les permite estudiar a la naturaleza a través de los artefactos que ellos diseñan en él.
3. Los profesionales de la química requieren habilidades manuales y actividad intelectual para mediar entre sus artefactos y la naturaleza.
4. Los profesionales de la química requieren transmitir su conocimiento a través de un género específico de discurso y de literatura.
5. Los profesionales de la química hacen teorías que utilizan como herramientas para operar el mundo y para transformar sustancias.
6. Los profesionales de la química consideran a los materiales individuales como agentes del mundo material.
7. Los profesionales de la química manipulan e intervienen los fenómenos naturales.

La importancia que da Bensaude-Vincent (2009) a estos hechos históricos químicos se puede justificar para esta tesis con el trabajo de Ngai y Sevia (2017); pues, muchos de los hechos que describe son fundamentales para la identificación de las sustancias, habilidades necesarias para formular preguntas tanto para profesionales de la química como para ciudadanos cuya última lección de química fue en el bachillerato.

Ngai y Sevia (2017) trabajan con el concepto de “Identidad Química” que es, según las autoras, la búsqueda de la identificación de las sustancias. Este concepto es, también, central a la disciplina durante toda su historia. Lo que caracteriza el concepto de Identidad Química son dos preguntas: ¿qué es esta sustancia? y ¿cómo es diferente con respecto a las otras sustancias? La primera pregunta es una sobre clasificación mientras que la segunda es una sobre si dos sustancias son la misma o no. Las autoras plantean que estas dos preguntas están presentes en el trabajo diario de los

profesionales de la química y en la vida diaria de las personas. Justifican esto mediante ejemplos de preguntas que se plantean los profesionales de la química [¿Esta muestra es una “sustancia pura” o una mezcla?, ¿cómo separaría sus componentes?, ¿cómo identificaría los componentes una vez separados?] y los ciudadanos cuya última lección de química fue en el bachillerato [¿Qué detergente debería comprar?, ¿importa que uno tenga lauril sulfato de sodio y el otro sulfato de etoxialcohol?, ¿por qué dicen tener ingredientes naturales pero la lista de ingredientes tiene palabras como lauret-6 y citrato de sodio?]. Las autoras aseguran que situaciones como estas dependen de conceptos de Identidad Química, pues, incluyen supuestos, conocimientos y prácticas que los profesionales de la química utilizan para determinar si las sustancias son iguales o no.

Estas preguntas requieren habilidades que esta tesis, ultimadamente, busca fomentar en los estudiantes de la Educación de Nivel Medio Superior para que, de alguna manera, esta alfabetización científica química pueda contribuir a la formación de ciudadanos y hasta científicos con una instrucción química útil y sólida. Chamizo (2013) concuerda con la urgencia de esta necesidad educativa en la química.

Chamizo (2013) propone una forma de pensar sobre la disciplina [la tecnología de la química con respecto a lo social, cultural, económico y ecológico] se incorpore, de forma indispensable, a la educación de la química. La tecnoquímica es el conjunto de acciones intencionales en un contexto histórico específico que llevan al diseño de sustancias químicas. *Haciendo* es la manera principal en la que los profesionales de la química conocen y esas acciones incrementan la complejidad del mundo.

El trabajo de Chamizo (2013) es particularmente interesante para esta tesis porque, a través de él, el autor justifica desde muchas distintas ramas del conocimiento el rol que han jugado los profesionales de la química desde la existencia de la humanidad

misma. Es decir, es justo afirmar que su propuesta ayuda a fundamentar directamente al Pensamiento Químico. A este respecto, el autor fundamenta su trabajo, en parte, con una referencia del Dr. Talanquer al respecto de la simbiosis entre ciencia e industria como carácter único de la química.

A continuación, se presenta una lista sintética sobre las aportaciones que reúne Chamizo (2013) de diversas fuentes sobre los profesionales de la química a lo largo de la historia.

1. En los laboratorios la química se vuelve profesión al mejorar la producción, evaluar la contaminación, idear regulaciones, etc.
2. Los profesionales de la química de síntesis no solo preparan experimentos, diseñan y construyen dispositivos, sino que crean fenómenos.
3. La práctica experimental más importante en la química tiene como objetivo y como resultado a las sustancias.
4. Se toma como referencia a la historia natural práctica, como saber dónde hay ingredientes y cuál es su calidad solo con verlos.
5. Sugerir refinamientos al proceso artesanal del análisis técnico como dividir un proceso desconocido en sus componentes de los cuales puede variar sus condiciones con el objetivo de incrementar rendimientos.
6. La química puede ser considerada como un proceso artesanal, una racionalización o un invento, o como un traslape de dos o de las tres.
7. El uso de disolventes líquidos o gaseosos como instrumentos para llevar a cabo reacciones químicas a la medida de las necesidades de los profesionales de la química.
8. El uso de modelos materiales simbólicos para representar elementos, compuestos y reacciones químicas.

9. Representar teóricamente conocimiento empírico de transformaciones orgánicas a través de fórmulas [modelos].
10. El uso de modelos experimentales materiales como ratas utilizadas de forma estandarizada en la investigación biomédica.
11. El uso de modelos materiales de íconos como los llamados “modelos moleculares” así como simulaciones y animaciones. Estas llevaron, por ejemplo, a la estereoquímica.
12. El diseño y “construcción” de nuevas moléculas, la producción de sustancias nuevas y la manufactura a nivel industrial de nuevos productos.
13. La racionalización, invención e intervención en el mundo al producir nuevas formas de materia, es decir, la creación de su propio objeto de estudio.
14. Desarrollar un entendimiento del mundo al modificarlo.

Esta lista contiene una gran cantidad de conocimientos y maneras de conocer que dominan los profesionales de la química que, según el autor, se pueden incorporar a la enseñanza de la disciplina mediante la tecnoquímica. Vinculándolo con las aportaciones de Talanquer y Pollard (2010), esto se llevaría a cabo a través del Pensamiento Químico.

Lythcott (1990) critica severamente a la enseñanza tradicional de la química explicando una barrera para que haya más estudiantes que sean eficientes en química. Esta barrera es, primero, que los estudiantes encuentran que es difícil resolver problemas de química. Sin embargo, la búsqueda para que los estudiantes produzcan respuestas correctas a estos problemas confiablemente carece de la siguiente pregunta: ¿Qué saben de química los estudiantes? El autor, entonces, comenta lo siguiente:

“Quizá se asume que la resolución de problemas es la aplicación de conocimiento entendido, es decir, que los estudiantes entienden química y luego aprenden a

resolver problemas. Los resultados de este estudio indican que esta puede ser una suposición severamente falsa.” Lythcott (1990, p. 248).

El verdadero problema, según el autor, es la prescripción de acatar ciertas reglas. Estas reglas producen soluciones correctas a problemas, sin embargo, funcionan sencillamente porque son reglas; las reglas de un algoritmo. Si estas reglas se les presentan a los estudiantes para que las sigan, no necesitan ninguna confrontación con la química de por qué funcionan. Aunado a ello, a los estudiantes se les suelen presentar problemas mal redactados y sin todos los datos necesarios [en olvido u omisión] para su resolución, lo que agrava el entendimiento de la disciplina.

Termina Lythcott (1990) al asegurar que a los estudiantes se les abandona a sus propios recursos, pues, al enfrentarse con un problema difícil o inusual no tienen a dónde mirar para recibir ayuda. Esto es porque no poseen entendimiento de la química y porque las reglas prescritas que aprendieron en clase son insuficientes para resolver problemas difíciles o inusuales. En otras palabras, según el autor, nada de lo que los estudiantes aprendieron en clase de química puede ayudarles. Se puntualiza que no se les enseña a los estudiantes cómo pensar, solo se provee una oportunidad de enseñanza a los que ya pueden hacerlo. Es decir, solo los estudiantes que de alguna forma han construido un razonamiento lógico a priori aprovechan este tipo de problemas de mayor demanda cognitiva.

La propuesta del autor sobre cómo piensa un profesional de la química la describe con todos los pasos que seguiría en la resolución de un problema sencillo de masa-masa:

1. Describir cómo se ven las sustancias y cómo se vería la reacción química. Ambas en inglés [o en el idioma natal], en lenguaje químico y en símbolos químicos.
2. Describir de nuevo el problema, de forma cualitativa.

3. Crear una expectativa de la masa del producto con base en la información estequiométrica de la reacción química balanceada.
4. Limitar la búsqueda de resultados interpretando la descripción cualitativa del problema mediante una heurística general.
5. Interpretar mediante heurística general, es decir, metodologías o datos que se han demostrado a través de la experiencia que funcionan. Por ejemplo: análisis de fines y medios, trabajar de fin a inicio y ensayo y error.

Son estos cinco puntos que define Lythcott (1990) los que esta tesis considera como Pensamiento Químico. Es decir, no sólo Talanquer y Pollard (2010) proponen al Pensamiento Químico como alternativa de enseñanza de la química, sino que, desde 1990, 20 años antes, autores detectan un problema de enseñanza-aprendizaje en la disciplina que tiene como solución la enseñanza de la forma de pensar de los profesionales de la química.

Taber (2013) hace un análisis del conocido Triángulo de Johnstone o Triplete de la Química con el fin de recordarnos que el nivel (1) simbólico o representacional [lenguaje, fórmulas y ecuaciones] existe de forma equivalente en cuanto a nivel conceptual del conocimiento con respecto a los otros dos: el (2) descriptivo o funcional [materiales, propiedades y cambios] y el (3) explicativo [comportamiento de las sustancias, partículas químicas, polímeros, etc].

El autor marca que la psicología del aprendizaje y la investigación educativa sugieren que la enseñanza de la química requiere que se tenga en mente la importancia de modelar las maneras en las que los profesionales de la química trabajan con y entre dos niveles de conocimiento conceptual:

1. Descripciones y categorías macroscópicas

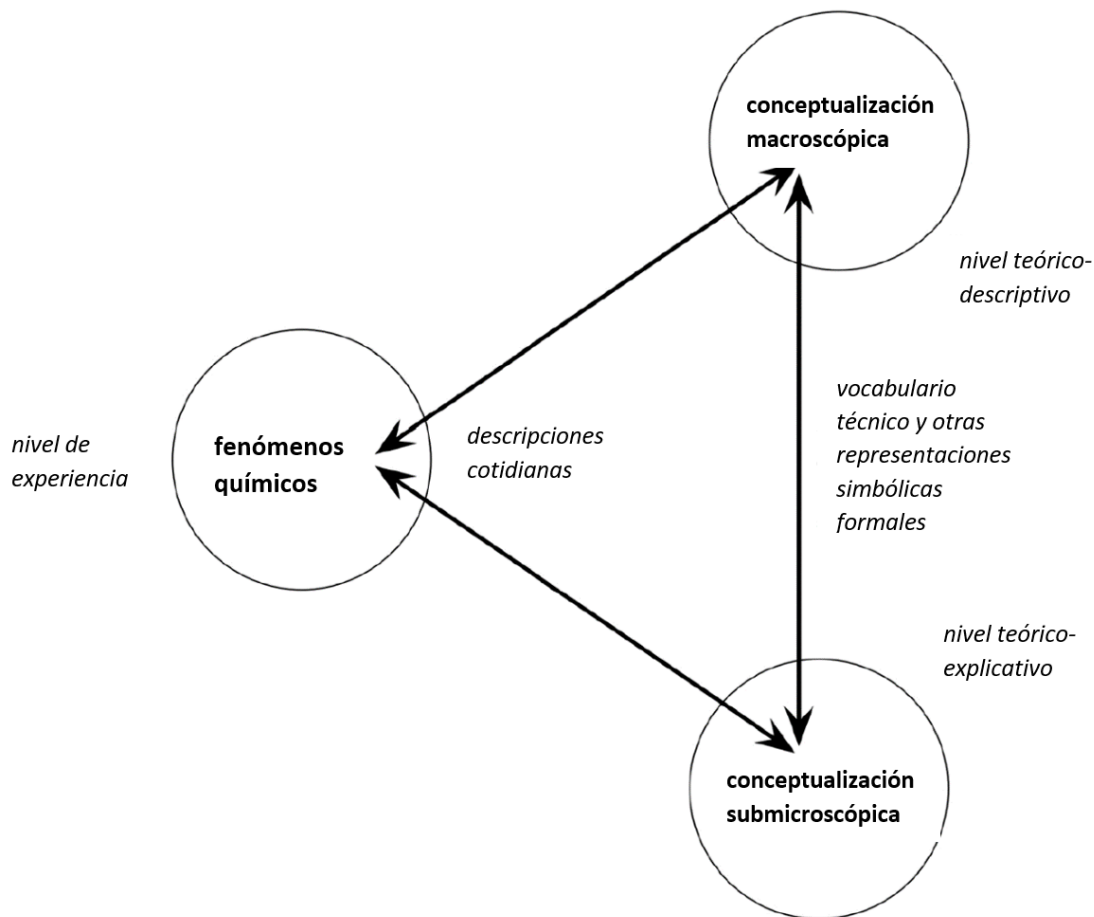
2. Modelos teóricos nanoscópicos.

Es decir, según Taber (2013), estos dos dominios de conocimiento conceptual los representan y comunican los profesionales de la química a través del uso del lenguaje simbólico de la disciplina.

En el transcurso de su análisis, Taber (2013) establece una justificación útil para esta tesis. Ésta la inicia con un par de citas de Johnstone sobre la importancia de la representación y la comunicación de los profesionales de la química que se mencionó arriba:

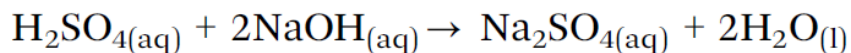
- Los profesionales de la química “ven a la disciplina en al menos tres niveles” [representacional, funcional y explicativo] y “saltan libremente de nivel a nivel en una serie de acrobacias mentales”. Johnstone (1982, p. 377).
- “... El profesional de la química instruido puede mantener estos tres niveles en equilibrio, pero no el aprendiz”. Johnstone (2000b, p. 9)

Esta tesis considera que Taber (2013) busca citar estos dos pasajes específicos de Johnstone en su análisis de su obra con el objetivo de sustentar que la mayor parte de la química moderna involucra explicar los fenómenos que los seres humanos podemos observar y conceptualizar en el nivel macroscópico en términos de modelos teóricos sobre lo que ocurre submicroscópicamente. Ello a través de, por ejemplo, ecuaciones químicas como puente entre los dos niveles, pues, representan ambos niveles simultáneamente. Este puente ayuda a los profesionales de la química a cambiar de un nivel de conocimiento a otro en nuestras explicaciones.



Figura². Traducción libre de Taber (2013), p. 165.

Adicionalmente, basta con presentar una ecuación química como la que sigue para mostrar la enorme cantidad de información que los profesionales de la química poseen y piensan:



Según Taber (2013), la cantidad de información que esta ecuación presenta es mucho mayor que la capacidad de atención normal de un niño, que la de un adulto y, a

² El autor resume en esta figura que lo simbólico o representacional es inherente en cómo pensamos sobre la química. Así como que el proceso de aprendizaje, enseñanza y la aplicación de la química involucran "re-descripciones" hacia y entre componentes del especializado "lenguaje" simbólico utilizado para describir ideas químicas en los niveles macroscópicos y nanoscópicos.

veces, que la de un docente de química. Sin embargo, la mayoría de los profesionales de la química son capaces de sostener este hilo continuo de información en mente y, además, reportarlo a voluntad. El autor justifica esta declaración explicando que esta reacción de neutralización cabe en un esquema familiar para el profesional de la química. Es decir, el profesional de la química posee representada en su memoria de largo plazo:

1. La estructura general de cualquier reacción química: reactivo(s) → producto(s).
2. La forma específica de esta reacción particular: ácido + base → sal + agua. Con “vacantes” para cualquier ácido, base y sal particulares.
3. Que cada “término” es una representación familiar de reactivos específicos [ácido sulfúrico acuoso, hidróxido de sodio acuoso, sulfato de sodio acuoso, agua líquida como producto y como medio de reacción].
4. El “re-conocimiento” [*re-cognition*] del hilo continuo de información como la reacción química de neutralización del ácido sulfúrico e hidróxido de sodio o, más eficientemente, la ecuación de la reacción de síntesis de sulfato de sodio mediante neutralización.

Por lo tanto, la importancia del estudio desde la psicología del aprendizaje y de la investigación educativa que propone, inicialmente, Johnstone (1982) y, luego, Taber (2013) es parte de la fundamentación del Pensamiento Químico. Los autores anteriores y Talanquer y Pollard (2010) marcan un camino específico para el aprendizaje de la disciplina y resaltan la complejidad cognitiva del profesional de la química: cómo se comunican, cómo representan y cómo piensan.

Son, precisamente, estos supuestos, conocimientos y prácticas, que los profesionistas de la química dominan y que están presentes en la vida diaria, los

pensamientos que Talanquer y Pollard (2010) desean llevar directamente a los estudiantes con el fin de cambiar la enseñanza de la química de lo que los profesionales de la química saben a cómo piensan.

Ahora bien, con estas justificaciones definimos que: el “Pensamiento Químico” (PQ) (Talanquer y Pollard, 2010) es un modelo de enseñanza-aprendizaje de la química que surge en la Universidad de Arizona, EE. UU., en el año 2007. De acuerdo con la investigación de los autores, los científicos e ingenieros del siglo XXI tienen necesidades educativas, que fueron consensadas colegiadamente en ese país desde 1995 [National Science Foundation, Process Oriented Guided Inquiry Learning Initiative y el Science Writing Heuristic Project] y los currículos de educación superior no cubrían. Este modelo permitió la actualización del currículo docente de las asignaturas de química – en las licenciaturas afines a la misma – en esa institución.

