

# Catálisis heterogénea: ¿piedra filosofal del siglo XXI? Propuesta de secuencia de enseñanza y aprendizaje sobre catálisis heterogénea incorporando la naturaleza de la ciencia

**Vicente Rodríguez Arias**

Universidad de Concepción, Concepción  
nivicenterodriguez@gmail.com

## Resumen

La presente investigación, tuvo por objetivo evaluar el aporte educativo de integrar la Naturaleza de la Ciencia en la enseñanza y el aprendizaje de la catálisis heterogénea a nivel escolar, a través de una Secuencia Didáctica. Se realizó una revisión bibliográfica de concepciones alternativas y un análisis de contenido en textos escolares sobre el tema. Las actividades fueron diseñadas según el currículum nacional vigente, la investigación educativa sobre el tema y basándose en un ciclo didáctico constructivista. La implementación fue realizada en 7 sesiones que incluyeron las etapas de exploración, introducción, estructuración y aplicación. La investigación tuvo un diseño cuasi-experimental donde se analizaron los resultados de aprendizaje a partir de los productos elaborados por los(as) estudiantes participantes. Se aplicaron cuestionarios, evaluaciones formativas, entrevistas y registros de las sesiones, los que fueron analizados y discutidos. Los resultados afirman que la SEA implementada permitió al curso progresar en su nivel inicial *insuficiente* de conocimiento y comprensión sobre la catálisis heterogénea hacia uno *adecuado* o *elemental*, promoviendo la participación en reflexionar, discutir y analizar los temas abordados. Se superaron diversas concepciones alternativas sobre catálisis, sus conceptos fundamentales y aplicaciones relevantes, persistiendo dificultades relacionadas con habilidades de modelización y estudio de gráficos. El diseño e implementación de la SEA fue positivamente evaluada por el curso participante. Los resultados apoyan la idea de incorporar aspectos de NdC en actividades explícitas de reflexión, discusión y argumentación estrechamente ligadas al contenido científico, como promoción de una alfabetización científica y tecnológica desde la química.

**Palabras clave:** Secuencia de Enseñanza Aprendizaje, Catálisis Heterogénea, Cinética Química, Naturaleza de la Ciencia.

## Introducción

La enseñanza y el aprendizaje de la química son aspectos didácticos complejos de abordar, debido a factores diversos como, por ejemplo, la relación que establece esta disciplina entre hechos del mundo macroscópico (experiencia o experimentación) con sus interpretaciones y explicaciones a nivel microscópico (entidades o partículas y sus interacciones) (Izquierdo, 2004; Ordenes, Arellano, Jara, y Merino, 2014). Los estudiantes deben incorporar un lenguaje diferente al cotidiano dentro de un contexto de palabras, conceptos y discursos que entran en conflicto con sus ideas, creencias, intereses y explicaciones sobre hechos cotidianos social, científica, tecnológica, industrial y medioambientalmente relevantes, como la

Catálisis Heterogénea (Armor, 2011). Este proceso muchas veces proporciona una imagen o recuerdo de la química como una ciencia lejana, difícil de entender, desvinculada de lo cotidiano e incluso incomprensible (Jara, 2012). Estas concepciones alternativas son el principal obstáculo para su comprensión, aplicación e integración como explicación a las problemáticas que enfrenta a diario, más que a los desafíos conceptuales y teóricos revisados comúnmente en las clases de ciencia escolar (Caamaño, Mayos y Maestre, 1983; Merino y Herrero, 2007).

Atendiendo a esta situación, los contenidos escolares han experimentado actualizaciones en su diseño, la estructura de sus temas y objetivos de aprendizaje según los enfoques didácticos y psicológicos recientes (MINEDUC, 2016). Los textos escolares, recursos didácticos más utilizados en las aulas, han incorporado progresivamente estas actualizaciones, razón por la cual conviene analizarlos con el objetivo de evaluar la función didáctica de su contenido (Bravo, 1989; Otero y Greca, 2004; Pereira y González, 2011; Perez de Eulate, Llorente, y Andrieu, 1999), comprendiendo su rol articulador en la tarea educativa formativa (Prendes, 2001) e importancia como instrumentos de equidad y enriquecimiento cultural para las familias en sectores de mayor vulnerabilidad socioeconómica (MINEDUC, 2008). Un aspecto débilmente modificado es la promoción de un modelo o imagen de ciencia que se aleja de su epistemología o naturaleza (NdC), lo que significa una concepción equivocada de la actividad científica, sus propósitos, métodos, principios e impactos (Acevedo, 2008). Esta situación dificulta la comprensión de aspectos esenciales del estudio de las ciencias naturales basados en la alfabetización científica o educación en ciencias para todos (Cofré, 2012).

En relación con el tema de Catálisis, es poco considerada su relevancia en los progresos en la industria química en el siglo XX (Fechete, Wang y Védrine, 2012). No se menciona el incremento en la productividad al aumentar la rapidez y selectividad de las reacciones, evitando la formación de subproductos y desechos al reutilizarse, con lo que contribuye al cuidado del medioambiente según la “Química Verde” (Anastas y Warner, 1998). Su estudio integra aspectos teórico-experimentales, termodinámicos, cinéticos y estequiométricos fundamentales de una reacción, junto con la historia y aplicaciones de la química. Siendo un objetivo de aprendizaje clave en los programas de estudio (MINEDUC. Unidad de Currículum y Evaluación, 2015), poca atención y detalle se le entrega a nivel escolar al reducirlo a un factor más que modifica la rapidez de una reacción por su efecto en la Energía de Activación, desaprovechando su potencial educativo en comprender, por ejemplo, cómo ocurre una reacción o su mecanismo, las cualidades del estado sólido y técnicas analíticas avanzadas usadas en la actualidad (Blanco y Linarte, 1976).

Integrando estos grandes desafíos de la didáctica de la química, el presente trabajo tiene como objetivos diseñar, validar, aplicar y evaluar una secuencia de enseñanza aprendizaje para el desarrollo de los aspectos fundamentales de la catálisis heterogénea a nivel escolar secundario, considerando:

- a) concepciones alternativas sobre Catálisis Heterogénea,
- b) análisis de contenido de textos escolares en Catálisis Heterogénea,
- c) aspectos de la naturaleza de la ciencia (NdC), y

- d) ciclo de aprendizaje constructivista, cuyas fases corresponde a: exploración, introducción de nuevos conceptos, sistematización o estructuración y aplicación.

### Marco de referencia

#### Concepciones sobre Catálisis Heterogénea

En el proceso de enseñanza-aprendizaje los estudiantes manifiestan razonamientos y explicaciones que difieren de las construidas por la ciencia, consideradas como mecanismos por los cuales los alumnos conceptualizan un fenómeno natural estudiado. Mucho se ha investigado acerca de las ideas de los estudiantes sobre fenómenos y procesos que estudian las ciencias naturales, caracterizándolas en las diversas áreas y analizando su evolución o resistencia al cambio. Algunas cualidades, (Leymonié Sáenz, 2009; Pozo y Carretero, 1987) corresponden a:

- Surgen sin la necesidad de una instrucción mediadora, siendo intuitivas o ingenuas y con gran poder predictivo en la cotidianidad;
- Son, en general, implícitas, persistentes, científicamente incorrectas y de bajo grado de abstracción al encontrarse restringidas a lo cotidianamente observable;
- Son equivocaciones que cometen un gran número de estudiantes y docentes en formación y ejercicio profesional, en distintos niveles y lugares del mundo.