Talanquer y Pollard (2010) desarrollaron su progresión de aprendizaje [el libro universitario de química que comparte el nombre de su modelo educativo: *Chemical Thinking*] con base en el modelo de diseño hacia atrás de Wiggins y McTighe (1998), mencionado en la sección anterior, y algunos modelos nanoscópicos de la materia. Consiste en los siguientes tres pasos:

1. Determinar los *Entendimientos Duraderos* que se desea que desarrollen los estudiantes.
2. Definir las *Herramientas de Evaluación* que permitirán evaluar el progreso de los estudiantes hacia las metas de aprendizaje preestablecidas.
3. Desarrollar, adoptar o adaptar las *Experiencias de Aprendizaje* que permitirán a los estudiantes alcanzar las metas de aprendizaje preestablecidas.

Talanquer y Pollard (2010) adaptaron algunos términos, conforme a sus necesidades académicas, con respecto al modelo original del diseño hacia atrás, sin embargo, éstos permanecen casi iguales. Es fundamental profundizar, ahora, en el primer paso, que es el más importante para este modelo y para esta tesis.

La determinación del contenido del nuevo currículo universitario de los autores los llevó, primero, a proponer una lista de suposiciones que guían la forma de pensar de los profesionales de la química aplicada al análisis, síntesis, transformación y modelaje de sistemas químicos. Este trabajo se refiere a esta lista como pensamientos químicos (PQ):

1. *PQ1 Identidades.* La estructura submicroscópica de una sustancia determina su identidad. El número, el arreglo y el tipo de partículas [átomos, iones] que conforman moléculas, redes iónicas, redes metálicas o redes covalentes [moleculares reticulares] determina las propiedades físicas y químicas de una sustancia³.



Figura 3. Imagen aumentada de cristales de nitrato de potasio.

³ Nota: traducción libre del texto en inglés de Talanquer y Pollard (2010) al español por el autor de esta tesis.

2. *PQ2-Interacciones*. La estructura submicroscópica de una sustancia química determina la naturaleza de sus interacciones. Las interacciones entre los componentes nanoscópicos de diferentes sustancias, o con diferentes formas de radiación electromagnética, pueden provocar reordenamientos atómicos o moleculares que cambian las propiedades de la sustancia, o que llevan a la formación de nuevas sustancias³.



Figura 4. Imagen de la cristalización de una disolución de nitrato de potasio.

3. *PQ3 Haceres Químicos*. La exploración y el modelaje de cómo se relacionan las propiedades de las sustancias con su estructura, sus interacciones y las dinámicas de sus componentes nanoscópicos ayuda a diseñar métodos para separar, detectar, identificar y cuantificar las sustancias; así como procedimientos para sintetizarlas o transformarlas³.



Figura 5. Imagen de la filtración de una disolución dicromato de potasio.

4. *PQ4-Predicciones Químicas*. La exploración y el modelaje de los efectos de los diferentes tipos de interacciones en la estructura submicroscópica de las sustancias, así como los mecanismos a través de los que pueden ocurrir cambios estructurales, ayuda a diseñar métodos para provocar y controlar transformaciones físicas y químicas³.

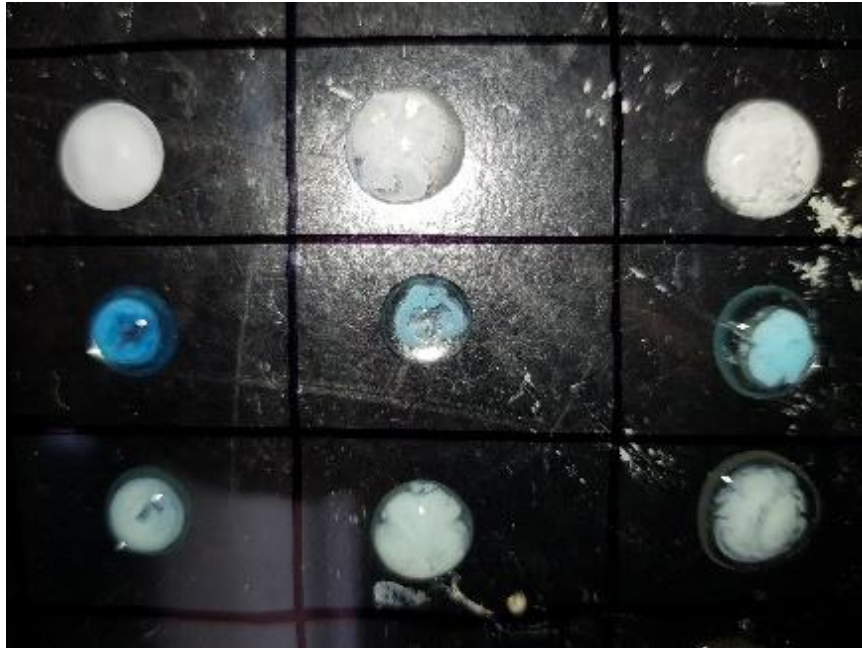


Figura 6. Imagen de pruebas de solubilidad de 3 solutos diferentes en 3 disolventes diferentes.

5. *PQ5-Factores Químicos*. Se deben identificar los factores intrínsecos [estructura] y extrínsecos [medio] que pueden influenciar la estabilidad termodinámica y cinética de una sustancia química para sintetizarla o transformarla. La identificación de arreglos atómicos y electrónicos representativos en el nivel molecular nos ayuda a hacer predicciones sobre la reactividad química y posibles rutas de síntesis³.



Figura 7. Imagen de una mezcla de una disolución de dicromato de potasio y de cristales de dicromato de potasio dentro de un tubo de ensayo a la flama.

Si bien las definiciones son una traducción de las propuestas por Talanquer y Pollard (2010), con el fin de tener una forma para referirnos a cada uno de los pensamientos químicos, esta tesis ha seleccionado un nombre sintético para cada uno.

Segundo, el novedoso currículo universitario de Talanquer y Pollard (2010) propone una progresión de aprendizaje que lleva a los estudiantes, gracias a la interpretación de la investigación educativa sobre el aprendizaje de los modelos nanoscópicos de la materia, a lo que ellos llaman una espiral inquisitiva. Este trabajo marca ese camino como sigue:

- *Macro*. Permitir que los estudiantes reconozcan y exploren las propiedades físicas de las sustancias que las permiten diferenciarlas de otras.
 - *Multi partícula*. Esta exploración crea y justifica la necesidad de desarrollar modelos corpusculares de la materia que sirvan para explicar y predecir esas diferencias. Esta discusión lleva a los estudiantes a ponderar por qué diferentes partículas exhiben diferentes interacciones
 - *Molecular*. Esto se responde haciendo “zoom” al nivel molecular y a la estructura interna de las partículas. Esta tarea requiere la discusión y aplicación de técnicas básicas [análisis elemental, espectroscopía de masas, y espectroscopía infrarroja] que sirven para explicar composición y patrones de enlace.
 - *Atómico*. Los patrones de enlace abren la puerta a los modelos atómicos que los explican. Este segundo “zoom” se puede hacer al discutir los resultados de técnicas experimentales [espectroscopía de absorción y de emisión, espectroscopía fotoeléctrica] que permiten explorar la materia a esa escala.
 - *Molecular*. Los modelos atómicos actuales permiten explicar y predecir las estructuras moleculares de los compuestos químicos. Éstos, junto con modelos básicos de enlace químico, sirven para predecir polaridad y geometría molecular.
 - *Multi partícula*. Con estas herramientas, se pueden predecir diferentes fuerzas intermoleculares y analizar sus efectos en las propiedades físicas de compuestos moleculares sencillos.
- *Macro*. Este análisis se puede llevar a sustancias macromoleculares naturales y sintéticas, redes covalentes, redes iónicas y redes metálicas.

Es a través de esta espiral inquisitiva de Talanquer y Pollard (2010) de la que surgen todas las actividades de la progresión de aprendizaje de los autores, así como los últimos dos pasos del diseño hacia atrás, modelo que fundamenta su trabajo. Los detalles de ésta se encuentran en los dos volúmenes de *Chemical Thinking* que fungen como columna vertebral del curso universitario de química general de los autores en la Universidad de Arizona.

Para cerrar esta parte sobre el PQ, Talanquer en 2021 publica en el Journal of Chemical Education una actualización de su investigación sobre el Pensamiento Químico. Plantea el autor mexicano a los *razonamientos químicos*, o *chemical rationales*, como cualquier producto del razonamiento que utilice conocimiento químico para construir explicaciones, justificaciones o argumentos.

Luego, Talanquer (2021) establece en su artículo que ha elegido seis términos que representan las diferentes dimensiones de la variación del PQ. Resalta el egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México que guio su elección por las etiquetas y las formas de hablar en la literatura de la investigación educativa química en donde una de estas dimensiones de la variación se haya identificado o discutido, es decir, *razonamiento químico*. Estas seis dimensiones del PQ son:

- Granularity [granularidad]
- Dimension [dimensión]
- Frame [marco]
- Basis [base]
- Mode [modo]
- Focus [enfoque]

Sobre éstos, cabe mencionar que el autor los separa en dos categorías. La primera [granularidad, dimensión, marco] que caracteriza la naturaleza de las entidades y propiedades que son objeto del *razonamiento* y la segunda [base, modo, enfoque] que hablan sobre la perspectiva en la construcción del *razonamiento*. Esta tesis resalta el primer término: granularidad. Es este, según el autor, el PQ multifacético.

Según Talanquer (2021), granularidad es la dimensión de la variación del PQ que está relacionada con los niveles del conocimiento de la materia: macroscópico, multi-partícula, molecular, atómico y electrónico. Esta variación es donde entidades y procesos de interés son modelados. Además, afirma que granularidad puede ser el PQ multifacético más reconocido, analizado y discutido de todos los aspectos del *Pensamiento Químico* y, por ello, existe una vasta literatura sobre la enseñanza y el aprendizaje sobre estos niveles representacionales de la química. Por ejemplo, las diferencias en la proporción de una reacción química se pueden racionalizar en el nivel macroscópico usando la ley de las proporciones o en el nivel multi partícula con base en la frecuencia de las colisiones de las partículas.

Son estas colisiones entre partículas justo el enfoque del tema de reacción química que esta tesis busca contextualizar con el PQ y, además, con las otras formas de justificar al mismo o, como el mismo Talanquer (2021) los establece, *razonamientos químicos*.

A continuación, se presenta una lista de características que esta tesis considera relevantes sobre los *chemical rationales* o *razonamientos químicos* de Talanquer (2021):

- Los *razonamientos químicos* [chemical rationales] se pueden construir para hacer sentido, explicar, justificar o argumentar sobre las propiedades y comportamientos de las sustancias y fenómenos químicos.

- Los estudiantes pueden beneficiarse de conocer sobre los diversos enfoques de razonamiento que se siguen en la disciplina, así como de sus propiedades, estructura, áreas de aplicación, alcance y limitaciones.
- Se espera que los estudiantes se beneficien de la instrucción que reconoce la complejidad de las diferentes dimensiones de la variación en el PQ y que está planeada y organizada para respaldar el desarrollo del PQ multifacético [multifaceted chemical thinking].
- Reconocer las formas comunes de razonamiento en química nos ayuda a identificar estrategias instruccionales que permitan estructurar y apoyar a los estudiantes para su aprendizaje sobre cómo y cuándo aplicarlas.
- Al crear oportunidades para que los estudiantes construyan varias formas de razonamiento éstos se pueden analizar para hacer explícitas sus características esenciales, para comparar y contrastarlos con el fin de subrayar similitudes, diferencias y conexiones y para reflexionar sobre estos razonamientos para reconocer las situaciones y condiciones en las que son más productivos y apropiados.
- Se deberían modificar las prácticas de evaluación formativa y sumativa para que incluyan más preguntas que permitan a los estudiantes no solo identificar o describir qué sucede en un sistema o proceso sino, también, cómo y por qué sucede.
- Actividades en las que los estudiantes aborden la construcción, análisis y evaluación de diferentes representaciones visuales [dibujos] de sistemas modelados son particularmente efectivas para respaldar el desarrollo y aplicación razonamiento mecánico basado en modelos en diferentes niveles de granularidad dentro de un marco mecánico o estructural.
- La habilidad de científicos químicos e ingenieros químicos para integrar conocimiento empírico y teórico, operando en diferentes niveles y

dimensiones, adoptando diferentes marcos, modos y enfoques en su razonamiento ha permitido no solo hacer sentido del mundo material sino, también, controlarlo, expandirlo y enriquecerlo.

Talanquer (2021), coautor del Pensamiento Químico, reconoce que existen muchas distintas fuentes de conocimiento químico a las que llama *razonamientos químicos* o *chemical rationales* que conducen al autor al PQ multifacético. Esta tesis hace el mismo ejercicio en esta sección del marco teórico con el objeto de, precisamente, fundamentar aún más al PQ.

A su vez, estas fuentes de conocimiento químico las divide el autor en dimensiones de la variación del PQ que, según Talanquer (2021), tienen entre ellas a granularidad. Como se verá en la siguiente sección del marco teórico, el tema de reacción química que esta tesis utiliza se ve abrazado justamente por granularidad, pues, está relacionada con la teoría de colisiones de Gillespie (1997).

Por último, se enlistan características relevantes para esta tesis sobre los *razonamientos químicos* o *chemical rationales* de Talanquer (2021). Éstas auxilian a esta tesis a fundamentar indicadores de PQ en el análisis de los resultados de la SEA *Pensemos Químicamente*.

Se fundamentaron las definiciones y justificaciones de Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje (SEA) y de Pensamiento Químico (PQ). Con ello, este marco teórico puede justificar las partes más específicas que llevaron al diseño de la SEA “*Pensemos Químicamente*” en el marco del contexto docente y académico en el que se aplicó como el plan de estudios y el concepto de reacción química, cuyos detalles vienen en la siguiente sección. Todo ello sin dejar de lado la relación que tienen éstos con las SEAs y el PQ.

2.3. Planes de estudio y reacción química

Es importante enmarcar el resto del contexto educativo de esta tesis. Aureli Caamaño (2018) hace un análisis extenso sobre el currículo global de química desde la década de los 1990. Su análisis establece que, desde esa época, los planes de estudio de la educación en México y en todo el mundo siguen una tendencia de formulación y reformulación con el propósito de ser interdisciplinarios y sociales. Un ejemplo de esto es el libro para el bachillerato *Química* de Garritz y Chamizo (2005), que se publicó en 1994 cuyo propósito fue abarcar más el carácter descriptivo y fenomenológico de la disciplina. Inclusive, este enfoque lo incorporan varios modelos estadounidenses (Chemistry for changing times, 2016; The extraordinary chemistry of ordinary things, 2003; Chemistry in context. Applying chemistry in context, 1994) en su educación superior.

A su vez, este enfoque está centrado en tres grandes núcleos conceptuales – la materia, la energía y el cambio – cuyo objetivo es plantear a la química como interdisciplinaria. Es decir, este enfoque de la química integra, según Caamaño (2018), a la química con el resto de las disciplinas científicas; logrando así aproximarla a la sociedad y a lo cotidiano.

Paralelo a esta tendencia educativa, el Colegio de Ciencias y Humanidades de la UNAM actualizó su plan de estudios en 1996 y posteriormente lo renovó en 2016 con base en estas tendencias interdisciplinarias, núcleos conceptuales, ideas centrales y aproximaciones CTSA [Ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente].

Esto último resulta más evidente con estos ejemplos de unidades temáticas de aprendizaje y enseñanza para el programa de estudio de las asignaturas de química para bachillerato del CCH:

- Química II. Unidad 2. Alimentos y medicamentos: proveedores de compuestos del carbono para el cuidado de la salud.
- Química III. Unidad 3. Control de los procesos industriales en la fabricación de productos estratégicos para el país.
- Química IV. Unidad 1. El petróleo recurso natural y fuente de compuestos de carbono para la industria química.

El tema de reacción química, el tema de la SEA Pensemos Químicamente, se explora a profundidad en la asignatura Química III. Sus unidades son las siguientes:

1. Química III. Unidad 1. Industria química en México: factor de desarrollo.
2. Química III. Unidad 2. De los minerales a los metales: procesos químicos, usos e importancia.
3. Química III. Unidad 3. Control de los procesos industriales en la fabricación de productos estratégicos para el país.

La SEA Pensemos Químicamente se diseña con el fin de aplicarse en la culminación conceptual del tema de reacción química en la asignatura de Química III en su Unidad 3. Por ello, conviene establecer que para esta tesis la definición de reacción química es la siguiente:

“Las reacciones ocurren porque las moléculas se están moviendo y cuando se golpean con violencia suficiente unas contra otras los enlaces se rompen y los átomos se intercambian para formar nuevas moléculas. O una molécula que está vibrando con violencia suficiente puede romperse en moléculas más pequeñas.” (Gillespie, 1997, 863).

Este es el contexto que se ha elegido para incorporar a los estudiantes de Nivel Medio Superior del Colegio de Ciencias y Humanidades de la Universidad Nacional Autónoma de México el Pensamiento Químico.

2.4. La importancia de la evaluación en el diseño de instrumentos

Es pertinente mencionar algunos conceptos importantes sobre evaluación con el fin de establecer la metodología de su análisis. Martínez y Sánchez (2020) proponen dos estilos de evaluación distintos: evaluación del aprendizaje y evaluación para el aprendizaje.

A su vez, establecen que existen criterios para una buena evaluación que deben caracterizar a todas ellas. Éstos son: validez, confiabilidad, justicia, equivalencia, factibilidad, efecto educativo, efecto catalítico, aceptabilidad, etc. Esta tesis se enfocará, principalmente, en un solo criterio: validez. La validez de un proceso de evaluación es el grado con el que mide lo que se supone que mide; se plantean cinco fuentes importantes de validez (AERA, 2014; Martínez y Sánchez, 2020):

1. Contenido.
2. Procesos de respuesta.
3. Estructura interna.
4. Relación con otras variables.
5. Consecuencias.

De acuerdo con Wiggins y McTighe (1998) y Talanquer y Pollard (2010), las herramientas de evaluación son la culminación del aprendizaje de los estudiantes hacia las metas preestablecidas. Estas herramientas deben estar alineadas con los *Entendimientos Duraderos* que se desea desarrollen los estudiantes, es decir, lo que se desea que aprendan los estudiantes debe ser lo que se evalúe.

Martínez y Sánchez (2020) establecen que en las evaluaciones escritas la documentación de evidencia de validez de *contenido* es fundamental. Por ejemplo: la

congruencia del contenido de las preguntas con las especificaciones de un examen y la representatividad de las preguntas de los diferentes dominios del área a evaluar. En otras palabras, se debe preguntar lo que se desea que respondan los estudiantes y estas preguntas deben ser representativas de las metas preestablecidas. Además, Martínez y Sánchez (2020) marcan que los *procesos de respuesta* son evidencia de la integridad de los datos de tal manera que las fuentes de error que se puedan asociar con la administración de la evaluación se controlen. Por ejemplo: el control de calidad del reporte de los resultados de la evaluación y la familiaridad del estudiante con el formato de evaluación. La evaluación debe estar construida a partir de los resultados de los estudiantes y en un formato familiar para los estudiantes.

Ahora bien, Martínez y Sánchez marcan que:

“Una estrategia clave de la evaluación para el aprendizaje es la realimentación. Esto la distingue y la convierte en útil, asimismo permite diseñar una ruta para crear oportunidades de aprendizaje que contribuyen a que los alumnos logren los objetivos de aprendizaje. De este modo, es interactiva, porque además de permitir una relación más estrecha entre profesores y alumnos, debe estar alineada con el currículo, con los resultados de aprendizaje esperados, debe considerar el entorno y realizar una selección adecuada de las estrategias de enseñanza y los instrumentos de evaluación para ayudar a los alumnos a avanzar en su aprendizaje.

Asimismo, es reflexiva porque invita a los alumnos a involucrarse de manera activa en su proceso de aprendizaje y con la guía del profesor, ellos pueden identificar sus fortalezas, áreas de oportunidad, así como establecer estrategias para alcanzar el reto de aprendizaje al que se enfrentan.” (Martínez y Sánchez, 2020, p. 43).

Nuevamente, las experiencias de aprendizaje son la instrucción a través de la adaptación o adopción de instrumentos o actividades que le proporciona a los estudiantes la oportunidad de: aprender, hacer inferencias y generalizaciones propias, aplicar su aprendizaje y recibir realimentación oportuna. A su vez, estas experiencias de aprendizaje deben estar alineadas con las herramientas de evaluación y con los entendimientos duraderos; en otras palabras, lo que se desea que aprendan los estudiantes debe ser lo que se evalúe y lo que se enseña.

La realimentación permite generar oportunidades de aprendizaje hacia los objetivos de los estudiantes. Esta interacción debe estar alineada con el currículo y considerar la selección de estrategias e instrumentos, de esta manera los estudiantes podrán construir su propio aprendizaje.

Martínez y Sánchez (2020) advierten que éstos tienen alcances y limitaciones que el docente debe conocer y recomiendan que se utilice más de uno para reunir las evidencias del proceso de aprendizaje de los estudiantes. Proponen que la selección de los instrumentos debe ser conforme a lo que se desea que aprendan los estudiantes, por ejemplo: si se va a evaluar “saber cómo” se pueden usar evaluaciones escritas; para “mostrar cómo” se puede usar el examen objetivo estructurado; el “hacer” mediante la evaluación basada en el trabajo, el portafolios, etc.

Por último, Martínez y Sánchez (2020) le recuerdan al docente que una evaluación integral debe contener suficientes evidencias para capturar una muestra suficiente del aprendizaje, de tal manera que la evaluación propicie el aprendizaje. Los instrumentos que pueden conducir a ello al docente y a los estudiantes pueden ser: mapas conceptuales, exámenes escritos, exámenes prácticos, autoevaluaciones, informes escritos, presentaciones orales, coevaluaciones, etc.

3. Metodología

En esta tesis se hace una investigación con un corte cualitativo. Los principales instrumentos son cuestionarios abiertos que se aplicaron a estudiantes del nivel medio superior. A continuación, se presentan tres ejes que contextualizan dicha investigación:

3.1. Sujetos y contexto de aplicación

3.2. SEA Pensemos Químicamente

3.3. Herramientas de evaluación de Pensemos Químicamente

3.1. Sujetos y contexto de aplicación

Pensemos Químicamente se elaboró con base en el contexto de formación profesional de la práctica docente de la MADEMS durante los semestres 2018-2 y 2019-1 en el Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Sur. De igual modo, se aplicó, con consentimiento de participación ética, a 26 estudiantes de las asignaturas de Química III a lo largo de seis sesiones de 2 horas cada una [12 horas en total]. Pensemos Químicamente se incorporó al trabajo cotidiano de los estudiantes en el sentido en que se continuó con su forma de trabajo en 6 equipos o mesas de aproximadamente 5 integrantes.

Inicialmente, se realizó un sondeo del estado general de los estudiantes y de sus intereses. Éste se tomó en cuenta para diseñar una de las secciones del material educativo: Actividad experimental [Prueba de Fehling]. El motivo para esta decisión es que todos los estudiantes presentaron interés en estudiar una licenciatura relacionada a las ciencias de la salud y la Prueba de Fehling es una reacción química que se utiliza para detectar glucosa, compuesto fundamental en sistemas biológicos. Las demás actividades de Pensemos Químicamente toman en cuenta esta actividad para su desarrollo.

3.2. SEA Pensemos Químicamente

La Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje (SEA) Pensemos Químicamente, tal cual se aplicó a los estudiantes se encuentra en el Anexo 1 de esta tesis. Pensemos Químicamente consiste en 5 actividades. De cada actividad se rescatan los tres aspectos del diseño hacia atrás de Wiggins y McTighe (1998) y del propio Pensamiento Químico de Talanquer y Pollard (2010).

Pensemos Químicamente se resume esquemáticamente con la Tabla 1. La primera división que hay que destacar es que cada una de las 5 actividades está representada en un renglón marcado con el número correspondiente de 1 a 5:

Tabla 1. Resumen de: actividades, evidencias y entendimientos duraderos de la SEA Pensemos Químicamente.

	A. Actividad	B. Evidencia	C. Entendimiento duradero
1	Exploración inicial: Prueba de Fehling. a) Evaluación diagnóstica.	E1) Cuestionario individual de preguntas abiertas.	Identificar y conocer que separar, detectar, identificar o cuantificar sustancias ayuda a sintetizar o transformar materiales.
	b) Observar video de Prueba de Fehling.		
	c) Discusión grupal y cuestionario de observación.	E2) Cuestionario individual de observación.	
	d) Trabajo en equipo para completar el escrito de definiciones de reacción química.	E3) Definición de reacción química por equipo.	
	e) Reto por equipo: proponer metodología para la detección de glucosa usando la prueba de Fehling.	E4) Propuesta experimental por equipo.	
	Actividad experimental: Prueba de Fehling. f) Llevar a cabo el experimento propuesto.		
	g) Cuestionario de preguntas abiertas con respecto al desarrollo experimental.	E5) Cuestionario individual de autoevaluación.	
	h) Elaboración de informe.	E6) Primer informe de práctica experimental.	
2	Conceptos nuevos. El hierro contra la		Reconocer que una

	anemia.		reacción química involucra la síntesis o transformación de materiales.
	1. Actividad introductoria.		
	2. Actividad guiada, simulación del programa: Sales y Solubilidad de la Universidad de Colorado.		
	3. Familiarización del programa, actividad por parejas.	E7) Cuestionario abierto por parejas.	
	4. Extrapolación de cómo se vería una reacción química en disolución acuosa.	E8) Cuestionario individual de conceptos nuevos.	
	5. Tarea: diseño experimental de síntesis de sulfato de hierro (II).	E9) Segunda propuesta experimental por equipo.	
3	Síntesis de sulfato de hierro (II).		Comprender que una reacción química ocurre porque las moléculas se están moviendo y cuando se golpean con energía suficiente los enlaces se rompen y los átomos se intercambian para formar nuevas moléculas.
	a) Llevar a cabo el experimento propuesto.		
	b) Cuestionario de preguntas abiertas con respecto al desarrollo experimental.	E10) Cuestionario individual de autoevaluación.	
	c) Elaboración de informe.	E11) Segundo informe de práctica experimental.	
	d) Tarea: mapa conceptual sobre tipos de anemia y suplementos de hierro.	E12) Aproximación intuitiva de mapa conceptual.	
4	Relación de conceptos. Mapa conceptual.	E13) Mapa conceptual.	Construcción de mapas conceptuales.
	1) Elabora un mapa conceptual, tan completo como puedas, sobre todo lo que aprendiste en el curso de estas actividades.		

	Algunas palabras clave pueden ser: reacción química, molécula, separar, detectar, cuantificar, identificar, sintetizar, transformar, etc.		
5	Comentarios finales: CTSA – Talidomida. a) Lectura grupal de artículo periodístico “Primera condena en España por las malformaciones de la talidomida”.		Análisis de un caso CTSA sencillo.
	b) Trabajo en equipo de descripción CTSA. Trabajo en equipo de una solución química al problema.	E14) Cuestionario abierto por equipo.	
	Comentarios finales: CTSA. c) Ensayo. Cada alumno elegirá un caso de derrame de la industria minera en México y, tras un análisis similar al hecho en clase de todos los aspectos CTSA del problema, propondrá una solución que podrá ser química o no.	E15) Escrito final.	

Por un lado, las columnas A, B y C de la Tabla 1 describen el diseño hacia atrás de Wiggins y McTighe (1998). La columna C muestra los *Entendimientos Duraderos*, la columna B muestra las evidencias que incluyen las *Herramientas de Evaluación* (E6, E11 y E15) y la columna A muestra las *Experiencias de Aprendizaje*.

En la columna C están los *Entendimientos Duraderos* que se establecieron en conjunción con dos ejes conceptuales presentados en el marco teórico de esta tesis.

- La definición de reacción química conforme a Gillespie (1997) en el contexto del plan de estudios del CCH (2016) en su asignatura de Química III y su Unidad 3.
- El PQ3-Haceres Químicos en el contexto del *Pensamiento Químico* (Talanquer y Pollard, 2010) y de los *Razonamientos Químicos* propuestos por Talanquer (2021) y esta tesis.

Es importante notar que el ED1 es un objetivo amplio para los estudiantes y que quedaría mejor descrito como sigue para propósitos del análisis y discusión de esta tesis:

ED1: La síntesis o transformación de materiales proviene de los Haceres Químicos en el laboratorio de química o de la industria química. Los Haceres Químicos pueden ser: separar, detectar, identificar o cuantificar sustancias.

La columna B corresponde con la segunda parte del diseño hacia atrás, *Herramientas de Evaluación*. La columna enlista las evidencias que se establecieron para sondear el progreso de los estudiantes en cada etapa de la SEA Pensemos Químicamente. De estas 15 evidencias destacan tres *Herramientas de Evaluación* (E6, E11 y E15). Se utilizan para analizar la presencia de lenguaje alusivo a los *Razonamientos Químicos*, incluido el PQ3-Haceres Químicos.

Por último, la columna A [tercera y última parte del diseño hacia atrás: *Experiencias de Aprendizaje*] enlista las actividades que se establecieron adoptando y adaptando instrumentos de instrucción y *Experiencias de Aprendizaje* que permitiesen a los estudiantes tener la oportunidad de hacer inferencias y generalizaciones propias. Las

actividades se eligieron con el fin de llevar a los estudiantes a la aplicación de su aprendizaje en una nueva situación para ellos que, también, es la culminación de *Pensemos Químicamente*, un análisis de un artículo periodístico con conceptos científicos complejos.

La secuencia de estas actividades procura seguir el camino que marca la espiral inquisitiva del *Pensamiento Químico* de Talanquer y Pollard (2010) que los autores utilizan como guía de todas las actividades de su propia progresión de aprendizaje.

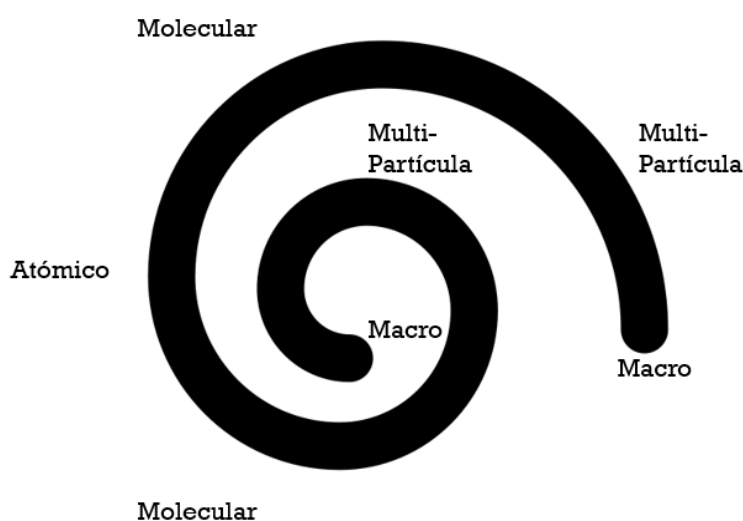


Figura 8. Espiral inquisitiva de Talanquer y Pollard (2010) que representa la forma de estudio de la naturaleza granular de la materia según el PQ.

Por otro lado, este espiral es una guía para el desarrollo conceptual y temático de las 5 actividades de *Pensemos Químicamente*, como se muestra a continuación:

1. Prueba de Fehling.
2. El hierro contra la anemia.
3. Síntesis de sulfato de hierro (II).
4. Relación de conceptos.
5. Comentarios finales: CTSA – Talidomida.

Estas actividades marcan una pauta a seguir a los estudiantes, pero conservan grados de libertad conforme se desarrolla la SEA, pues, se les presenta a los estudiantes con la temática y las instrucciones para que ellos la desarrollen.

La Actividad 1: Prueba de Fehling está dividida en dos partes (Anexo 1). La primera parte es un diagnóstico en forma de un cuestionario de preguntas abiertas y una evaluación en forma de un informe de laboratorio. Con este diagnóstico se busca sondear las definiciones de reacción química que tienen los estudiantes y que propongan, por equipo, un procedimiento experimental que utilice la reacción química Prueba de Fehling $[RCHO + 2Cu(C_4H_4O_6)_2^{2-} + 5OH^- \rightarrow RCOO^- + Cu_2O + 4C_4H_4O_6^{2-} + 3H_2O$ (Fehling, 1849) en un contexto relacionado a las ciencias de la salud. La segunda parte es realizar la propuesta experimental de cada equipo. La temática de la Prueba de Fehling viene de conocer a los estudiantes como se explicó en la subsección anterior. La culminación de esta primera parte de la SEA es la primera herramienta de evaluación: un primer informe de actividad experimental (E6).

La Actividad 2: El hierro contra la anemia y la Actividad 3: Síntesis de sulfato de hierro (II) están estrechamente ligadas (Anexo 1). La Actividad 2 es una intervención posterior al diagnóstico. En ella también se les presenta información nueva a los estudiantes en la misma temática de ciencias de la salud. En esta parte se les invita a los estudiantes a reflexionar sobre la naturaleza corpuscular de la materia y cómo se relaciona ello con la reacción química. La Actividad 3 es otra sesión experimental. En ella los estudiantes reflexionan de nuevo sobre la naturaleza corpuscular de la materia, la reacción química, y las implicaciones experimentales de dichos conceptos. Estas dos actividades culminan en la segunda *Herramienta de Evaluación*: un segundo informe de actividad experimental (E11). En éste se observarán diferencias con respecto al primer informe experimental y *Herramienta de Evaluación* (E6).

La Actividad 4: Relación de conceptos y la Actividad 5: Comentarios finales: CTSA – Talidomida, son de cierre de la SEA (Anexo 1). En la Actividad 4 los estudiantes deben hacer un mapa conceptual con el fin de que integren los conceptos que se introdujeron en las primeras tres actividades. Ésta funge como una evaluación formativa que permite sondear el avance de los estudiantes hasta este punto. Por último, la Actividad 5 invita a los estudiantes a redactar una reflexión con una estructura CTSA. Esto permite analizar, a modo de la tercera *Herramienta de Evaluación* (E15), si los estudiantes pueden integrar los conocimientos de la SEA en un contexto actual y real.

3.3. Herramientas de evaluación de Pensemos Químicamente

Pensemos Químicamente utiliza tres evaluaciones de escritura libre. Estas reflexiones proporcionan un espacio en donde los estudiantes pueden redactar libremente. El uso del lenguaje de estos escritos se analiza en la siguiente sección.

De las quince evidencias (E1-E15), se eligieron E6, E11 y E15 para evaluar el funcionamiento de la SEA Pensemos Químicamente en esta tesis porque son tareas de desempeño según el diseño hacia atrás. Piden a los estudiantes redacción libre en formatos conocidos para ellos [el informe de laboratorio], y uno nuevo [reflexión CTSA], para la determinación del aprendizaje. Conforme al diseño hacia atrás se denominan *Herramientas de Evaluación*.

En Pensemos Químicamente se propone que cada uno de estos estilos de evaluación estén incorporados de forma explícita en las herramientas de evaluación y las experiencias de aprendizaje, respectivamente. Como en las actividades a las que pertenecen la E6 y la E11.