Su relación con el proceso enseñanza-aprendizaje es la de que todo concepto nuevo es asimilado o relacionado a estas concepciones alternativas, por lo que se consideran un estado inicial de evolución de ideas y lenguajes. En este sentido, pueden facilitar o limitar el aprendizaje de las ciencias, dependiendo de la relación que se establezca con los nuevos conceptos a enseñar, mediada por el lenguaje (Fiore y Leymonié, 2007; Trinidad-Velasco y Garritz, 2003).

En el tema específico de la catálisis heterogénea, se conocen pocos estudios sobre preconcepciones de estudiantes o docentes, siendo mayores en el ámbito de la cinética química, relacionados con los conceptos de rapidez de reacción, aplicaciones a distintos tipos de reacciones y análisis gráfico (Cakmakci, 2010; Cunningham, 2007; Onwu y Ahiakwo, 1986). Así, confunden conceptos termodinámicos con fenómenos cinéticos, como lo es el mecanismo de la reacción con su rendimiento y cambio energético, limitando la modelización del cambio químico y su interpretación energética y cinética (Daoutsali, 2012; Kolomuc y Tekin, 2011; Ahiakwo y Isiguzo, 2015). En este sentido, algunos estudios (Sánchez, Domínguez y García-Rodeja, 2001; Sánchez, Domínguez y García-Rodeja, 2002) (Karpudewan y Nurulazam, 2017) abordan preconcepciones acerca de la acción de un catalizador en el equilibrio químico, sin considerar su tipo específico, encontrando que:

- Los catalizadores no afectan a la reacción inversa.
- Disminuyen la velocidad de la reacción inversa.
- Aumentan la proporción del producto en el equilibrio, al favorecer la reacción directa.
- Se pueden emplear para dirigir el equilibrio hacia donde se desee.
- Aumenta la rapidez de la reacción, pero no cambia el estado de equilibrio químico.

- Puede emplearse para que conseguir que la reacción transcurra hasta agotarse los reactantes.
- Los catalizadores, como las enzimas, producen que el equilibrio se produzca mucho antes.
- Cuando se agrega un catalizador a una mezcla en equilibrio químico, la concentración de los reactantes y productos aumenta en forma significativa.

Específicamente, preconcepciones acerca de los catalizadores, su acción y propiedades se encuentran en algunos estudios (Çam, Topçu y Sülün, 2015; SALTERS, 2015) (Oila y Koskinen, 2006; Heinemann, 1988; Kumar y Patil, 2014; Tasker, Standley y Jamison, 2014; Richards, 2006; Daoutsali, 2012), cuya evidencia muestra que:

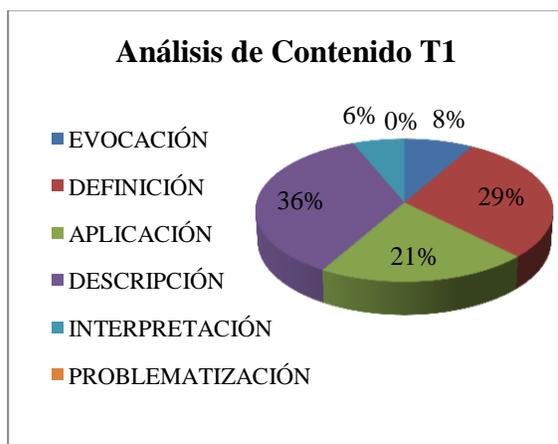
- Se cree que los catalizadores son todos iguales o universales, actuando en las mismas reacciones y bajo condiciones comunes.
- Dificultad en comprender que la acción de los catalizadores en la energía de activación, en el mecanismo de la reacción y en permitir que una reacción sea más eficiente a una misma temperatura.
- Se combina el catalizador con el producto intermediario de una reacción química en el mecanismo de reacción. Además, dificultades relacionadas con lo que es la reacción intermedia y el catalizador en un mecanismo de reacción.
- Se cree que cuando se añade catalizador a una reacción la energía de activación disminuye y, con ella, la velocidad de la reacción.
- Se considera que la energía de activación no afecta la velocidad de reacción.
- Se confunden los tipos de catalizadores, su mecanismo de reacción y acción o participación.
- Se afirma que un catalizador "baja" la entalpía de activación, confundiendo la energía de activación con su entalpía.
- Se relaciona estrechamente la acción de los catalizadores con la teoría de las colisiones, entendiendo que la acción del catalizador es aumentar el número o frecuencia de colisiones entre las partículas de los reactantes.
- Se afirma que el campo de la catálisis ha madurado y ha disminuido su progreso o avance en la investigación.
- Se piensa que los catalizadores unidos a polímero sufren de menor actividad catalítica y enantio-selectividad en comparación con sus homólogos homogéneos.
- Se considera que los catalizadores modifican los parámetros o funciones termodinámicas, favoreciendo la formación de productos no-espontáneos o termodinámicamente inestables.
- Se afirma que algunos catalizadores sólo se investigan como alternativa económica y no por la ventaja de sus propiedades, como por ejemplo el Ni en relación con el Pd.
- Se defiende la idea de que la catálisis heterogénea presenta sólo ventajas sobre la homogénea, sin considerar sus limitaciones en selectividad, actividad, velocidad de reacción por fenómenos de transporte y acceso a sitios catalíticos activos.
- El uso generalizado de los óxidos metálicos como soportes ha conducido incorrectamente al concepto erróneo popular de que son benignos o inertes en todas las reacciones catalíticas.

- Para un convertidor catalítico, se cree que, si los gases no están completamente quemados, el convertidor catalítico "da a los gases una oportunidad más de quemarse". Es decir, los gases se almacenan, se mantienen dentro del catalizador. Además, se cree que los catalizadores destruyen o absorben los contaminantes atmosféricos.