En este trabajo de investigación se considera el contenido y los procesos de respuestas (Martínez y Sánchez, 2020) para la elaboración de las herramientas de evaluación de Pensemos Químicamente.

Por su parte, las *Herramientas de Evaluación* de Pensemos Químicamente están alineadas con sus *Entendimientos Duraderos*. Esto se desarrollará más adelante en la Tabla 2.

Esta tesis propone que la alineación de las experiencias de aprendizaje con las herramientas de evaluación y con los entendimientos duraderos estará dada en la medida en que se realimente oportunamente a los estudiantes sobre su propio

constructo proveniente de la evaluación de estrategias e instrumentos. La manera de realizar esto en Pensemos Químicamente es a través de instrumentos de evaluación.

En la Tabla 2 se presenta la selección de *Herramientas de Evaluación* de las que se desprenderá el análisis de resultados.

Tabla 2. Resumen de: *Herramientas de Evaluación* de la SEA Pensemos Químicamente.

	A. Actividad	B. Herramientas de Evaluación	C. Entendimiento duradero
1	Actividad experimental: Prueba de Fehling. h) Elaboración de informe.	E6) Primer informe de práctica experimental.	Identificar y conocer que separar, detectar, identificar o cuantificar sustancias ayuda a sintetizar o transformar materiales. ED1.
3	Síntesis de sulfato de hierro (II). c) Elaboración de informe.	E11) Segundo informe de práctica experimental.	Comprender que una reacción química ocurre porque las moléculas se están moviendo y cuando se golpean con energía suficiente los enlaces se rompen y los átomos se intercambian para formar nuevas moléculas. ED3.
5	Comentarios finales: CTSA.	E15) Escrito final.	Análisis de un caso CTSA sencillo. ED5.

4. Resultados: análisis y discusión

En esta sección se presentan dos ejes de análisis: sobre los *Pensamientos Químicos* (PQ1 – PQ5) y sobre los *Entendimientos Duraderos* (ED1 – ED5) de la Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje (SEA) *Pensemos Químicamente*.

4.1. Sobre los Pensamientos Químicos

Primero, como recordatorio, esta es una lista de los Pensamientos Químicos (PQ) descritos de forma sintética:

- PQ1-Identidades: la estructura de los átomos y/o iones de un material determina su identidad y sus propiedades.
- PQ2-Interacciones: las interacciones entre estructuras cambian las propiedades de los materiales o crea materiales nuevos.
- PQ3-Haceres Químicos: el estudio de las identidades e interacciones de los materiales ayuda a separarlos, detectarlos, identificarlos, cuantificarlos, sintetizarlos y transformarlos.
- PQ4-Predicciones Químicas: el estudio de las identidades e interacciones de los materiales permite provocar y controlar sus transformaciones.
- PQ5-Factores Químicos: identificar la estructura y el medio de un material permite sintetizarlo, transformarlo y predecir su reactividad.

Ahora bien, se analizó la redacción de los estudiantes de la siguiente manera: se contabilizó cada vez que la redacción de los estudiantes al completar las *Herramientas de Evaluación* (E6, E11 y E15) presentara una noción de alguno de los PQs. Se presenta un ejemplo en la Figura 9:



PQ2

Conclusiones

Al concluir el experimento de hacer la prueba de fehling al azúcar de mesa no dio resultado. La siguiente prueba fue hecha con glucosa y la prueba de fehling dio positivo.

PQ4

La sacarasa no dio resultado ya que la **Sacarasa es muy compleja** y necesita de más procesos para poder ser separada, sin embargo la glucosa, pudo ser fácilmente separada **por las uniones que esta presenta en su estructura**

PQ1

PQ5

El error que cometimos fue haber **juntado los ácidos con una base** y que de esta manera **no reaccionara positivamente.**

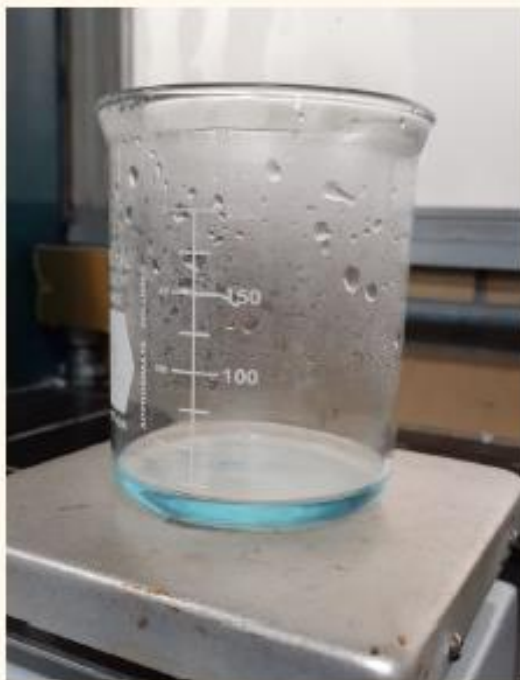
Figura 9. Captura de pantalla de la sección de Discusión de la primera *Herramienta de Evaluación* (E6) de la Mesa 5.

En este ejemplo representativo se tiene que: PQ1 busca identificar a la sacarasa con un calificativo, éste viene de la parte inicial de la Actividad 1 en donde se distinguen a

las azúcares simples de las complejas. PQ2 menciona justamente las interacciones o uniones de la estructura molecular de la sacarosa, que analizaron también los estudiantes en la parte inicial de la Actividad 1. PQ4 hace una predicción de una reacción de identificación de azúcares que no se llevará a cabo, Prueba de Fehling. PQ5 describe el medio ácido y/o básico como un factor que influye en una reacción química.

La redacción en equipo de la Mesa 5 que se presenta en la Figura 9 es representativa de lo que se esperaba ver como resultado de la SEA Pensemos Químicamente. Este fragmento de texto contiene varias nociones de Pensamiento Químico (PQ1, PQ2, PQ4 y PQ5). Se pueden interpretar como una mezcla de los conocimientos que tienen. Además, no se observa la mención de PQ3-Haceres Químicos que es parte de los objetivos principales de Pensemos Químicamente.

Un segundo ejemplo se muestra en la Figura 10. Es una captura de pantalla de una redacción que contiene los 5 PQs.



Resultado final

PQ3

PQ2

Discusión

PQ1

PQ5

PQ4

Tras el primer intento de la obtención de sulfato de hierro y seguir los pasos del experimento puedo concluir que la fibra utilizada no tenía el hierro que se requería o bien tenía algún esmalte que no le permitía liberarlo. Razón por la que se recomienda verificar que se utilice el material correcto.

Por otro lado hay que determinar el tiempo que dejaremos nuestra muestra al calor, debido a que si no te tiene claro está puede pasarse de tiempo como nos ocurrió y ocasionar que las partículas regresen a su estado inicial (teoría de colisión), esta fue nuestra conclusión al observar que la muestra perdió el color verdoso adquirido y regresó a azul, sin embargo una de nuestras hipótesis es que si dejásemos más tiempo a temperatura ambiente ocurra nuevamente la reacción.

Figura 10. Captura de pantalla de la sección de Discusión de la segunda *Herramienta de Evaluación* (E11) de la Mesa 2.

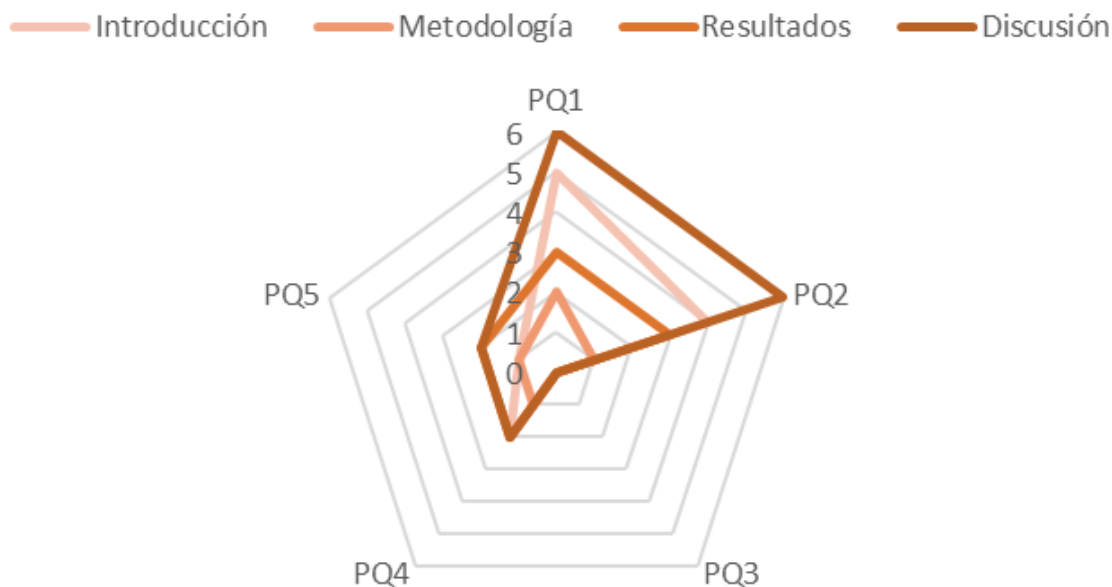
En este ejemplo representativo se tiene que: PQ1 describe que una fibra metálica no contiene hierro, esta descripción está ligada con la Actividad 2 en donde los estudiantes

analizan una simulación de iones disueltos como el Fe^{2+} o Fe^{3+} . PQ2 menciona que las partículas regresan de un estado actual a otro inicial con mención de la teoría de colisiones de Gillespie (1997) entre paréntesis. PQ3 es sobre la parte experimental química. PQ4 plantea una hipótesis experimental. PQ5 menciona al tiempo y a la temperatura como factores que influyen en una reacción química.

La redacción en equipo de la Mesa 2 que se presenta en la Figura 10 incorpora nociones de la Teoría de Colisiones con mención de los 5 PQ (PQ1, PQ2, PQ3, PQ4 y PQ5).

Una vez que se ha clarificado como se asocian las ideas redactadas al PQ se presenta el análisis de las tres evaluaciones acompañado de su gráfico correspondiente:

- a) Informe 1: Prueba de Fehling (E6). En la Gráfica 1 se presentan las frecuencias de menciones de PQ observadas en los informes redactados por los equipos de estudiantes.



Gráfica 1. Menciones de PQs de la primera *Herramienta de Evaluación* E6.

Existen dos aspectos notorios que se pueden observar en la Gráfica 1, que representa las menciones de PQs de la primera Herramienta de Evaluación (E6):

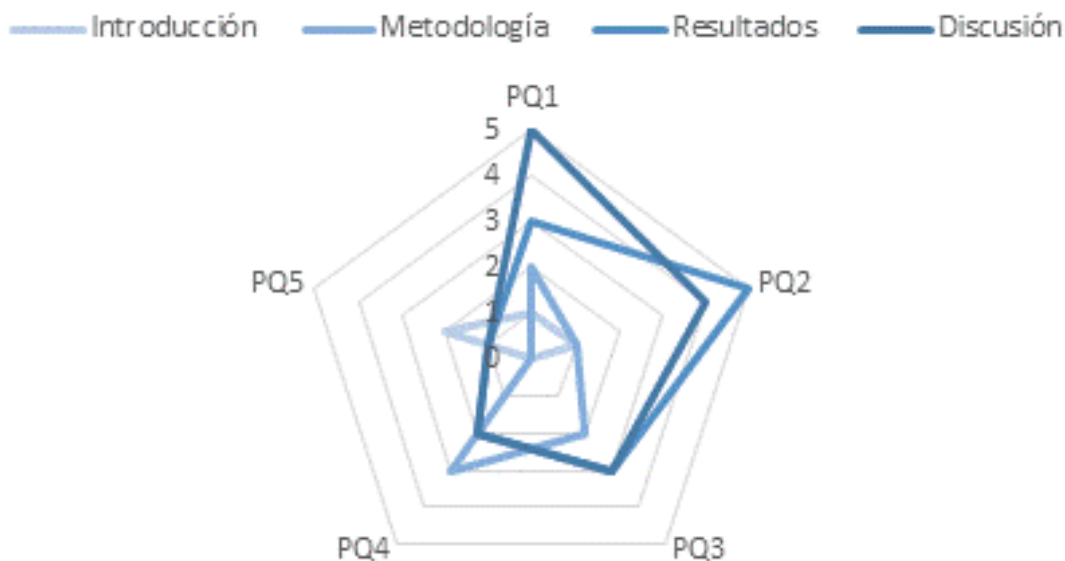
- Primero: los PQs predominantes son el PQ1 y el PQ2. En la Figura 11, que se presenta a continuación, resalta la última oración en donde los estudiantes hacen mención del PQ2-Interacciones: *“Si la reacción con el Fehling es positiva, la disolución adquirirá un color rojo ladrillo, pero si por el contrario no se torna en este color significa que el alimento no es rico en azúcares reductores”* [extracto de la Figura 11].

Por otra parte, en la prueba de fehling, necesitaremos 3 tubos de ensayo, en uno pondremos una muestra de plátano con agua destilada, en otro tartrato de sodio y potasio más hidróxido de sodio con agua destilada, en otro sulfato de cobre con agua destilada, mezclamos el tartrato de sodio y potasio más hidróxido de sodio más el sulfato de cobre. tendremos listo nuestro reactivo de fehling y ahora pasaremos a verterlo en el tubo de ensayo junto con la muestra de plátano, después lo ponemos a baño maría y esperaremos. Si la reacción con el fehling es positiva, la disolución adquirirá un color rojo ladrillo, pero si por el contrario no se torna en este color significa que el alimento no es rico en azúcares reductores.

Figura 11. Captura de pantalla de la sección de Metodología de la primera *Herramienta de Evaluación (E6)* de la Mesa 4.

- Segundo: no existe ninguna mención del PQ3-Haceres Químicos en el Informe de la Prueba de Fehling. Adicionalmente, en el extracto de la Figura 11, no hay una conexión explícita entre el Informe del trabajo experimental y ni con las identidades ni con las estructuras de los materiales que manipularon.

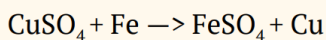
b) Informe 2: Síntesis de Sulfato de Hierro (II) (E11). En la Gráfica 2 se presentan las frecuencias de menciones de PQ observadas en los informes redactados por los equipos de estudiantes.



Gráfica 2. Menciones de PQs de la segunda *Herramienta de Evaluación* E11.

En la redacción de los equipos de estudiantes del Informe 2, la segunda Herramienta de Evaluación (E11), resalta el uso repetido del PQ1 y del PQ2 como se muestra en la Gráfica 2. Adicionalmente, tras llevar a cabo la Actividad 2 y la Actividad 3 de Pensemos Químicamente, se observan también inclusiones del PQ3-Haceres Químicos, objetivo de la SEA.

Finalmente a grandes rasgos podemos decir que en esta práctica se llevó a cabo una reacción de síntesis pues podemos observar que a partir del sulfato de cobre más hierro obtuvimos sulfato de hierro más cobre, reacción que se representaría de la siguiente manera:

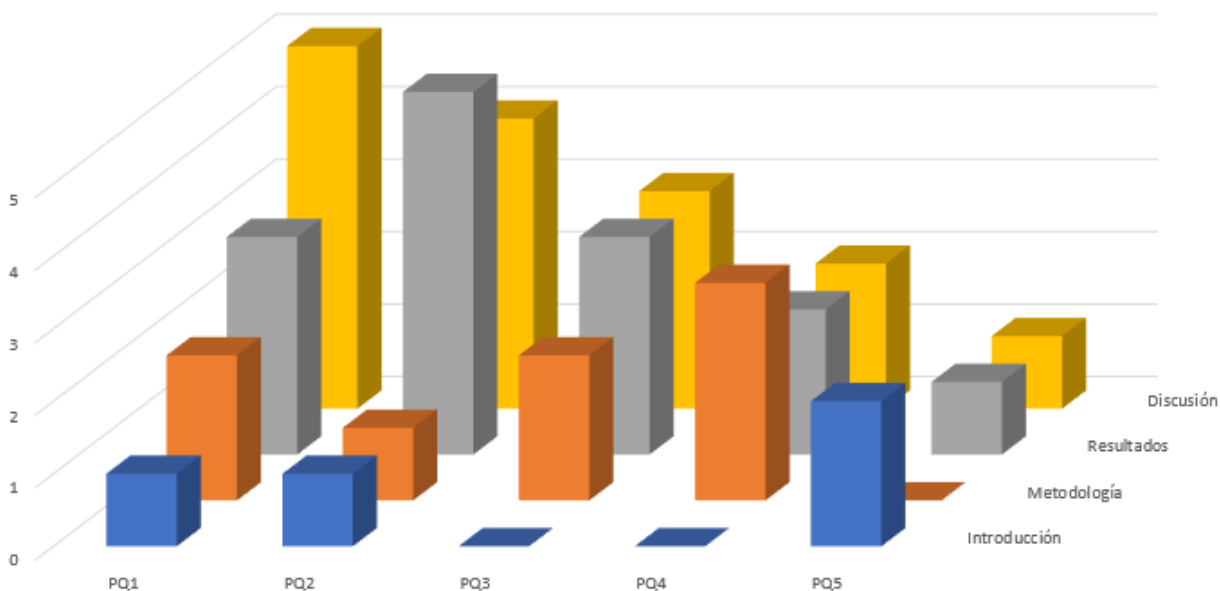


se llevó a cabo al calentar el sulfato de cobre con el clavo manera en que detectamos que este tenía hierro debido a que la sustancia comenzó a cambiar de tonalidad, ocurriendo una transformación pues si bien en lugar de sulfato de cobre teníamos sulfato de hierro y se observó que del clavo se separaba el cobre, sustancia rojiza.