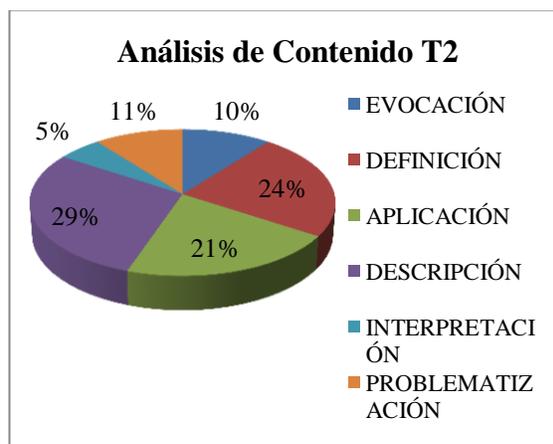
### La enseñanza de la Catálisis Heterogénea en los Textos escolares

Por otro lado, los textos escolares son considerados los recursos curriculares auxiliares didácticos más utilizados en la enseñanza y el aprendizaje a nivel escolar, debido a que forman parte de una tradición en las aulas. En el área de química, son los conceptos y definiciones aquellos elementos que cuentan con un alto uso en el aula (63.3%), situación que contrasta con los experimentos, donde un 53.8% de docentes indica que le dieron escaso o ningún uso (MINEDUC, 2004). Por esta razón, los textos escolares son investigados desde enfoques relacionados con el análisis de su contenido, identificando sus errores conceptuales y la función de sus ilustraciones. Esta técnica implica un estudio formal y semántico de la información proporcionada por los textos escolares a partir de categorías referidas al nivel de comprensión que facilitan para el lector, tales como: *Evocación, definición, aplicación, descripción, interpretación y problematización* (Perales y Jiménez, 2002; Perales, 2008)

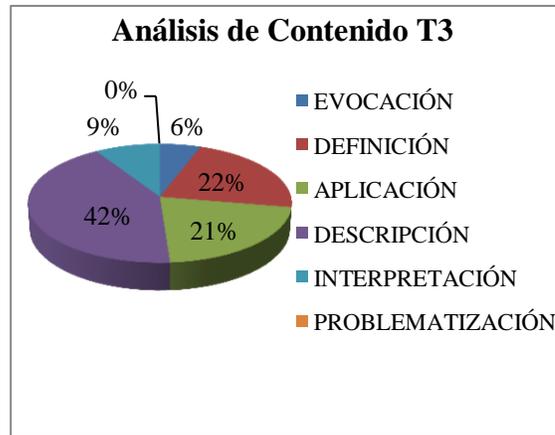
En la construcción del marco referencial, se analizaron 3 textos escolares (T1, T2 y T3) ampliamente usados en la actualidad, según las categorías consideradas anteriormente. Dicho análisis se muestra en los siguientes gráficos:



**Figura 1:** Análisis de Texto 1, según categorías de Jiménez y Perales (2002). (Fuente: Elaboración del autor).



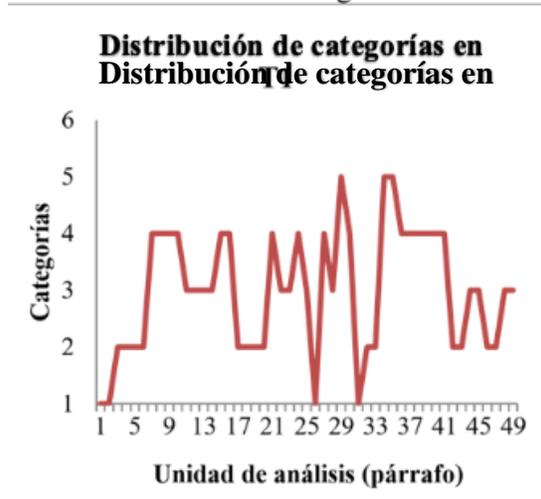
**Figura 2:** Análisis de Texto 2, según categorías de Jiménez y Perales (2002). (Fuente: Elaboración del autor)



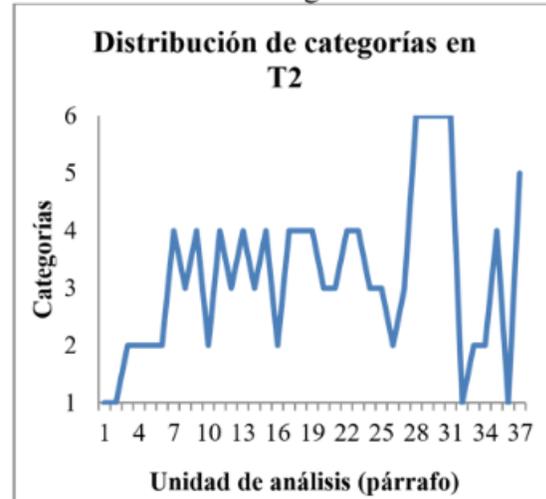
**Figura 3:** Análisis de Texto 3, según categorías de Jiménez y Perales (2002). (Fuente: Elaboración del autor)

De acuerdo a los resultados obtenidos, se evidencian importantes diferencias en la frecuencia (%) de todas las categorías, excepto en la escasez de problematizaciones común en los textos, enfocado principalmente en las tareas de definir conceptos y describir en detalle sus características fundamentales.

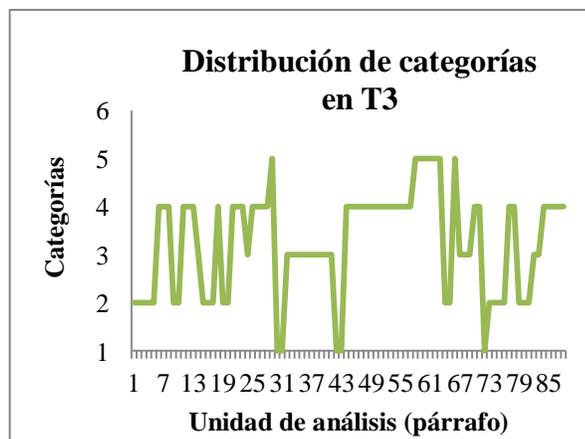
Un análisis posterior de la transición entre las categorías en estos textos, fue realizado como referencia al diseño de la SEA. Para ello se analizó la presencia de cada categoría en los párrafos de cada texto escolar. Los resultados se muestran a continuación:



**Figura 4.** Análisis de Texto 1, transiciones entre categorías. (Fuente: Elaboración del autor).



**Figura 5.** Análisis de Texto 2, transiciones entre categorías. (Fuente: Elaboración del autor).



**Gráfico 6:** Análisis de Texto 3, transición entre categorías (Fuente: Elaboración del autor).

Se observa con gran frecuencia la transición definición-descripción-aplicación, con puntuales evocaciones en el desarrollo, interpretaciones y problematizaciones hacia el término de cada unidad. Los textos inician las unidades desde evocaciones y definiciones, continuando con descripciones, aplicaciones y evocaciones durante el desarrollo del tema. Finalizan, utilizando descripciones y definiciones, de lo cual la propuesta de T2 incorpora la interpretación y problematización, según lo muestran los gráficos. El texto T2 es el que presenta un mayor porcentaje destinado a la evocación. En T2 encontramos una mayor proporción de definiciones. Los tres textos presentan igual porcentaje de aplicaciones. En descripciones e interpretaciones, T3 posee un mayor porcentaje. Finalmente, sorprende la baja presencia de problematizaciones, siendo mayor en T2.

### La Catálisis en el Currículum nacional vigente

En el currículum nacional vigente, la cinética química se aborda en el tercer año de la educación media o secundaria, como penúltima unidad, posterior a la termodinámica y previa al equilibrio químico (MINEDUC, 2016). Los objetivos propuestos y sus indicadores de logro se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 1.** Catálisis en el currículum nacional vigente, año 2017. (Fuente: Elaboración del autor).

Unidad
Cinética Química
Propósito
En esta unidad se aborda el estudio de los diferentes factores que influyen en la velocidad de las reacciones químicas y sus características. Se analiza la relación entre la velocidad de las reacciones químicas y la concentración de los reactantes. Además, se estudian los mecanismos de reacción y los perfiles de energía que modelan las diferentes reacciones químicas, identificando etapas elementales, molecularidad y el paso determinante de la reacción. Finalmente, se estudian los procesos de catálisis, la participación de catalizadores en la velocidad de reacción química y la importancia de estos en la industria, entorno y organismos.

Aprendizajes Esperados
AE 07 Explicar los principales factores que influyen en la velocidad con que transcurren diferentes reacciones químicas del entorno.
AE 08 Interpretar, mediante la obtención, organización y procesamiento de información, la velocidad de las reacciones químicas del entorno y su variación en el tiempo.
AE 09 Describir mecanismos de reacción que ocurren en la formación de productos a partir de diferentes reactantes.
AE 10 Caracterizar el proceso de catálisis, los tipos de catalizadores y su acción en la variación de la rapidez de una reacción química.
Indicadores de logro
I) Describen el mecanismo de acción de un catalizador que promueve un aumento de rapidez y disminución de la energía de activación.
II) Clasifican los diferentes tipos de catalizadores en homogéneo y heterogéneo, estableciendo similitudes y diferencias.
III) Dan ejemplos de aplicaciones industriales de catálisis heterogénea.
IV) Exponen el funcionamiento de convertidores catalíticos en motores y equipos.

Fuente: MINEDUC, 2016.

De lo anterior, es importante considerar que la catálisis presenta un aprendizaje propio (AE10), diferente a otros temas de la asignatura, como un tema o aspecto propio de las reacciones químicas y del desarrollo actual de la química: no se debe considerar sólo un factor que aumenta la rapidez de una reacción, lo cual limita a la catálisis a breves párrafos descriptivos en los textos escolares investigados, que en base a definiciones intentan exponer el mundo de la catálisis. Es decir, al abordar el concepto de catálisis se debe hacer referencia al cómo ocurre la reacción desde un perfil energético (energía de activación), cinético (rapidez de la reacción y mecanismo de la reacción). Además, clasificar los tipos de catalizadores existentes, según sus propiedades y aplicaciones. Luego, investigar ejemplos de la catálisis heterogénea, dentro de los cuales el convertidor catalítico es mencionado. Finalmente, comprender la catálisis enzimática o bio-catálisis desde sus mecanismos y los modelos que explican su acción en los seres vivos.

### La enseñanza de la Naturaleza de la Ciencia

Respecto a la Naturaleza de la Ciencia, se defiende la idea de que la ciencia corresponde a una actividad humana de búsqueda de modos de conocer la realidad, un proceso de construcción de significados que la humanidad ha desarrollado a lo largo de su historia y que permite explicar cómo funciona el universo (Furman y de Podestá, 2009). Algunas disciplinas de carácter meta-científico definen a la ciencia como una actividad de producción, evaluación, aplicación y divulgación de saberes eruditos inmersa en un contexto histórico, social, cultural y valórico que le da sentido, al definir las finalidades de intervención que se persiguen en las diferentes comunidades científicas (Estany, 1993; Echeverría, 1995). Algunas de las cualidades propias de la ciencia, son: su objetivo esencial, su metodología, su racionalidad y la naturaleza de las representaciones científicas que permiten conocer, describir e interpretar el mundo, contrastar ideas con experimentos y formular teorías o explicaciones basadas en la discusión de evidencias (Izquierdo, 2000). Si bien existen discrepancias, se tiene acuerdo en que el conocimiento científico es esencialmente provisorio, empírico, subjetivo, necesita de manera imperiosa la inferencia, imaginación, y creatividad de una persona, y está arraigado en la cultura, el contexto o época determinada

(Lederman y Lederman, 2010). A este conjunto de particularidades de la ciencia, junto con el debate y reflexión crítica, se le denomina Naturaleza de la Ciencia (NdC), la cual se encuentra estrechamente ligada a la historia de la ciencia (HdC) y a comprender los procesos de enseñanza-aprendizaje dentro de una metodología de indagación científica (Adúriz-Bravo, 2005). Estos asuntos, relativos a qué es la ciencia, cómo y qué implica su construcción, son importantes en la alfabetización científica y tecnológica de las personas, los que son transmitidos por los docentes en la enseñanza en visiones ingenuas de la ciencia y el qué hacer científico, independiente del área, tema o asignatura (Acevedo, 2007; Adúriz-Bravo, 2007) (Tsai, 2007; Quintanilla y otros, 2006; Khishfe y Lederman, 2006). La idea de que la ciencia tiene carácter objetivo, neutral e imparcial, y, por lo tanto, desvinculada del mundo restringe posibilidades de participación en temas socio-científicos por los estudiantes y hombres del futuro (Ravanal y Quintanilla, 2010). Estas concepciones deben hacerse explícitas en actividades prácticas que consideren a NdC un factor cognitivo importante en el aprendizaje de la ciencia desde una metodología de reflexión y argumentación (Abd-EIKhalick y Lederman, 2000). Los resultados favorables se relacionan con el contexto en el cual NDC ha sido explícitamente enseñado (Brickhouse, Dagher, Letts y Shipman, 2000) y su vínculo con el contenido científico (Clough, 2003; Quintanilla, 2006). En este sentido, la educación en ciencias debe responder a las características propias de la ciencia actual desde un marco histórico, pedagógico, didáctico, psicológico y epistemológico adecuado.

### **Aspectos de Catálisis Heterogénea**

El estudio de la catálisis heterogénea involucra aspectos históricos, científicos y tecnológicos que han impactado en las áreas industriales, medioambientales y cotidianos, como la alimentación y progreso de la sociedad (Fuentes y Díaz, 1997). En relación con los aspectos históricos, se debe considerar que los procesos catalíticos se emplean desde la antigüedad en las fermentaciones y preparación de algunos alimentos o el jabón, pero fue Berzelius en 1836 quien describió una reacción catalítica como aquella en la cual los componentes permanecen separados luego del proceso. En el siglo XIX, Thernad informa la descomposición de agua oxigenada por polvos metálicos; Davy reporta que el platino convierte el alcohol en ácido acético; Fumiseri, relaciona los procesos superficiales con las reacciones en las cuales participan sólidos; se patenta la oxidación de SO<sub>2</sub> por esponjas de platino; y, entre otros primeros descubrimientos, Faraday plantea el envenenamiento de los metales por impurezas. En el siglo XX, algunos descubrimientos relevantes corresponden a: explotación industrial del proceso de síntesis de amoniaco descubierto por Haber, el cual es catalizado por el hierro; aparece el primer libro de catálisis escrito por Sabatier; entre 1939-1940 con la guerra vino la explotación masiva de los recursos petroleros; síntesis de ácido sulfúrico, índice del grado relativo del desarrollo industrial de un país; hidrogenación de aceites y grasas vegetales para consumo alimenticio; desintegración catalítica que aumenta el rendimiento del petróleo en sus subproductos; reformación de gasolinas para uso en automóviles y camiones; convertidores catalíticos en los escapes de automóvil para disminuir la contaminación atmosférica; e, hidrotratamientos (hidrodesulfuración e hidrogenitrogenación) para disminuir impurezas del petróleo. Actualmente, la catálisis es ampliamente investigada y cuenta con más de 47 revistas internacionales de publicación (Scimago Journal y Country Rank, 2017).