Figura 12. Captura de pantalla de la sección de Discusión de la segunda *Herramienta de Evaluación* (E11) de la Mesa 2.

En la Figura 12 hay un extracto: “...se llevó a cabo una reacción [química] de síntesis pues podemos observar que a partir del sulfato de cobre más hierro obtuvimos sulfato de hierro más cobre, reacción que se representa de la siguiente manera: $CuSO_4 + Fe \rightarrow FeSO_4 + Cu$ ”. En éste se observan las primeras nociones de PQ3-Haceres Químicos. Tras expresar la reacción química los estudiantes vuelven al aspecto experimental del laboratorio: “...se llevó a cabo al calentar el sulfato de cobre con el clavo manera en que detectamos que este tenía hierro debido a que la sustancia comenzó a cambiar de tonalidad...”; mostrando una conexión entre el PQ3 y las identidades e interacciones de los materiales que manipulan.

Este Informe proporcionó información sobre el desarrollo de los 5 PQs en los estudiantes, por ello, se presenta a continuación la Gráfica 3 en la que se relaciona el nivel de desarrollo de los PQs con cada sección del informe.



Gráfica 3. Barras de Pensamientos Químicos (PQs) de la segunda *Herramienta de Evaluación* Informe 2: Síntesis de $FeSO_4$ (E11). En la sección de discusión, se observa un decremento de frecuencias de mención desde PQ1, que es el más mencionado, hacia PQ5, que es el menos mencionado, de los 5 PQ.

En la Gráfica 3 las barras azules corresponden a la Introducción del Informe 2, las barras naranjas a la sección de *metodología*, las barras grises a la sección de *resultados* y las barras amarillas a la *discusión*. Las secciones de *introducción* y *metodología* suelen ser poco representativas de la redacción de los estudiantes, pues, suelen contener resúmenes de la literatura y una lista de pasos y/o materiales y reactivos. Esto se puede observar en las pocas menciones, si acaso, de los PQs representadas por las barras azules y grises de la Gráfica 3.

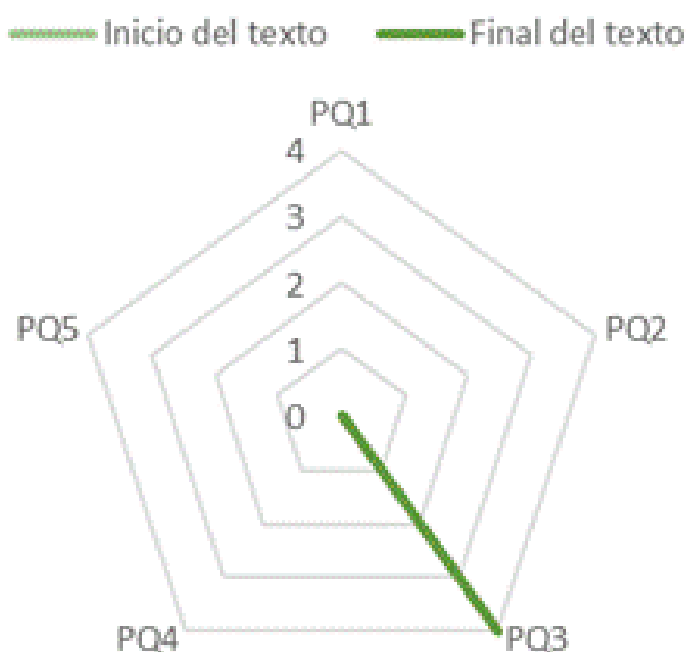
Es de resaltar las frecuencias de los PQs en el ámbito de la *discusión* [barras amarillas], primero porque muestran una presencia de los 5 PQs y, segundo, porque presentan una tendencia que disminuye las menciones de los PQs del 1 al 5. Se observa una tendencia similar en las barras grises de la Gráfica 3, sin embargo, ésta es distinta a las barras amarillas, cuya interpretación viene a continuación.

Se muestra en la Gráfica 3 que en la segunda *Herramienta de Evaluación* existen más menciones de PQ1 que de PQ2 y así sucesivamente a diferencia de las barras azules o naranjas. Este Gráfico proporciona los siguientes resultados sobre los PQs:

- PQ1 y PQ2 aparecen en los 4 apartados.
- El PQ1 es el más mencionado en la *discusión* y estas menciones decrecen hasta el PQ5, al igual que en las barras grises.
- Un número elevado en la frecuencia de un PQ implica que se desarrolló en los estudiantes. Lo que es congruente cuando el objetivo de aprendizaje es un PQ en particular. En esta actividad el PQ a desarrollar es el PQ3 por lo que es de esperarse que estos indicadores sean altos.
- La segunda Herramienta de Evaluación (E11) utiliza como escalón al PQ1 y al PQ2 para desarrollar al PQ3. Esta tesis ahonda en ello al final de esta sección.

- Sin embargo, se observa la aparición en altas frecuencias del PQ1 y del PQ2 y bajas frecuencias, pero no nulas del PQ4 y PQ5. Esto puede explicarse por la estructura del Pensamiento Químico, ya que al desarrollar alguno de los PQs en los aprendices, se desarrollará alguno de los otros. Dicho en otras palabras, al introducir a los estudiantes a al menos uno de los PQs, su reflexión lleva a conclusiones o menciones de algún otro PQ.

c) Escrito final: CTSA – Talidomida (E15). En la Gráfica 7 se presentan las frecuencias de menciones de PQ observadas en el escrito redactado por cada estudiante.



Gráfica 4. Menciones de PQs de la tercera *Herramienta de Evaluación* E15.

La última *Herramienta de Evaluación* es el escrito CTSA. Se muestra un extracto de un estudiante en la Figura 13. Cabe mencionar que se cambió de instrumento al final de la SEA *Pesemos Químicamente*. Las primeras dos *Herramientas de Evaluación* son

informes de laboratorio, mientras que la última es un escrito CTSA a modo de reflexiones finales.

Ciencia: La mayor parte de estos residuos mineros se consideraban tóxicos por los químicos que se llegaban a expandir o al juntarse con diferentes tipos de minerales, incluso llegaron a causar un colapso, quizá sus componentes fueron más fuertes que el material del que estaba hecho está represa. Cualquier actividad humana que implique trasladar grandes cantidades de roca, cianuro, ácido u otros reactivos peligrosos inevitablemente estará sujeta a que se produzca algún accidente. Se cumple con un proceso de oxidación de minerales sulfurosos, en especial la pirita que es el sulfuro de hierro. La oxidación de minerales sulfurosos puede producir condiciones ácidas que liberan los metales en los materiales de desmonte y en el agua.

Figura 13. Captura de pantalla de la parte inicial de la tercera herramienta de evaluación (E15) de la Mesa 1.

La redacción vista en la Figura 13 es representativa de lo que se esperaba ver como resultado de la SEA Pensemos Químicamente al final de ella. *“La oxidación de minerales sulfurosos puede producir condiciones ácidas que liberan los metales en los materiales de desmonte y en el agua”*. Este fragmento de texto muestra nociones de PQ3 en su explicación de las consecuencias macroscópicas y sobre Haceres Químicos con menciones de las Identidades e Interacciones de sus los componentes nanoscópicos de los materiales en cuestión. Esta explicación es congruente con el PQ3-Haceres Químicos.

Es importante notar que, desde siempre, los estudiantes de cualquier grado están en contacto con materiales de referencia que consultan que provienen de la red o de cualquier lugar. Sin embargo, de ser el caso, el mérito de los estudiantes es que lograron identificar correctamente la parte del material de referencia que consultaron para los objetivos solicitados de la SEA Pensemos Químicamente, pues, de otra manera no lo podrían haber asociado.

Esta última *Herramienta de Evaluación* es importante por varios motivos. Primero, porque es la culminación de la SEA cuyo *Entendimiento Duradero* principal es, precisamente, el PQ3-Haceres Químicos como se muestra en la Gráfica 4. Segundo, porque muestra un cambio con respecto a los resultados de la *Herramienta de Evaluación* anterior, pues, sería de esperarse que mostrase menciones de los 5 PQs. Mientras que las primeras dos *Herramientas de Evaluación* son informes de laboratorio de una práctica experimental realizada por los estudiantes, la última es una reflexión CTSA que funge como cierre de la SEA Pensemos Químicamente. Es decir, los resultados contrastantes entre la Gráfica 3 y la Gráfica 4 son de esperarse. Se rescata, adicionalmente, que no cualquier instrumento permite el análisis de las menciones de los 5 PQs.

Sobre los Pensamientos Químicos

A lo largo de la SEA Pensemos Químicamente, la presencia de ideas de cada PQ se fue movilizandando. La primera *Herramienta de Evaluación* tiene un marcado énfasis en los PQ 1 y 2. La segunda *Herramienta de Evaluación* tiene un marcado énfasis en los PQ 1, 2 y 3, y algunas apariciones del 4 y del 5.

La frecuencia de la aparición del lenguaje alusivo a los PQs puede permitir interpretar a la discusión de esta tesis que los 5 PQ son conocimientos acumulativos y entrelazados conceptualmente entre sí por sí mismos. Es decir, el Pensamiento Químico se aprende mejor si se toman en cuenta todos los aspectos del mismo. Para que un estudiante pueda desarrollar el PQ2 requiere, primero, desarrollar el PQ1; para que un estudiante pueda desarrollar el PQ3 requiere, primero, desarrollar el PQ1 y, segundo, el PQ2 y así sucesivamente. Esta posibilidad se puede interpretar de la Gráfica 3 en el conteo de la sección de *Discusión* de la segunda *Herramienta de Evaluación* (E11).

Además, como se mencionó en el marco teórico, Taber (2013) analiza que la cantidad de información que los profesionales de la química son capaces de sostener en

un hilo continuo en mente es mucho mayor que la de un niño o, a veces, que la de algunos docentes. Propone este trabajo de investigación, entonces, que el Pensamiento Químico es una herramienta docente que permite a los aprendices de la disciplina hilar ideas químicas, o mejor dicho pensamientos, de forma efectiva a través de la enseñanza consecutiva de los PQs.

4.2. Sobre los Entendimientos Duraderos de Pensemos Químicamente

Nuevamente, como recordatorio, esta es una lista reducida de los *Entendimientos Duraderos* (ED):

- ED1. Identificar y conocer que separar, detectar, identificar o cuantificar sustancias ayuda a sintetizar o transformar materiales.
- ED2. Reconocer que una reacción química involucra la síntesis o transformación de materiales.
- ED3. Comprender que una reacción química ocurre porque las moléculas se están moviendo y cuando se golpean con energía suficiente los enlaces se rompen y los átomos se intercambian para formar nuevas moléculas.
- ED4. Construcción de mapas conceptuales.
- ED5. Análisis de un caso CTSA sencillo.

En este trabajo, los *Entendimientos Duraderos* (EDs) están relacionados entre sí. Es decir que E6, E11 y E15 están direccionadas para potenciar alguno de los EDs. Se presenta un ejemplo del análisis del lenguaje, análogo al eje de discusión anterior, a continuación, en la Figura 14:

Objetivo: Separar la sacarosa (azúcar de mesa) con ayuda de Ac. Nítrico para posteriormente hacer la prueba de Fehling.

Materiales:

4 tubos de ensayo

2 vasos de precipitados de 250 ml

Agitador

Pesa electrónica

Sustancias:

Sacarosa

Agua destilada

Ácido Nítrico

Sulfato de cobre

Tartrato de potasio

Hidróxido de sodio

ED1

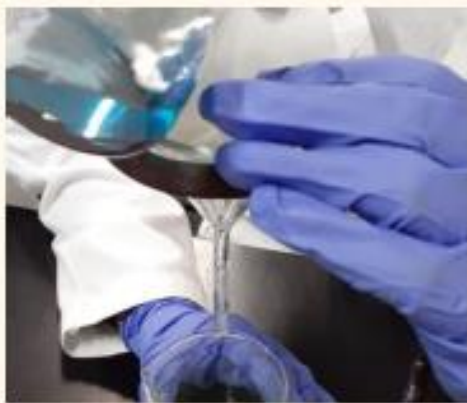
Figura 14. Captura de pantalla de la sección de Metodología de la primera *Herramienta de Evaluación* (E6) de la Mesa 5.

En este ejemplo representativo se tiene que: ED1 es una noción inicial que no involucra a la reacción química. Este fragmento de texto muestra en su objetivo la noción de separación del ED1.

1. Transformación

Al observar este color azul verdoso procedimos a filtrar con ayuda de el soporte y el papel filtro, para así obtener nuestro sulfato de hierro, tras filtrarse se colocó nuevamente al fuego para obtener una cristalización o bien se pudo haber dejado reposar, por último observamos diferencias entre nuestro testigo y la sustancia obtenida.

ED1



ED2

para cristalización

Filtración

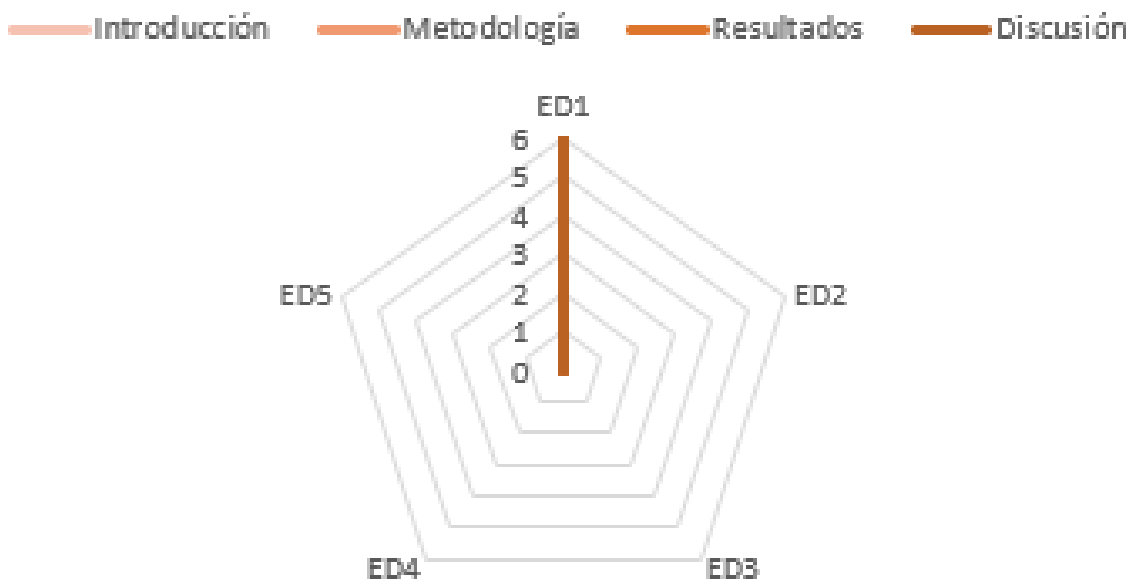
Se agregó calor

Figura 15. Captura de pantalla de la sección de Metodología de la segunda *Herramienta de Evaluación* (E11) de la Mesa 2.

En este ejemplo se tiene que: ED1 y ED2 son nociones incompletas cada, se verá la unión conceptual en la última *Herramienta de Evaluación*. Este fragmento de texto muestra nociones del ED1 y del ED2. Ambos Entendimientos Duraderos los han incluido los estudiantes en sus redacciones conforme las intervenciones de Pensemos Químicamente.

Una vez que se ha clarificado como se asocian las ideas redactadas a los EDs se presenta el análisis de las tres evaluaciones acompañado de su gráfico correspondiente:

a) Informe 1: Prueba de Fehling (E6). En la Gráfica 5 se presentan las frecuencias de menciones de ED observadas en los informes redactados por los equipos de estudiantes.



Gráfica 5. Menciones de EDs de la primera *Herramienta de Evaluación* E6.

El ED busca llevar a través de la SEA a los estudiantes a aprender la definición de reacción química de Gillespie (1997). A diferencia del análisis de los PQs, el ED1 no solo está presente en el trabajo de los estudiantes, sino que es el único presente. La Figura 16 muestra que los estudiantes tienen una noción del concepto de reacción química y cambio químico. Éstas son nociones iniciales o rudimentarias de la definición de reacción química de Gillespie (1997).

Conclusión

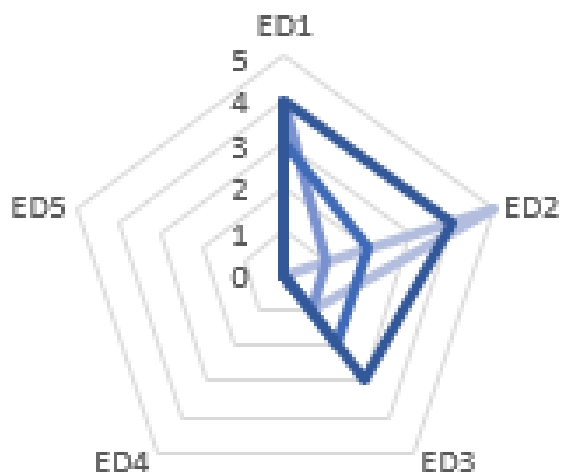
La primera prueba para la presencia de carbohidratos (almidón), es el resultado de la formación de cadenas de poliyoduro a partir de la reacción del almidón con el yodo presente en la solución de un reactivo llamado Lugol. La amilosa, el componente del almidón de cadena lineal, forma hélices donde se juntan las moléculas de yodo, formando un color azul oscuro a negro.

Se identificó mediante la reacción de fehling la azúcar, dándonos una reacción positiva a la glucosa, este azúcar es reductora, reflejado en el cambio de color de reacción ion mediante un precipitado de color rojo ladrillo, esto debido a que se produjo una oxidación.

Figura 16. Captura de pantalla de la sección de Discusión de la primera *Herramienta de Evaluación (E6)* de la Mesa 4.