Industrialmente, en el último siglo la química ha tenido un gran desarrollo con el objetivo de satisfacer eficientemente la demanda de diversos productos manufacturados para la sociedad. En este sentido, los catalizadores han sido uno de los avances más significativos, siendo responsables de más del 60% de la elaboración de todos los productos químicos actuales, considerando que cerca de un 90% de los procesos industriales en el mundo utilizan catalizadores en alguna de sus etapas. Esto se debe a que logran reducir el tamaño de los reactores empleados en cada reacción, disminuyendo la temperatura a la cual se realiza, obteniendo el producto deseado en menor tiempo e incrementando la eficiencia de conversión y selectividad en la reacción, al evitar la formación de productos secundarios. Su principal ventaja su separación de los productos de la reacción a través de procedimientos sencillos siendo reutilizados en diversos procesos químicos industriales. Algunos sistemas estudiados en Catálisis Heterogéneas son: metales (Pt, Ni, Fe, Cu, Ag en hidrogenaciones y deshidrogenaciones), óxidos y sulfuros metálicos (NiO, ZrO, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CuO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en oxidaciones, reducciones y desulfuración), óxidos metálicos (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>3</sub> en deshidratación e isomerización), Ag en epoxidación, Pt en reformado, Co en hidroformilación, Ti y Cr en polimerizaciones, entre otros muchos ejemplos (Rodríguez, 2016). Estos sistemas son aplicados en procesos, tales como: síntesis de NH<sub>3</sub> (proceso Haber), reacción de desplazamiento del gas de agua, craqueo catalítico de destilados pesados del petróleo, reformado catalítico de hidrocarburos para mejorar el índice de octano, metanación, epoxidación y fabricación del HNO<sub>3</sub> (proceso de Haber-Bosch), refinación de las gasolinas con zeolitas, entre otros (Atkins, 2008).

En lo tecnológico, se puede considerar el amplio desarrollo de técnicas especializadas dentro del área de la catálisis heterogénea, tales como: Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), Difracción de rayos X (XRD), Espectroscopía fotoelectrónica de rayos X (XPS) y Microscopía de barrido por efecto túnel (STM), entre otras (Housecroft y Sharpe, 2006).

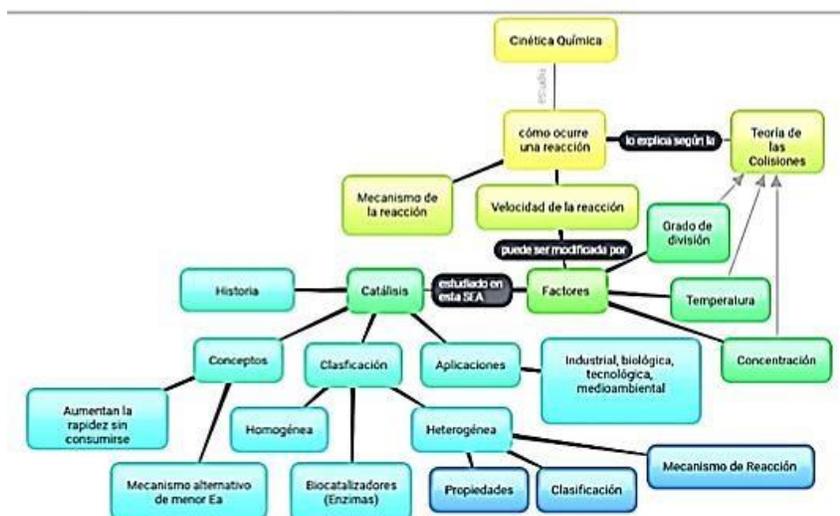
En lo medioambiental, es importante considerar que la catálisis corresponde a uno de los principios de la “química verde”, el número 9, que establece que se deben emplear catalizadores (lo más selectivos y reutilizables posible) en vez de reactivos estequiométricos (Liu, Zhao, Wang y Li, 2015). Estos ideales buscan que los productos y diseños de procesos químicos reduzcan o eliminen el uso y producción de sustancias peligrosas (Pájaro y Olivero, 2011), expresados en la fotocatalisis heterogénea, reducción catalítica de NO<sub>x</sub>, oxidación avanzada que utilizan oxígeno (O<sub>2</sub>) como agente oxidante, tratamiento de agua, hidrogenación enantio-selectiva, el desarrollo de nanomateriales a medida, el diseño integrado de reactor-catalizador-sistema de separación, la producción de catalizadores a nano-escala, obtención de catalizadores bio-miméticos, mejorar los métodos de conocimiento de la acción de un catalizador y obtener catalizadores heterogéneos con centros básicos o con pares de centros ácidos-básicos (Rodríguez, 2008).

### **Propuesta de Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje (SEA)**

Para lograr la comprensión del contenido de catálisis heterogénea con aspectos de naturaleza de la ciencia, se ha desarrollado una SEA como documento de planificación de las actividades de enseñanza-aprendizaje. Siendo la catálisis un tema complejo y de gran relevancia actual,

se considera que la presente investigación es un aporte para el profesorado y la investigación en el ámbito de la enseñanza y aprendizaje de la química. En este sentido, se elaboró una SEA siguiendo un ciclo didáctico constructivista (Sanmartí, 2002), el que estructura las etapas en cuatro fases fundamentales: exploración, introducción, estructuración y aplicación, desde lo más concreto a lo más abstracto y de lo más simple a lo más complejo. La SEA propuesta reorganiza los temas, según se muestra en la figura 7.

En esta investigación, se trabajaron las cuatro etapas antes mencionadas en ocho sesiones de clases. En la fase de exploración, se trabajó de forma grupal un texto introductorio que evoca la química en la cocina, establece la relación entre la estequiometría, cinética y termodinámica de un proceso de cocinar y compara la actividad científica con la preparación de alimentos en la cocina. Luego, se desarrolla un cuestionario KPSI en forma individual sobre catálisis heterogénea, junto con una actividad experimental de indagación acerca de las reacciones catalíticas.



**Figura 7.** Estructura de la SEA. (Fuente: Elaboración del autor con CmapsTools).

En la siguiente fase, se realizó una introducción que buscó fundamentar el estudio de la cinética química, relacionando la rapidez de una reacción con la inquietud sobre cómo ocurre la reacción a nivel de partículas. Se manifestó la importancia del trabajo interdisciplinario y en comunidades para abordar un mismo fenómeno. Se abordó el avance de la petroquímica y la relación de la ciencia con la tecnología, reflexionando sobre sus intereses e impactos a nivel histórico, político y económico. Finaliza esta etapa construyendo un modelo cinético a partir de observaciones e inferencias sobre el cómo ocurre un proceso cotidiano, comparando con los cambios químicos, las leyes y teorías de la ciencia para explicar las reacciones. Se analizó el modelo de colisiones para explicar el mecanismo de las reacciones químicas y cómo afecta la modificación de algunos factores experimentales. Además, se estudian los conceptos de ley-teorías y observación-inferencia, se discute el carácter empírico de la ciencia.