Es notorio en la Figura 16 que: *“Se identificó mediante la reacción de Fehling la azúcar, dándonos una reacción positiva a la glucosa, este azúcar es reductora, reflejado en el cambio de color de reacción...”* los estudiantes identifican un cambio.

b) Informe 2: Síntesis de Sulfato de Hierro (II) (E11). En la Gráfica 6 se presentan las frecuencias de menciones de ED observadas en los informes redactados por los equipos de estudiantes.



Gráfica 6. Menciones de EDs de la segunda *Herramienta de Evaluación* E11.

El ED2 es un *Entendimiento Duradero* intermedio hacia la definición de reacción química de Gillespie (1997). Este ED intermedio es el más desarrollado por los estudiantes en la segunda *Herramienta de Evaluación*. La Figura 17 muestra, sobre todo en la última oración, la relación del ED1, ED2 y ED3.

Finalmente obtuvimos el cambio químico esperado, debido a la transformación ocurrida, de una sustancia se obtuvo otra distinta en este caso lo podemos expresar de la siguiente manera

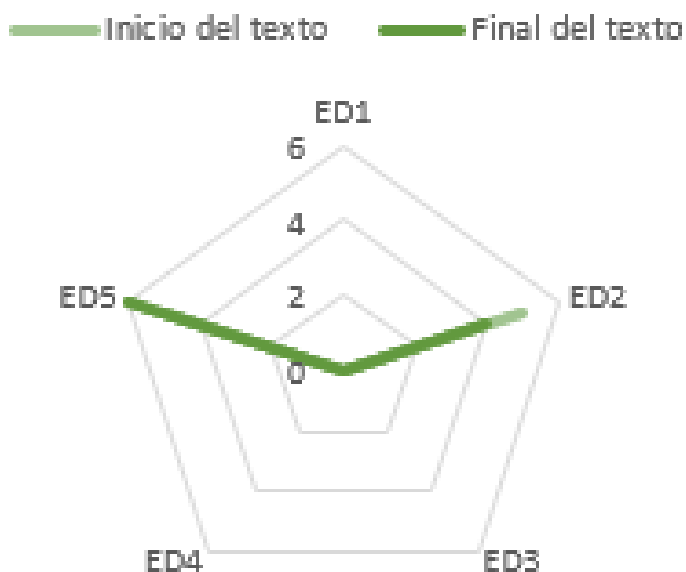
$$\text{CuSO}_4 + \text{Fe} \rightarrow \text{FeSO}_4 + \text{Cu}$$

Al hacer la práctica tuvimos contratiempos, pues el tiempo que pasamos calentando los clavos fue excesivo y es posible que el hierro que se “juntó” al sulfato haya vuelto al clavo. Con esto pudimos relacionar la actividad hecha en sala Telmex, pues al sumergir las sales se quedaban sedimentadas al fondo y con el movimiento de los átomos se desprendían y volvían a unirse.

Figura 17. Captura de pantalla de la sección de Discusión de la segunda *Herramienta de Evaluación* (E11) de la Mesa 2.

El extracto de la Figura 17 muestra al ED1, ED2 y ED3.

- c) Escrito final: CTSA – Talidomida (E15). En la Gráfica 7 se presentan las frecuencias de menciones de ED observadas en el escrito redactado por cada estudiante.



Gráfica 7. Menciones de EDs de la tercera *Herramienta de Evaluación* E15.

La redacción grupal vista en la Figura 18 es representativa de lo que se esperaba ver como resultado de la SEA Pensemos Químicamente al final de ella. Este fragmento de texto muestra lo que esta tesis llama “congruencia química”. Es decir, al inicio del texto éste comenta la producción de condiciones ácidas que luego retoma en la formación de ácido sulfúrico bajo condiciones similares, pero ahora proveniente de la oxidación de minerales. Los Entendimientos Duraderos 2 y 5 se observan en esta “congruencia química”.

Solución: Un tratamiento de suelo mejor planeado como poner en práctica el utilizar métodos químicos para estabilizar los metales en el suelo, volviéndolos menos móviles y biológicamente disponibles, incluso usar bactericidas que detengan el crecimiento bacterial que promueve la oxidación de la pirita y la consecuente formación de ácido sulfúrico.

Para evitar un colapso se podrían usar geo-membranas como barreras en la base de los botaderos o cubriendo zonas perturbadas. Inundar de forma permanente los materiales de desecho que contienen pirita para cortar la fuente de oxígeno, detener el desarrollo de condiciones ácidas y evitar la movilización de los metales.

Figura 18. Captura de pantalla de la parte final de la tercera *Herramienta de Evaluación* (E15) de la Mesa 1.

Como se observa en la Figura 18: “...incluso usar bactericidas que detengan el crecimiento bacterial que promueve la oxidación de la pirita y la consecuente formación de ácido sulfúrico.” se desarrolló el ED2 junto con el ED5, como era de esperarse en la etapa final de la SEA Pensemos Químicamente.

Sobre los Entendimientos Duraderos

La parte importante de los Entendimientos Duraderos es que permiten al docente sondear el desarrollo del tema de reacción química, específicamente la definición de Gillespie (1997), a través de la SEA con la temática de Pensamiento Químico. Sin embargo, como se analizó en la sección anterior, el cambio de tipo de *Herramienta de Evaluación* fue benéfico para el desarrollo del ED5, pero mantuvo las nociones de reacción química de los estudiantes en ED2. Es notorio que el desarrollo del ED3 sí se observó en la segunda *Herramienta de Evaluación* que, posiblemente, se habría desarrollado aún más en una tercera que fuese el mismo instrumento.

Adicionalmente, como estableció Talanquer (2021) el sondeo de los EDs muestra un uso inicial de distintos niveles de conocimiento de la materia: macroscópico (ED1 y ED2),

multipartícula (ED3), molecular (ED3), atómico (ED3) y electrónico (ED3). Estas entidades y procesos fueron sondeadas en los estudiantes a lo largo de la SEA Pensemos Químicamente. Como también establece Talanquer (2021), las diferencias en la proporción de las reacciones químicas las manejan los estudiantes a niveles macroscópicos (Actividad 5), multipartícula (Actividad 1) y colisiones de las partículas (Actividad 3).

Finalmente, las conclusiones de los estudiantes relacionan a la síntesis y a la transformación de los materiales con el PQ3 (ED1) y la reacción química (ED2). El PQ3- Haceres Químicos y la reacción Química según Gillespie (1997) son leyes y explicaciones alrededor de la síntesis y de la transformación de los materiales. A este respecto, coincide que Erduran y Scerri (2002) argumentan que la discusión de la explicación y de las leyes que utilizan los profesionales de la química en su labor sintética y transformativa de los materiales es benéfica para la enseñanza de la disciplina.

5. Reflexiones finales y consecuencias docentes

Se propone y aplica una Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje, Pensemos Químicamente, cuya temática principal es el PQ3-Haceres Químicos y la reacción química. La propuesta de esta SEA proviene de una amplia investigación educativa que culmina en su diseño. Se realizó una investigación incorporando la aplicación de esta SEA lo que permite generar las siguientes reflexiones y consecuencias docentes.

La pregunta: ¿los estudiantes se beneficiarían al aprender la reacción química a través de la implementación una SEA centrada en los Haceres Químicos acompañados de los contenidos disciplinares? puede responderse afirmativamente como se argumenta a continuación:

Primero, los estudiantes desarrollaron los Haceres Químicos en su uso del lenguaje y durante la práctica experimental. Por ejemplo, inicialmente la Mesa 3 escribe: "...además de que vimos que es muy importante no revolverlo [la disolución de Fehling más la muestra a analizar] para que se pudiera observar mejor" (E6, resultados); mientras que, tras la intervención de Pensemos Químicamente escribe: "...después colocamos papel filtro y vaciamos la sustancia [disolución resultante de la síntesis de sulfato de hierro (II)], esto sirvió para eliminar cualquier tipo de residuo que pudiera tener la sustancia" (E11, resultados). Aquí se observa una mejoría del lenguaje técnico en su redacción, así como el mejor manejo de los instrumentos del laboratorio asociados a ese lenguaje entorno a dos reacciones químicas diferentes.

A su vez, los estudiantes desarrollaron la aplicación del concepto de reacción química en su uso del lenguaje y durante la práctica experimental. Por ejemplo, inicialmente la Mesa 6 escribe: "...Tubo 3: se colocó glucosa y en seguida la prueba de Fehling, dando como resultado una reacción" (E6, resultados); mientras que, tras la

intervención de Pensemos Químicamente escribe: “...Dentro de la teoría de colisiones, dentro de la disolución había átomos de hierro disueltos, iones, en la cual en el clavo se pegaba un ión de cobre y salía un ión de hierro, dentro de su estructura y así sucesivamente” (E11, resultados). Aquí se observa una incorporación del lenguaje formal escrito del concepto de reacción química según Gillespie (1997) en la descripción de la reacción química llevada a cabo en el laboratorio.

Considerando el Pensamiento Químico y el contenido disciplinar, los estudiantes se ven beneficiados en el estudio de la química y en su vida diaria de la misma manera en que Ngai y Sevian (2017) aseveran que los supuestos, conocimientos y prácticas que los profesionales de la química utilizan permiten resolver preguntas de la vida diaria que los ciudadanos cuya última lección de química fue en el bachillerato se plantean.

Segundo, en el análisis de los resultados de la SEA se observa que los *Pensamientos Químicos* son mencionados por los estudiantes en sus evaluaciones aún sin que se incluyeran de forma directa en la enseñanza. De forma tal que, tras la introducción del PQ1 al grupo de estudiantes de trabajo, éstos mencionan más frecuentemente al PQ1, seguido del PQ2, del PQ3, del PQ4 y del PQ5. Tras la introducción del PQ2 esta frecuencia aumenta y así sucesivamente hasta el PQ3. Cabe destacar que Pensemos Químicamente no incluye en su enseñanza a los PQ4 ni PQ5. Por lo tanto, se hace notar que los resultados analizados y discutidos en esta tesis parecen apuntar que los 5 Pensamientos Químicos están entrelazados conceptualmente entre sí. Es decir, la culminación natural de la enseñanza de cualquier PQ es todos ellos; esto último debería confirmarse en un estudio posterior sobre el tema.

Se sugiere, entonces, que cualquier docente que desee incorporar al Pensamiento Químico a su enseñanza lo haga en orden de complejidad. Si se desea desarrollar en los estudiantes el PQ2, se debe desarrollar primero el PQ1; si se desea desarrollar en los

estudiantes el PQ3, se debe desarrollar primero el PQ1 y, segundo, el PQ2 y así sucesivamente. Es decir, los Pensamientos Químicos se logran en orden de complejidad.

Ahora bien, por un lado, el PQ3 se desarrolla en la SEA Pensemos Químicamente. Se muestra la inclusión paulatina del vocabulario propio del PQ3 en la redacción de los estudiantes en 3 momentos de la SEA:

1. Durante el diagnóstico (E6).
2. Después de la intervención (E11) en clases presenciales.
3. Al final de la SEA (E15).

Por otro lado, los estudiantes refinan su uso del lenguaje. Es decir, al inicio de la SEA los estudiantes incluyen los PQs que son intuitivos a su enseñanza previa (PQ1-Identities y PQ2-Interacciones). Después de la intervención hay inclusiones de los 5 PQs. Al final de la SEA solo hay inclusiones del PQ3-Haceres Químicos, objetivo de aprendizaje o, mejor dicho, entendimiento duradero de Pensemos Químicamente.

Adicionalmente, Chamizo (2013) propone que es indispensable para la enseñanza de la química al conjunto de acciones intencionales que llevan al diseño de las sustancias químicas, pues, *Haciendo* es la manera principal en la que los profesionales de la química conocen. El PQ3 no es más que, precisamente, el conjunto de acciones que los profesionales de la química *hacen* para sintetizar y transformar sustancias y materiales. Por ello, la SEA Pensemos Químicamente es una propuesta para llegar a este fin.

Por último, uno de los objetivos del Pensamiento Químico de Talanquer y Pollard (2010) es fomentar el aprendizaje de cómo piensan los profesionales de la química. La SEA Pensemos Químicamente cumple con este objetivo. Además, lo hace a través del tema más importante de la disciplina: reacción química.

Referencias de consulta

- Bensaude-Vincent, B. (2009). The chemists' style of thinking. *Ber. Wissenschaftsgesch.* 32(1). 365-378.
- Caamaño, A. (2013). Hacer unidades didácticas: una tarea fundamental en la planificación de las clases de ciencias. *Alambique.* 74(1). 5-11.
- Caamaño, A. (2018). Enseñar química en contexto: un recorrido por los proyectos de química en contexto desde la década de los 80 hasta la actualidad. *Educación Química.* 29 (1). 21-54.
- Chamizo, J. A. (2013). Technochemistry: one of the chemists' ways of knowing. *Found Chem.* 15(1). 157-170.
- Colegio de Ciencias y Humanidades (2016). Programas de estudio Área de ciencias experimentales Química III-IV. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Couso, D., Adúriz-Bravo, A. (2016). Capítulo 10. La enseñanza del diseño de unidades didácticas competenciales en la profesionalización del profesorado de ciencias. En *Conocimiento y emociones del profesorado. Contribuciones para su desarrollo e implicaciones didácticas.* Bogotá. Editorial Aula de Humanidades.
- Duschl, R., Maeng, S., Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: a review and analysis. *Studies in Science Education.* 47(2). 123-182.
- Erduran, S., Scerri, E. (2002). The nature of chemical knowledge and chemical education. *Chemical Education: Towards Research-based Practice.* Kluwer Academic Publishers. 7-27.

- Fensham, P. (2001). Science content as problematic – issues for research. En Research in science education – past, present and future. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 27-41.
- Fehling, H. (1849). Die quantitative Bestimmung von Zucker und Stärkmehl mittelst Kupfervitriol. Justus Liebigs Annalen der Chemie. 72(1). 106-113.
- Gillespie, R. J. (1997). The great ideas of chemistry. Journal of Chemical Education. 74(7). 862-864.
- Gillespie, R. J., Eaton, D. R., Humphreys, D. A. and Robinson, E. A. (1994). Atoms, molecules and reactions. An introduction to chemistry. Englewood Cliffs. NJ. USA: Prentice Hall.
- Kaberman, Z., Dori, Y. J., 2007. Question posing, inquiry, and modeling skills of chemistry students in the case-based computerized laboratory environment. International Journal of Science and Mathematics Education. 7(1). 597-625.
- Lijnse, P.-L. (1994). La recherche d'éveloppement: une voie vers une 'structure didactique' de la physique empiriquement fondée. Didaskalia. 3(1). 93-108.
- Lijnse, P.-L. (1995). 'Developmental Research' as a way to an empirically based 'Didactical Structure' of science. Science Education. 79(2). 189-199.
- Lijnse, P., Klaassen, K. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences? International Journal of Science Education. 26(1). 537-554.
- Lythcott, J. (1990). Problem solving and requisite knowledge of chemistry. J. Chem. Educ. 67(3). 248-252.
- López-Mota, A., Moreno-Arcuri, G. (2014). Sustentación teórica y descripción metodológica del proceso de obtención de criterios de diseño y validación para secuencias didácticas basadas en modelos: el caso del fenómeno de la fermentación. Bio-grafía – Escritos sobre la Biología y su Enseñanza. 7(13). 109-126.

- Méheut, M., Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. *Int. J. Sci. Educ.* 26(5). 515-535.
- Ngai, C., Sevian, H. (2017). Capturing chemical identity thinking. *J. Chem. Educ.* 94(1). 137-148.
- Sánchez M., M., Martínez G., A. (2020). Evaluación del y para el aprendizaje: instrumentos y estrategias. (1ª ed.). Ciudad de México: UNAM.
- Sevian, H., Talanquer, V. (2014). Rethinking chemistry: a learning progression on chemical thinking. *Chem. Educ. Res. Pract.* 15(1). 10-23.
- Sjöström, J. (2007). The discourse of chemistry (and beyond). *International Journal for Philosophy of Chemistry.* 13(2). 83-97.
- Taber, K., S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chem. Educ. Res. Pract.* 14(1). 156-158.
- Talanquer, V., Pollard, J. (2010). Let's teach how we think instead of what we know. *Chem. Educ. Res. Pract.* 11(1). 74-83.
- Talanquer, V. and Pollard, J. *Chemical Thinking Volume I.* 4th. University of Arizona.
- Talanquer, V. and Pollard, J. *Chemical Thinking Volume II.* 4th. University of Arizona.
- <https://sites.google.com/site/chemicalthinking/home?authuser=0> 8:00pm, 5 de mayo de 2022
- Talanquer, V. (2021). Multifaceted chemical thinking: a core competence. *J. Chem. Educ.* 98(1). 3450-3456.
- Wiggins, G., McTighe, J. (1998). *Understanding by design.* Upper Saddle River, NJ, USA. Merrill/Prentice Hall.

Anexo 1: SEA “Pensemos Químicamente”

NOTA: Las páginas siguientes se presentan tal cual se presentaron a los estudiantes. La excepción son las páginas con la leyenda **Hoja del profesor:** al inicio. Además, las hojas de los estudiantes estarán marcadas con la leyenda **Actividad X:**

Hoja del profesor:

Actividad 1: Prueba de Fehling. Exploración inicial.

Entendimiento duradero: nociones de separar, detectar, identificar y cuantificar.

Tiempos a realizarse en una o dos sesiones, a discreción del Profesor.

Instrucción	Tiempo	Materiales	Objetivo
a. Bienvenida	10 min	Cuestionarios foliados igual al número de estudiantes. Hoja 1 – Parte 1	Evidencias a recolectar al final de la sesión. El folio facilita la identificación de cada cuestionario.
b. Demostración experimental	10 min	Proyector y computadora o material de laboratorio para Prueba de Fehling.	Facilitar a los estudiantes que relacionen conocimientos previos con nuevos. Comentario histórico es un buen puente del cuestionario a la demostración.
c. Registro de observaciones	10 min	Hoja 1 – Parte 2	Opcionalmente, hacer preguntas a los estudiantes

s			tras la demostración como puente a la Parte 2.
d. Trabajo en equipo	10 min	Hoja 2 Pedir que pongan su folio de la Hoja 1 en la Hoja 2	Construcción de nuevos conocimientos.
e. Diseño experimental	10 min	ÚLTIMAS DOS INSTRUCCIONES A REALIZARSE EN UNA SESIÓN POSTERIOR, A DISCRECIÓN DEL PROFESOR.	Resolución de dudas. Recolección de evidencias.
f. Actividad Experimental	40 min	Materiales y reactivos que elijan los estudiantes. Media cartulina por cada equipo.	Actividad experimental. Comparación grupal de resultados.
g. Cierre	10 min	Hoja 3 Pedir que pongan su mismo folio en la Hoja 3.	Cierre y evaluación.

Instrucciones:

a. Bienvenida.

Breve introducción y entregar Hoja 1 a los estudiantes. La Parte 1 la deben contestar antes de la demostración experimental y la Parte 2 después. Preparar demostración experimental.

b. Demostración experimental.

Es recomendable hacer una pequeña discusión grupal de la Pregunta 3 como puente a un breve comentario histórico sobre la Prueba de Fehling.

Una vez contestada y discutida la Parte 1 realizar la demostración experimental.

c. Registro de observaciones.

Tras la demostración experimental preguntar al grupo:

¿Qué es lo que más les gustó de la demostración?

¿Se podría hacer esta demostración en clase?

Pedirles a los estudiantes que contesten la Parte 2.

d. Trabajo en equipo.

Integrar equipos de 3 o 4 personas y entregar a cada equipo la Hoja 2 – Parte 3.

Cada integrante de cada equipo deberá anotar su folio de la Hoja 1 en la Hoja 2.

Pedirles a los estudiantes que contesten la Parte 3.

e. Diseño experimental.

Sesión de dudas sobre sus diseños experimentales y recolectar todas las evidencias.

f. Actividad experimental.

Que los estudiantes lleven a cabo su experimentación diseñada.

Plantear preguntas que inviten a la reflexión durante la actividad experimental sobre la importancia de separar, detectar, identificar y cuantificar.

Proporcionarles media cartulina al terminar la actividad experimental para que comparen sus resultados entre equipos.

g. Cierre.

Entregarles individualmente la Hoja 3 y pedirles que contesten las preguntas.

Comentarios finales y recolectar todas las evidencias restantes.

Actividad 1: Prueba de Fehling.

Hoja 1 – Parte 1

Por favor responde las preguntas conforme se te lo solicite. En cada caso, justifica tus respuestas. Puedes hacer dibujos.

1. Comenta una reacción química que conozcas y explica qué ocurre.

2. ¿En tus propias palabras, qué es una reacción química? ¿Y un cambio químico?

3. ¿Sabías qué existe una prueba para detectar la glucosa? Explica lo que sepas de ella.

Actividad 1: Prueba de Fehling.

Hoja 1 – Parte 2

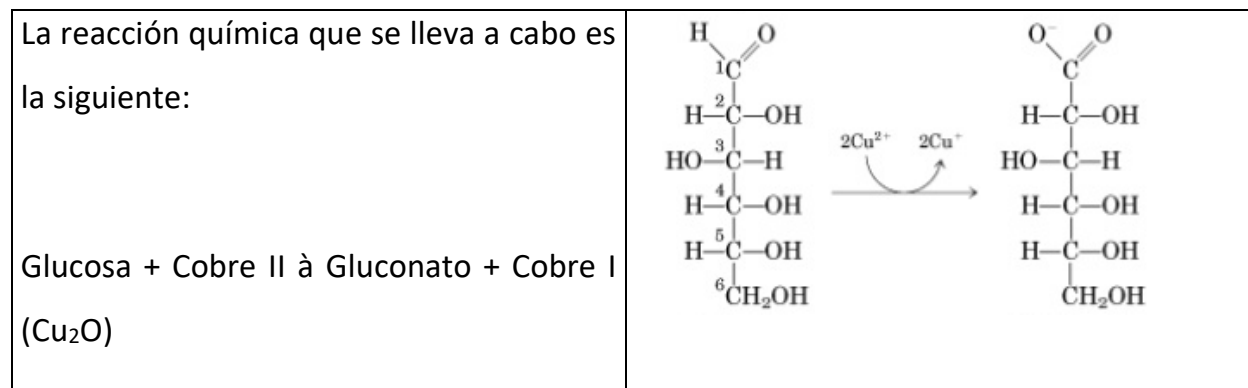
4. Registra tus observaciones en el cuadro siguiente:

Imagen antes y después de la Prueba de Fehling.	Observaciones	Explicación
Antes		
Después		

Comentarios: _____

Actividad 1: Prueba de Fehling.

Hoja 2 – Parte 3: Trabajo en equipo.



5. Por equipos, completen el siguiente cuadro:

Concepto	Consensen y coloquen una de sus definiciones de la Parte 1.	Construyan una nueva definición .
Reacción química		
Cambio químico		

Actividad 1: Prueba de Fehling.

Hoja 2 – Parte 3: Trabajo en equipo.

6. Ahora que conoces la reacción de Fehling es relevante que sepas que esta prueba detecta glucosa en disoluciones acuosas. Diseña un experimento para detectar glucosa usando la prueba de Fehling.



Comentarios: _____

Actividad 1: Prueba de Fehling.

Hoja 3 – Parte 4: Conclusiones de tu experimento.

7. En tu experimento, ¿lograste identificar la glucosa? Sí o no y ¿por qué?

8. ¿Qué factores crees que intervienen en la identificación de la glucosa?

Comentarios: _____

Hoja del profesor:

Actividad 2: El hierro contra la anemia. Conceptos nuevos.

Entendimiento duradero: reacción química. Las moléculas se están moviendo, cuando se golpean con violencia los enlaces se rompen y los átomos se intercambian. O una molécula que está vibrado con violencia puede romperse.

Sesión a realizarse en un laboratorio de cómputo o de modo que cada estudiante, o cada equipo, cuente con una computadora con acceso a internet.

Instrucción	Tiempo	Materiales	Objetivo
a. Bienvenida	10 min	Laboratorio de cómputo o computadora con internet para cada equipo.	Idealmente, organizar al grupo con cada estudiante en una computadora con acceso a internet.
b. Breve investigación	20 min	Hoja 1 – Parte 1	Facilitar a los estudiantes que relacionen conocimientos previos con nuevos. Preguntas guía recordándole a los estudiantes la Actividad 1.
c. Sales y Solubilidad	20 min	Programa Sales y Solubilidad ⁶	Que los estudiantes se familiaricen con el programa. Aclarar búsqueda e instalación. Preguntas guía.
d. Solubilidad	20 min	Hoja 1 – Parte 2	Solicitar a los estudiantes información disponible del uso del programa. Facilitar a los estudiantes el

			concepto de solubilidad.
e. Reacción química	20 min	Hoja 2	Facilitar a los estudiantes la oportunidad para reflexionar sobre el concepto de reacción química. Evidencia de evaluación.
f. Cierre	10 min	TAREA BATA PARA LA ACTIVIDAD 3.	Diseño experimental para la síntesis de sulfato de hierro (II).

Instrucciones:

a. Bienvenida.

Llevar a los estudiantes al laboratorio de cómputo.

b. Breve Investigación.

Entregar a los estudiantes la Hoja 1. Pedirles que respondan la Parte 1. Llevar la discusión grupal hacia la Actividad 1, en donde el azúcar está disuelta en la sangre. ¿El hierro? En la hemoglobina.

c. Sales y solubilidad.

Que los estudiantes busquen e instalen el programa Sales y Solubilidad de la Universidad de Colorado⁶: <https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/soluble-salts>. Plantear preguntas guía generales a modo de facilitar a los estudiantes el concepto de solubilidad.

d. Solubilidad.

Solicitar a los estudiantes que respondan la Parte 2 de la Hoja 1. Plantear preguntas guía generales a modo de facilitar a los estudiantes el concepto de reacción química. Recolectar Hoja 1.

e. Reacción química.

Entregar a los estudiantes la Hoja 2 y pedirles que la respondan.

Aclarar que el trabajo es individual. Recolectar Hoja 2.

f. Cierre.

Tarea: Diseño experimental para la síntesis de sulfato de hierro (II). ES NECESARIO TRAER BATA Y TODO LO NECESARIO PARA UNA SESIÓN EXPERIMENTAL CON TODAS LAS MEDIDAS DE SEGURIDAD NECESARIAS PARA ELLA. Se debe hacer énfasis que debe ser mejor que el de la Actividad 1. Dar detalles de lo que se requiere de él.

Actividad 2: El hierro contra la anemia.

Hoja 1 – Parte 1

Por favor responde las preguntas conforme se te lo solicite. En cada caso, justifica tus respuestas y cita tus referencias digitales. Puedes hacer dibujos.

1. ¿Qué es la anemia? ¿Qué tipos de anemia hay?

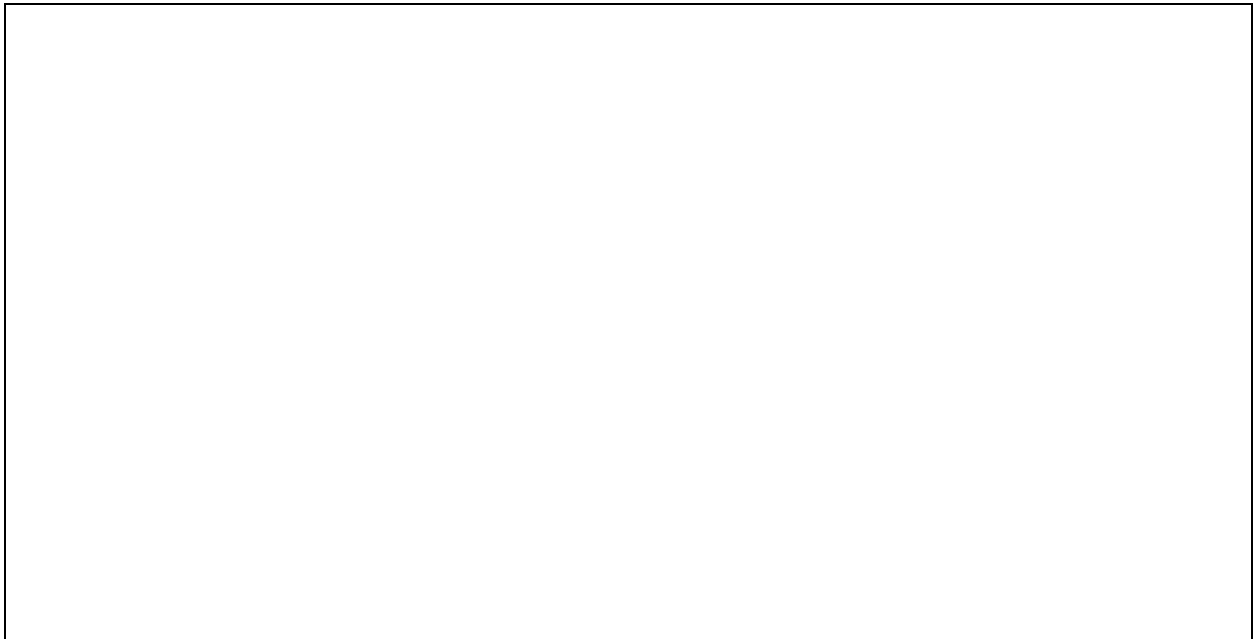
2. ¿Dónde se encuentra el hierro en el cuerpo humano?

3. ¿Qué son los suplementos de hierro?

Actividad 2: El hierro contra la anemia.

Hoja 1 – Parte 2

4. Trabajando por parejas y respondiendo individualmente, en el programa de Sales y Solubilidad de la Universidad de Colorado, en la pestaña de Sales Levemente Solubles, de las seis sales disponibles, ¿cuál es la sal más soluble y cuál es la sal menos soluble? Explica cómo llegaron a esta conclusión.



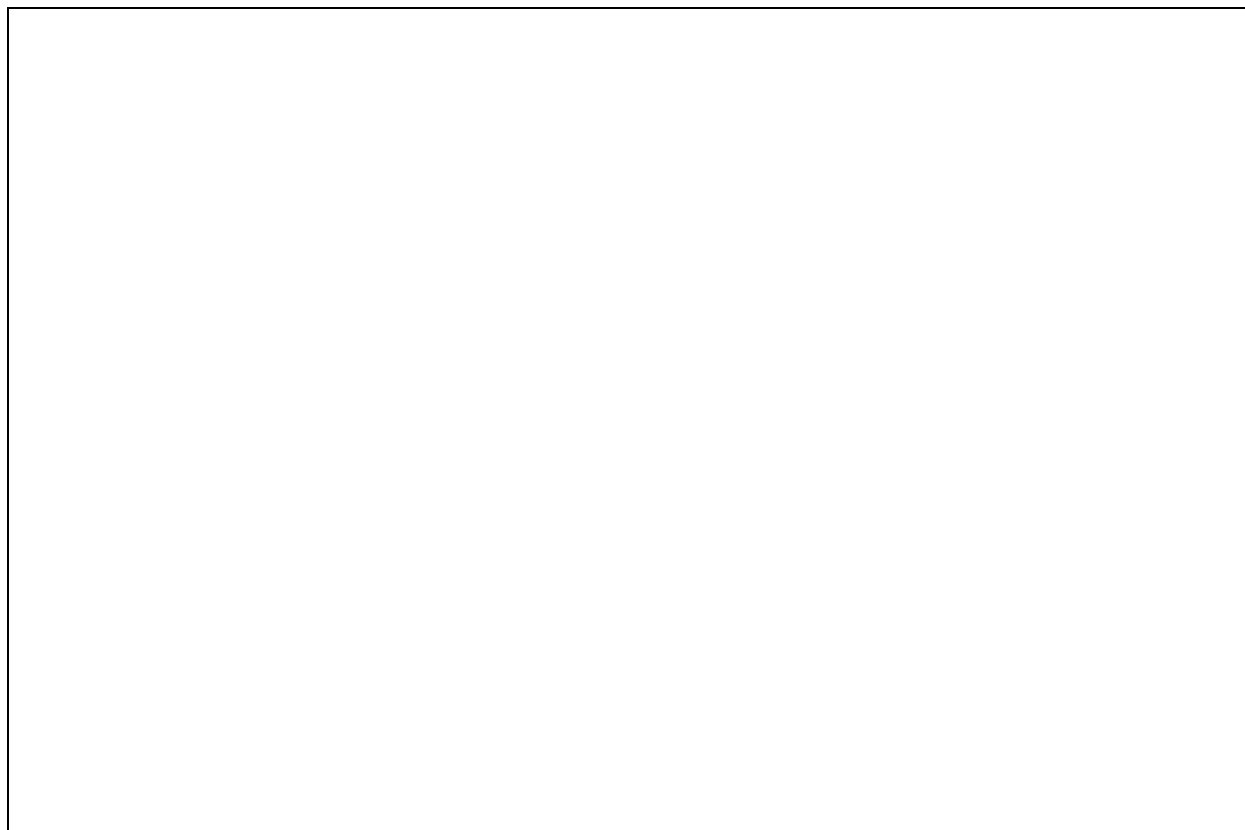
Comentarios: _____

Actividad 2: El hierro contra la anemia.

Hoja 2 – INDIVIDUAL

Por favor responde las preguntas conforme se te lo solicite. En cada caso, justifica tus respuestas y cita tus referencias digitales. Puedes hacer dibujos.

1. Pensando en lo que acabas de explorar en el programa de Sales y Solubilidad de la Universidad de Colorado, ¿cómo se vería una reacción química en disolución acuosa? Se te recomienda hacer dibujos.



Comentarios: _____

Hoja del profesor:

Actividad 3: Sulfato de hierro (II). Síntesis química y conceptual.

Entendimiento duradero: PQ3-Haceres Químicos – La exploración y el modelaje de cómo se relacionan las propiedades de las sustancias con su estructura, sus interacciones y las dinámicas de sus componentes nanoscópicos ayuda a diseñar métodos para separar, detectar, identificar y cuantificar las sustancias; y, también, procedimientos para sintetizarlas o transformarlas.

Sesión experimental a realizarse únicamente si el profesor ya dio visto bueno a todos los protocolos experimentales de los estudiantes de la Actividad 2.

Instrucción	Tiempo	Materiales	Objetivo
a. Actividad experimental	80 min	Los que hayan solicitado los estudiantes previamente al laboratorio de química.	Síntesis de cada equipo de sulfato de hierro (II). Preguntas guía hacia síntesis química y transformaciones químicas.
b. Discusión de resultados	20 min	Hoja 1	Reflexión individual y luego grupal hacia la mejor realización de un reporte de prácticas.
c. Cierre	10 min	Tarea: reporte de prácticas	Aclarar a los estudiantes los detalles de un reporte de prácticas tipo IMRD.

Instrucciones:

- Actividad experimental.

BATA Y SEGURIDAD SON INDISPENSABLES. Solicitar previamente al laboratorista todo el material y los reactivos necesarios conforme a los protocolos de los estudiantes de la Actividad 2. Guiar a los estudiantes hacia el entendimiento de síntesis y transformaciones químicas.

b. Discusión de resultados.