En la fase de estructuración, se evocaron situaciones de relevancia cotidiana en las cuales participan catalizadores de distinto tipo, tales como la fabricación de alimentos, productos de limpieza, fertilizantes, materiales plásticos y de reducción de la contaminación. Se buscó reflexionar sobre la relación de la catálisis con tecnología en el área de la industria, los alimentos y los biocombustibles. Se analizaron comparativamente los tipos de catalizadores, en relación con sus ventajas y desventajas, estableciendo su efecto en la rapidez y estudio en el perfil cinético de la reacción ( $E_a$ ). Se incorporaron habilidades científicas de las matemáticas como herramientas de elaboración e interpretación de datos y gráficos, así como integrar la argumentación. Esta fase finaliza indagando la diferencia entre los 3 tipos de catalizadores para una misma reacción, registrando observaciones, planteando preguntas e hipótesis, discutiendo resultados, elaborando conclusiones y comunicando sus aprendizajes. Analizando, también, las propiedades generales y específicas de los catalizadores heterogéneos, así como su forma de acción en una reacción catalítica heterogénea. Finalmente, se abordaron las explicaciones y observaciones experimentales desde la distinción entre ley y teoría, observación e inferencia, enfatizando la relación entre la catálisis heterogénea y la tecnología que ha permitido su estudio.

La fase final de aplicación consideró el análisis de la importancia del convertidor catalítico, como ejemplo de catalizador heterogéneo aplicado al contexto de la calidad del aire, estudiando su historia, tecnología e impacto, a través de noticias e infografías como cuestión socio-científica. Terminó el ciclo didáctico en una reflexión y discusión cerca de los propósitos personales, sociales, científicos y tecnológicos de quienes investigan en ciencia, lo que permitió aplicar los temas y habilidades desarrolladas a la comunicación científica en temas de relevancia para el futuro de la humanidad vinculados con la catálisis heterogénea en el siglo XXI. Se trabajó en comunidades científicas de generación, revisión y modificación de conocimiento científico. Se enfatizó el impacto de la química en las sociedades y su entorno.

En cada fase se realizó un registro de todo el curso en audio y, además, del avance en los aprendizajes de cada estudiante. Esto se logró a través de tickets de salida, evaluaciones formativas (guías) y entrevistas. Al término de la SEA, los estudiantes respondieron una evaluación acerca de las actividades propuestas.

### **Objetivos, pregunta de investigación e hipótesis**

La inquietud de incorporar la naturaleza de la ciencia como aspecto que promueve una comprensión más real de la actividad científica, a través de la alfabetización científica, unida a la relevancia de abordar temas de investigación actual en química, como la catálisis, permitió plantear la pregunta de investigación: *¿La incorporación de la naturaleza de la ciencia en la enseñanza-aprendizaje de la catálisis heterogénea promueve una mejor comprensión de sus aspectos fundamentales?*

Frente a esta pregunta, se estructuró el objetivo general de la investigación:

**Objetivo general.** Evaluar el aporte de integrar aspectos de la didáctica de las ciencias experimentales, tales como la Naturaleza de la ciencia (NdC) y las concepciones alternativas (CA), en la enseñanza y el aprendizaje de la catálisis heterogénea a nivel escolar.

La hipótesis de trabajo corresponde a que *la incorporación de la naturaleza de la ciencia (NdC) contribuye a lograr mejores aprendizajes en el tema de catálisis heterogénea.*

Los objetivos específicos se detallan a continuación:

### Objetivos específicos

- 1) Investigar los marcos referenciales desde la didáctica de las ciencias experimentales, en relación con la Naturaleza de la Ciencia (NdC) y las concepciones alternativas (CA) de la cinética química, en el tema de catálisis heterogénea.
- 2) Investigar enfoques y metodologías de la investigación cualitativa-cuantitativa que permitan desarrollar el estudio, obteniendo resultados cuyo análisis aporte al mejoramiento de la educación científica.
- 3) Diseñar una Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje (SEA) en relación con la didáctica de las ciencias experimentales hacia el área de la Catálisis, integrando NdC y AC.
- 4) Validar la SEA construida por pares y expertos.
- 5) Aplicar la SEA en el contexto específico de un curso de 20 estudiantes, Colegio Mozart Schule de Concepción, Región del Biobío (VIII Región).
- 6) Analizar los resultados obtenidos desde una metodología cuantitativa y cualitativa.

A partir de lo anterior, se diseñó una SEA cuyos objetivos y actividades secuenciadas se detallan en el punto 4. Una descripción general, se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2.** Descripción general de la SEA diseñada.

Objetivo de Aprendizaje	Caracterizar el proceso de catálisis, los tipos de catalizadores y su acción en la variación de la rapidez de una reacción química.
Indicadores de Evaluación	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Describen el mecanismo de acción de un catalizador que promueve un aumento de rapidez y disminución de la energía de activación.</li> <li>✓ Clasifican los diferentes tipos de catalizadores en homogéneo y heterogéneo, estableciendo similitudes y diferencias.</li> <li>✓ Dan ejemplos de aplicaciones industriales de catálisis heterogénea.</li> <li>✓ Exponen el funcionamiento de convertidores catalíticos en motores y equipos.</li> </ul>
Destinatarios	Estudiantes de secundaria 16-17 años
Temporalidad	7 sesiones (de 90 y 45 minutos, alternadamente)
Aspecto de NdC trabajados	Carácter empírico, subjetividad, carácter provisorio, relación ciencia-tecnología-sociedad, influencia del contexto histórico-político, observación e inferencia.

Fuente: elaboración propia basada en la creación e implementación de Seminario de grado.

Para alcanzar los objetivos planteados se utilizaron como instrumentos de recopilación de datos, evaluación diagnóstica (guías de exploración y KPSI), evaluaciones de proceso (trabajos prácticos, guías de introducción y estructuración) y evaluaciones sumativas (guías de aplicación). Además, cada clase fue grabada en audio y posteriormente analizada en contraste con un registro anecdótico de la clase. Finalmente, se realizó una entrevista a algunos(as) estudiantes con la finalidad de conocer sus comentarios, impresiones y sugerencia de forma cualitativa.

La validación de la SEA propuesta fue realizada en forma interna y externa según el ciclo de Elliot y validación externa mediante el modelo de Stake. Esto presenta más detalles en la sección 4.3 en “Variables e instrumentos” de la Metodología de trabajo.

## **Metodología**

### **Enfoque y tipo de investigación**

La investigación fue diseñada en base a un paradigma cuantitativo, cuya finalidad es evaluar a través del análisis de los resultados de aprendizaje (puntajes) en las evaluaciones realizados. El estudio es exploratorio y descriptivo, en relación con que no hay evidencias de un estudio similar para el foco y la temática seleccionada, y que se busca lograr una descripción de la situación analizada. El diseño es no-experimental de tipo transversal y descriptivo, debido a que no se manipulan sujetos o variables, no se presenta un control absoluto de las condiciones y, a la vez, los participantes no forman parte de una muestra aleatoria. En este sentido, el estudio no busca establecer una correlación entre variables, sino una descripción y evaluación de la implementación de la SEA incorporando NdC en el tema de catálisis.

Las técnicas de recolección de los datos en investigación fueron cuestionarios, pruebas y guías estandarizadas para todos los estudiantes de la muestra (como pre y post test), las que son descritas en próximos apartados. Además, se incluye una entrevista y focus-group a estudiantes que presentaron cualidades de interés para la investigación.

### **Sujetos Participantes**

La investigación fue realizada en un establecimiento educacional de dependencia particular pagado de la región metropolitana, ubicado en la comuna de Concepción, VIII Región (Biobío), Chile. En dicho colegio se imparten clases en los niveles parvulario, básica y media. Su matrícula 2017 corresponde a 240 estudiantes, pertenecientes a según registros del MINEDUC al quinto quintil socioeconómico. El establecimiento cuenta con 1 curso único por nivel con un promedio de 16 estudiantes por curso.

Para el cumplimiento del objetivo de esta investigación se elaboró y aplicó una SEA contextualizada al curso de tercer año medio (3EM), formado por 13 estudiantes. Todos los estudiantes participaron voluntariamente del estudio, completando cada actividad cuyo registro posteriormente fue analizado como evidencia de sus logros de aprendizaje.

El detalle de la muestra del estudio se presenta a continuación, en la tabla 3.

**Tabla 3.** Muestra participante en el estudio, considerando curso y género.

Curso	Mujeres	Hombres	Población Total	Población Real
Tercer año medio	8	5	13	13

Nota: Todos los estudiantes del curso participaron del estudio. (Fuente: Elaboración del autor según los datos obtenidos en la investigación)

### **VARIABLES E INSTRUMENTOS:**

Los instrumentos de recolección de datos que fueron aplicados y analizados en el presente estudio corresponden a cuestionarios, evaluaciones (guías, test) y entrevistas semiestructuradas. Los cuestionarios y evaluaciones se incluyen en la guía de actividades para el estudiante y en la guía para el docente, con sugerencias y/o recomendaciones pedagógicas.

Los instrumentos fueron diseñados y validados por pares y expertos, quienes aportaron a la versión que se aplicó en el estudio. Además, se realizó una validación interna a la SEA, relacionada con el ciclo de Elliot (1993) de investigación-acción. Para ella, se implementó en un grupo pequeño de estudiantes con el fin de revisar y corregir la redacción, según su claridad y complejidad en la SEA. Simultáneamente, se realizó una validación externa de la SEA en función del modelo respondiente de Stake (1967), en el cual se analiza comparativamente un material o recurso educativo de circulación nacional con la propuesta del presente estudio.

### **SECUENCIA DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE:**

El instrumento fundamental de la presente investigación corresponde a la SEA elaborada, la cual busca que los(as) estudiantes aprendan los aspectos fundamentales de la catálisis heterogénea, a través de la Naturaleza de la Ciencia. La SEA presenta 7 sesiones, en las cuales se desarrollan las fases de *exploración*, *introducción de conceptos*, *estructuración y aplicación*. En cada fase los(as) estudiantes participan activamente de diversas actividades que involucran aspectos de NdC, vinculados al logro de los aprendizajes esperados (AE), al desarrollo de habilidades científicas y a los aspectos históricos, industriales, medioambientales, científicos y tecnológicos de la catálisis heterogénea.

En la Tabla 4 se muestra una descripción general de la SEA, instrumento elaborado bajo la supervisión y corrección de expertos, cuya validación se describió en el apartado anterior.

**Tabla 4.** Descripción General actividades SEA. (Fuente: elaboración propia según los acuerdos y validaciones para crear el implementar la SEA)

Fase de la SEA	Sesión	Actividad(es)	Objetivo/descripción
Exploración	1	-Guía en equipos “Cocinar es un arte, pero también es mucha química” -Cuestionario KPSI	Evocar la química en la cocina, establecer la estequiometría, cinética y termodinámica de un proceso de cocinar. Comparar la actividad científica con la preparación de alimentos en la cocina. Explicitar el conocimiento y comprensión inicial acerca de los temas.
	2	-Actividad de indagación “Explorando nuevas sustancias y fenómenos” con la “Práctica 1: El Burbujeo” POE-NdC-HdC	Indagar experimentalmente el fenómeno de descomposición del agua oxigenada con y sin $MnO_2(s)$ , integrando predicción-observación, explicación, y describiendo su acción según el tiempo, cantidad de burbujas y volumen de gas liberado, $O_2(g)$ . Se vincula con habilidades propias de la investigación científica como actividad humana. Se vincula con la historia de la ciencia hacia el descubrimiento de este fenómeno en el siglo XIX.
Introducción de conceptos	3	-Guías en equipos: “Comprendiendo la Química, su historia e importancia”, con “¿cómo estudiamos una reacción química?” (NdC) y “De la edad de piedra a la edad del oro negro” (HdC-NdC)	Fundamentar el estudio de la cinética química, relacionando la rapidez de una reacción con la inquietud sobre cómo ocurre la reacción a nivel de partículas. Se manifiesta la importancia del trabajo interdisciplinario y en comunidades para abordar un mismo fenómeno. Se aborda el avance de la petroquímica y la relación de la ciencia con la tecnología, reflexionando sobre sus intereses e impactos a nivel histórico, político y económico.
	4	-Guía en parejas de puesto: “Rapidez de reacción: experimentos y teoría” con Videos y animaciones sobre los factores que modifican la rapidez de una reacción (NdC)	Construir un modelo a partir de observaciones inferencias sobre el cómo ocurre un proceso cotidiano, comparando con los cambios químicos, las leyes y teorías de la ciencia para explicar las reacciones. Se analiza el modelo de colisiones para explicar el mecanismo de las reacciones químicas y cómo afecta la modificación de algunos factores experimentales. Se estudian los conceptos de ley-teorías y observación-inferencia, se discute el carácter empírico de la ciencia.