Entregar a los estudiantes la Hoja 1 y pedirles que la respondan. Luego, establecer una discusión grupal acerca de las semejanzas y diferencias entre una síntesis, una transformación y una reacción química. Recolectar Hoja 1.

c. Cierre.

Tarea: reporte de prácticas tipo IMRD. **Introducción debe contener temas Anemia, tipos de anemia, suplementos de hierro en forma de MAPA CONCEPTUAL.**

Actividad 3: Sulfato de hierro (II)

Por favor responde las preguntas conforme se te lo solicite. En cada caso, justifica tus respuestas. Puedes hacer dibujos.

1. ¿Qué es una síntesis química?

2. ¿Qué es una transformación química?

Comentarios: _____

Hoja del profesor:

Actividad 4: Mapas conceptuales. Evaluación.

Entendimiento duradero: construcción de mapas conceptuales.

Sesión de evaluación sumativa. Indispensable entrega de tarea, reporte tipo IMRD, de Actividad 3.

Instrucción	Tiempo	Materiales	Objetivo
a. Bienvenida	10 min	Tarea entregada.	Tema: anemia alimentará mapa conceptual grupal.
b. Mapa conceptual con el profesor	30 min	Pizarrón, borrador.	Introducir el concepto de mapa conceptual a los estudiantes.
c. Evaluación	50 min	Hoja 1	Evaluación sumativa conforme la nomenclatura de Díaz, Barriga (2002).

Instrucciones:

a. Bienvenida.

Retomar mapas conceptuales de los estudiantes de la Actividad 3.

b. Mapa conceptual con el profesor.

En conjunto con el grupo, construir un mapa conceptual sobre el tema anemia, tipos de anemia y suplementos de hierro. Entendida la nomenclatura y los puntajes, revelar que su evaluación sobre la práctica de la Actividad 3 será un mapa conceptual.

Tema: reacción química, separar, detectar, identificar y cuantificar, transformar, sintetizar, etc.

c. Evaluación.

Entregar y pedir que se resuelva la Hoja 1.
Recolectar Hoja 1.

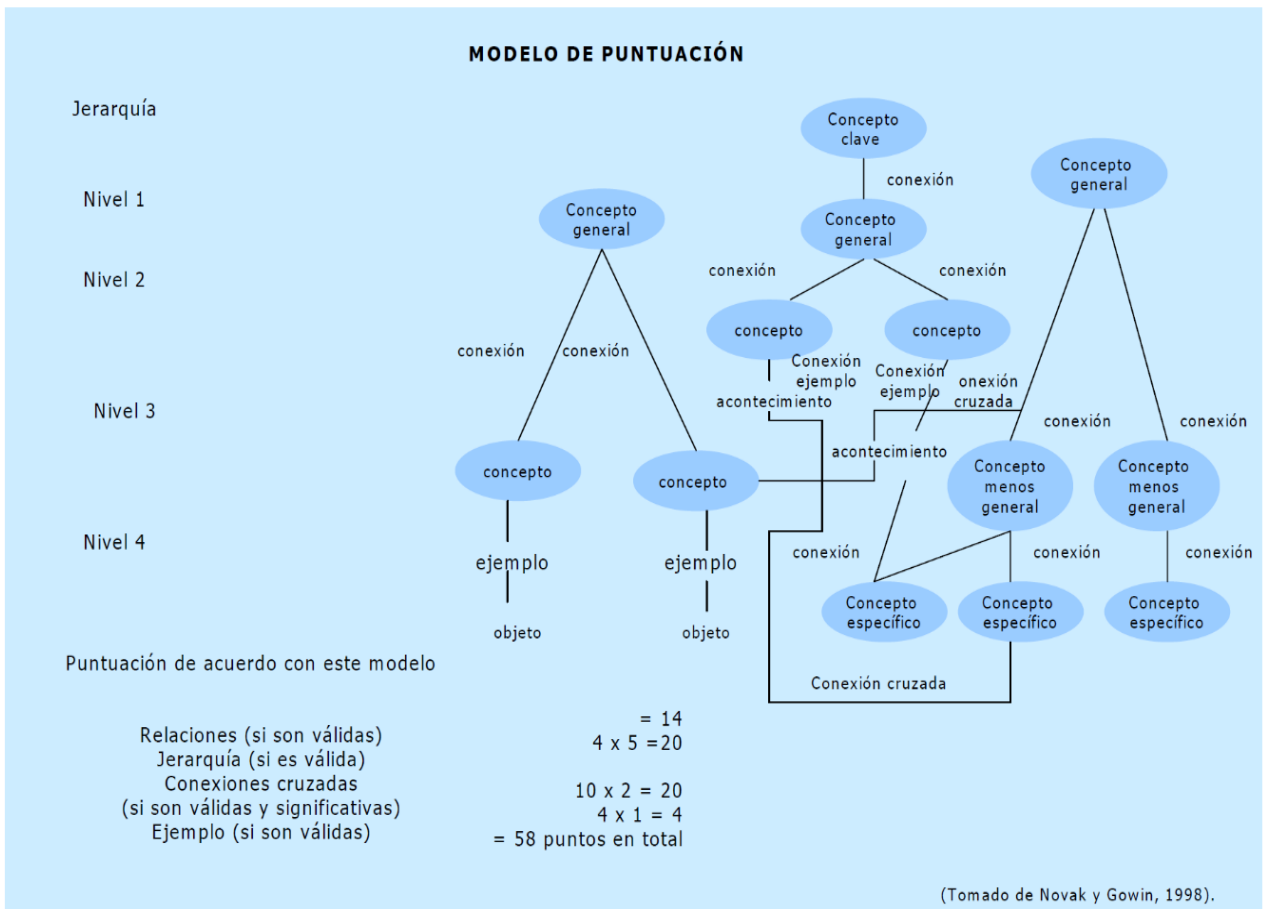


Figura 8.2 Modelo de puntuación de mapas conceptuales

Actividad 4: Mapa conceptual.

Por favor responde las preguntas conforme se te lo solicite. Puedes agregar tantos ejemplos como puedas.

1. Elabora un mapa conceptual, tan completo como puedas, sobre todo lo que aprendiste en el curso de estas actividades. Algunas palabras clave pueden ser: reacción química, molécula, separar, detectar, cuantificar, identificar, sintetizar, transformar, etc.

Hoja del profesor:

Actividad 5: CTSA – Talidomida. Comentarios finales.

Entendimiento duradero: Análisis de un caso CTSA, mal formaciones prenatales por talidomida, sencillo.

Sesión a terminar con última tarea: análisis de un caso CTSA – derrames de la industria minera en México.

Instrucción	Tiempo	Materiales	Objetivo
a. Bienvenida	10 min	Artículo periodístico	Que los estudiantes lean el artículo completo.
b. Talidomida	30 min	Hoja 1	Discusión grupal de las impresiones del artículo. Propuesta de soluciones por equipo.
c. Cierre	10 min	Tarea	Que cada estudiante elija un caso de derrame de la industria minera en México y que proponga una solución, química o no, al problema

Instrucciones:

a. Bienvenida.

Entregar a cada estudiante una copia del artículo periodístico anexo.

b. Talidomida.

Discusión grupal ordenada del artículo, el profesor enfocará la discusión hacia la

importancia de la química en cada aspecto del problema (CTSA).
Entregar Hoja 1. Por equipos, propondrán una solución al problema.

c. Cierre.

Cada estudiante elegirá un caso de derrame de la industria minera en México y, tras un análisis similar al hecho en clase de todos los aspectos CTSA del problema, propondrá una solución que podrá ser química o no.

Notas del profesor:

≡ EL PAÍS

SOCIEDAD



Una de las víctimas de la talidomida el pasado 14 de octubre. S. SÁNCHEZ

Primera condena en España por las malformaciones de la talidomida

Una juez obliga al laboratorio alemán Grünenthal a indemnizar a los afectados por el fármaco

La sentencia abre las puertas nuevas compensaciones en el futuro

Los afectados españoles de la talidomida, un fármaco contra las náuseas en el embarazo, consiguieron hace un mes sentar en el banquillo a Grünenthal, el laboratorio que patentó, fabricó y distribuyó el medicamento. Habían pasado más de 40 años desde la retirada del producto. La sentencia del caso, hecha pública este miércoles, estima la “actuación culposa” de la farmacéutica por no haber tomado las medidas necesarias para comprobar la seguridad del producto. Sin embargo, la juez limita a una veintena (Avite). Los afectados cobrarán, según la entidad, entre 660.000 y 1.980.000 euros, en función del grado de discapacidad reconocido (son 20.000 euros por cada punto porcentual, y van desde un 33% hasta el 99%).

El juzgado de Primera Instancia número 90 de Madrid concede el derecho de indemnización solo a quienes fueron en 2010 mediante un real decreto que fijó una serie de ayudas económicas, y a quienes puedan acogerse a esta medida en el futuro. Y excluye a aquellos que reciban fondos de la fundación Contergan, una entidad que el laboratorio alemán puso en marcha para canalizar las ayudas que acordó con los afectados alemanes en 1970. Según los cálculos de Avite, los beneficiarios serían 24.

Pese a estas restricciones, los afectados mostraron su alegría. “Es una sentencia histórica”, manifestó José Riquelme, presidente de Avite en la rueda de prensa que ofreció en Madrid tras conocer el pronunciamiento judicial, según recoge Efe. “[Pese a que] son 24 personas las que recibirán la compensación” el resto “podrá aprovecharse” de la sentencia “en cuanto sean reconocidos como afectados”. Por ello, Riquelme considera que el fallo abre la puerta a futuras indemnizaciones.

El laboratorio, en una nota de prensa, sostuvo que las condiciones que establece la juez reducen la cifra de los beneficiarios a menos de 20 personas, aunque no ha ofrecido una cifra exacta. Tampoco adelantó si piensa recurrir un fallo cuyos argumentos señala no compartir.

La talidomida se comenzó a distribuir de forma masiva a partir del año 1957 como un tranquilizante que era administrado también como calmante de las náuseas del embarazo. Se vendió en más de 50 países con más de 80 nombres comerciales. Avite calcula que en España pudieron nacer entre 2.000 y 3.000 personas afectadas, la mayoría de las cuales habrían fallecido. El fármaco fue prohibido por una orden ministerial en 1962.

En el fallo, la juez da la razón a los demandantes salvo a la hora de circunscribir el ámbito de aplicación de las ayudas. Para acceder a ellas debe acreditarse la relación de causa efecto entre el consumo del fármaco y las malformaciones. Y ello, según la sentencia, solo queda claramente acreditado en las personas amparadas por el real decreto de 2010 ya que esta norma —además de establecer límites, como haber nacido entre 1960 y 1965— exige que el diagnóstico de la afectación lo acredite el Instituto de Salud Carlos III.

Por ello, se rechaza “un fallo condenatorio abierto e indeterminado” en lo que se refiere a los beneficiarios, más allá de las condiciones fijadas por la juez. Por ejemplo, se quedan fuera quienes pudieran ver reconocida su condición de afectados mediante resolución administrativa o por sentencia firme, como aspiraba Avite.

Por lo demás, el fallo tumba uno a uno los principales argumentos planteados por Grünenthal en el juicio.

Quizás sea en la atribución de responsabilidad y de culpa a la farmacéutica donde la sentencia es más taxativa. La juez rechaza la tesis del laboratorio de

que en el desarrollo del medicamento procedió de acuerdo a los estándares de experimentación del momento y que los efectos que produjo no eran previsibles “bajo los conocimientos científicos” de la época. “Es completamente obvio que si se puso en el mercado un medicamento que ocasionó en su consumo las graves y lamentables consecuencias antes descritas [en referencia a las malformaciones] fue porque no se adoptaron todas las prevenciones exigibles para evitarlas o porque las adoptadas, fueron manifiestamente inadecuadas e insuficientes”, refleja el fallo. Y sigue: “El resultado dañoso evidencia que la experimentación no fue suficiente, adecuada ni acertada, cuando la exigencia en el campo comercial en el que nos encontramos ha de ser, por motivos obvios, la máxima posible”.

Además, señala que “la actuación culposa” en la fabricación de los medicamentos “es extensible” a la distribución, en manos de una filial, que, una vez suspendido el producto, optó por no comunicar a los médicos el motivo de la retirada del fármaco “lo que contribuyó a agravar la incidencia de la distribución y el consumo de los productos en España”.

Tampoco observa la juez motivos para considerar los hechos prescritos, como argumentó Grünenthal. El laboratorio sostuvo que las consecuencias de la talidomida se limitan a las malformaciones de los bebés, unos “daños permanentes que quedaron consolidados en el momento del nacimiento”.

El fallo, sin embargo, expone que como no se tiene un “conocimiento cierto, cabal, seguro, exacto y absolutamente definitivo sobre el alcance de las lesiones y secuelas producidas por la talidomida”, el plazo de exigencia de responsabilidades sigue vivo.

La juez también rechaza que Grünenthal Pharma SA, la empresa filial en España del grupo, sea una mera distribuidora del medicamento sin más

responsabilidad. “Por su condición de filial (...) asume frente al usuario la responsabilidad de la bondad de los productos que distribuyó, pues constituye frente a aquel el último eslabón de la cadena de fabricación, promoción y distribución para el consumo de los medicamentos desarrollados por la matriz”.

MEDIO SIGLO PARA JUZGAR LOS DAÑOS

El principio. 1957. El laboratorio alemán Grünenthal patentó la talidomida en 1955. Dos años después, en 1957, comenzó a comercializarse como un tranquilizante, pero, además, fuera de prospecto, también se usó para tratar las náuseas de las embarazadas. Se vendió en numerosos países, incluido España.

La alarma. 1959. Los especialistas Claus Knapp y Widukind Lenz, de la Clínica Universitaria de Hamburgo, empezaron a investigar las malformaciones que, a partir de 1959, comenzaron a ver en recién nacidos. Poco a poco, todo empezó a apuntar a la talidomida como culpable de que los bebés nacieran, en algunos casos, sin brazos ni piernas. Publicaron los resultados de su investigación en 1962. En el mundo nacieron unos 50.000 niños afectados, de los que quedan con vida entre 10.000 y 15.000.

La retirada. 1961. Poco antes de ese artículo, las sospechas ya estaban muy extendidas y en diciembre de 1961 se empieza a retirar el fármaco en Alemania. En España, la orden de retirada no llegó hasta 1962, y aún después se siguió consumiendo. El gigante farmacéutico acordó en 1971 indemnizar a los afectados alemanes.

El reconocimiento en España. 2010. Después de varios años de lucha, La Asociación de Víctimas de la Talidomida en España (Avite) consigue que el Instituto de Salud Carlos III acredite su situación y, en 2010, que el Gobierno español lo reconozca, paso previo ineludible para poder llevar a la farmacéutica a los tribunales.

El juicio. 2011. Avite demandó a la compañía a finales de 2011 por las “gravísimas malformaciones congénitas”. La compañía se defendió asegurando que los efectos adversos han prescrito y que no está demostrada la culpabilidad del laboratorio. El juzgado madrileño ha dicho dos años después que Grünenthal tuvo una “actuación culposa”.

Actividad 5: Talidomida.

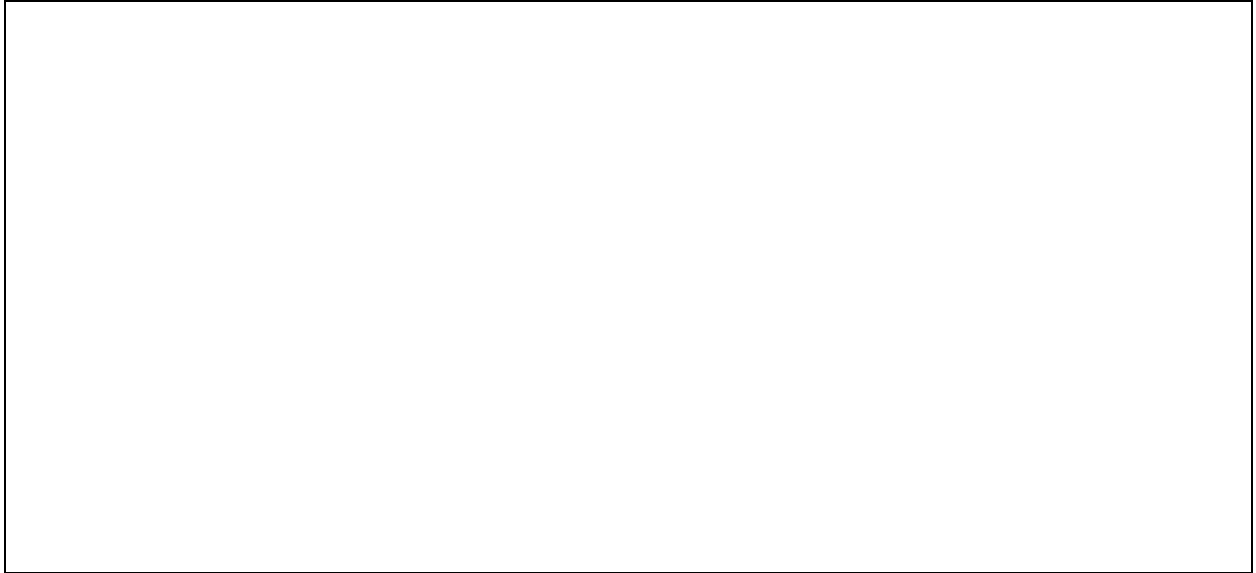
Trabajo en equipo

Por favor responde las preguntas conforme se te lo solicite. En cada caso, justifica tus respuestas. Puedes hacer dibujos.

1. Describan los aspectos del problema.

Ciencia	
Tecnología	
Sociedad	
Ambiente	

2. Propongan una solución al problema. Esta solución puede ser química.



Comentarios: _____