Estructuración	5	-Guía en equipos “¿Qué tienen en común?” (NdC) con “¿Catálisis y catalizadores?” -Elaboración de mapa conceptual con los conceptos de la guía.	Evocar situaciones de relevancia cotidiana en las cuales participan catalizadores de distinto tipo, tales como la fabricación de alimentos, productos de limpieza, fertilizantes, materiales plásticos y de reducción de la contaminación. Se busca reflexionar sobre la relación de la catálisis con tecnología en el área de la industria, los alimentos y los biocombustibles. Se analizan comparativamente los tipos de catalizadores, en relación con sus ventajas y desventajas, estableciendo su efecto en la rapidez y estudio en el perfil cinético de la reacción ( $E_a$ ). Se incorporan habilidades científicas de las matemáticas como herramientas de elaboración e interpretación de datos y gráficos, así como integrar la argumentación
	6	-Actividad y guía grupal “Catálisis heterogénea: sólidos mágicos” con “Los catalizadores heterogéneos bajo lupa” (HdC-NdC)	Indagar la diferencia entre los 3 tipos de catalizadores para una misma reacción, registrando observaciones, planteando preguntas e hipótesis, discutiendo resultados, elaborando conclusiones y comunicando sus aprendizajes. Se analizan las propiedades generales y específicas de los catalizadores heterogéneos, así como su forma de acción en una reacción catalítica heterogénea. Se abordan las explicaciones y observaciones experimentales desde la distinción entre ley y teoría, observación e inferencia, enfatizando la relación entre la catálisis heterogénea y la tecnología que ha permitido su estudio.
Aplicación	7	-Guía en equipos “¿Catálisis y medioambiente?” y “Catálisis e historia de la química” (HdC-NdC-Cuestión socio-científica)	Analizar la importancia del convertidor catalítico, como ejemplo de catalizador heterogéneo aplicado al contexto de la calidad del aire, estudiando su historia, tecnología e impacto, a través de noticias e infografías como cuestión socio-científica. Se reflexiona sobre los propósitos personales, sociales, científicos y tecnológicos de las personas que investigan en ciencia.

### Procedimiento

La aplicación de los instrumentos mencionados anteriormente fue realizada según un diseño no-experimental. Por ello, se realizaron 7 clases a una muestra no-aleatoria (3EM), a través de las actividades propuestas en el SEA, registrando los logros de aprendizaje en sus guías y cuestionarios (KPSI). Sus impresiones, comentarios y sugerencias se estudiaron mediante entrevistas semiestructuradas a estudiantes voluntarios(as). Cada sesión fue grabada en audio y posteriormente analizadas en un registro anecdóticos de cada sesión, al término de cada clase.

La implementación de la SEA fue realizada en el curso durante el horario establecido de la asignatura de Química Común, que cuenta con 3 horas pedagógicas a la semana, distribuidas

en 1 hora al comienzo de la jornada el día miércoles y, 2 horas al término de la jornada el día jueves. Dado que algunos estudiantes faltaron en algunas clases, se les proporcionó las guías para que fueran completadas con la información relevante para el presente estudio.

### Análisis de Datos

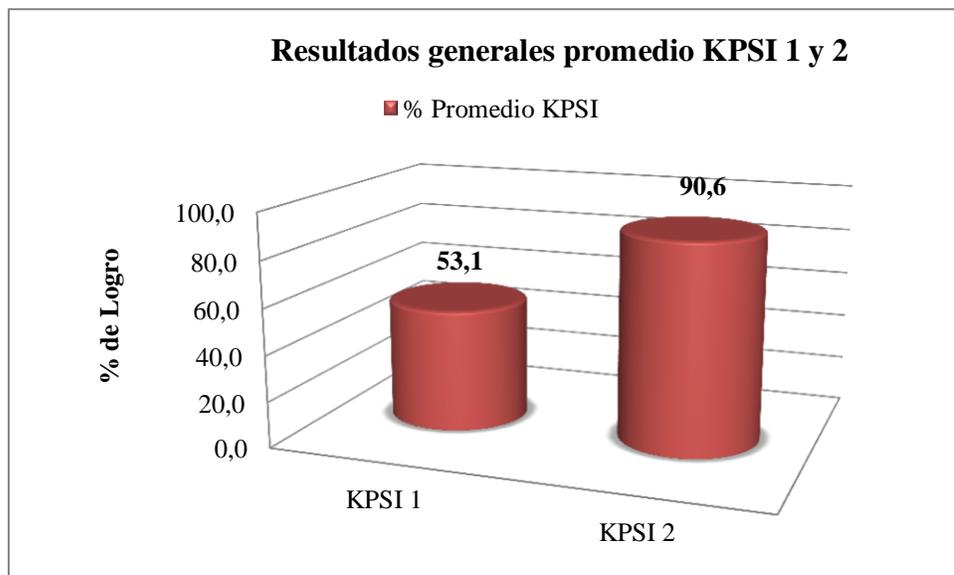
El avance de los(as) estudiantes en la implementación de la SEA, fue registrado en los documentos o recursos utilizados (guías, cuestionarios y entrevistas). El cuestionario-guía inicial fue cuantificado para considerar el estado inicial del curso en el tema, el cual fue contrastado con los resultados de los estudiantes registrados en las posteriores guías de trabajo. La guía final fue considerada el mejor elemento de comparación entre el inicio y término de la implementación, en la cual se aplicó el mismo cuestionario KPSI. Este instrumento elaborado para los fines de la presente investigación incorporó categorías establecidas por el puntaje de logro, mencionadas en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Detalle del análisis de los instrumentos utilizados. (Fuente: Elaboración del autor).

<p>Cuestionario KPSI sobre tema de Catálisis Heterogénea  (Fuente: Elaboración del autor).</p>	<p>Este cuestionario consistió en 8 afirmaciones, cada una de las cuales tenía 4 alternativas o posibles respuestas. Todas las respuestas consideraban un puntaje diferente, siendo el puntaje máximo 32 y, mínimo 8. Las categorías correspondieron a: (4) Podría explicarlos a un(a) compañero(a); (3) Lo sé; (2) No lo entiendo, y; (1) No lo sé. Luego, se establecieron 3 categorías: insuficiente, elemental y adecuado. Cada una de estas categorías estaba directamente asociada al % de nivel del puntaje de sus respuestas, los que corresponden a: Insuficiente = menor al 60% de las respuestas correctas = 19 puntos logrados o menos. Elemental = las respuestas correctas se encuentran entre 61% al 85%= 20 a 27 puntos logrados. Adecuado = las respuestas correctas se encuentran entre un 86% a 100% = 28 a 32 puntos logrados.</p>
<p>Guías de trabajo de cada sesión (Fuente: Elaboración del autor).</p>	<p>Cada sesión abordó sus temáticas respectivas a partir de una guía, la cual fue evaluada al término de cada clase. Este material didáctico incorporó las actividades propuestas en las que los(as) estudiantes registraron sus respuestas, luego de una reflexión y discusión guiada por el docente. En total fueron 7 guías, cada una de las cuales fue revisada y analizada su contenido, luego de registrarlas como parte de cada sesión.</p>
<p>Cuestionario de entrevista semi-estructurada (Fuente: Elaboración del autor).</p>	<p>Con el fin de evaluar el diseño e implementación de la SEA elaborada, se realizó una entrevista semiestructurada a un grupo de estudiantes, guiada por un cuestionario. A través de él, los estudiantes reflexionaban y compartieron sus impresiones respecto de la implementación de la SEA y su experiencia con las actividades propuestas. Se les sugirió compartir sugerencias, observaciones y comentarios que permitieran mejorar el diseño e implementación.</p>

## Resultados

### Aplicación del KPSI:

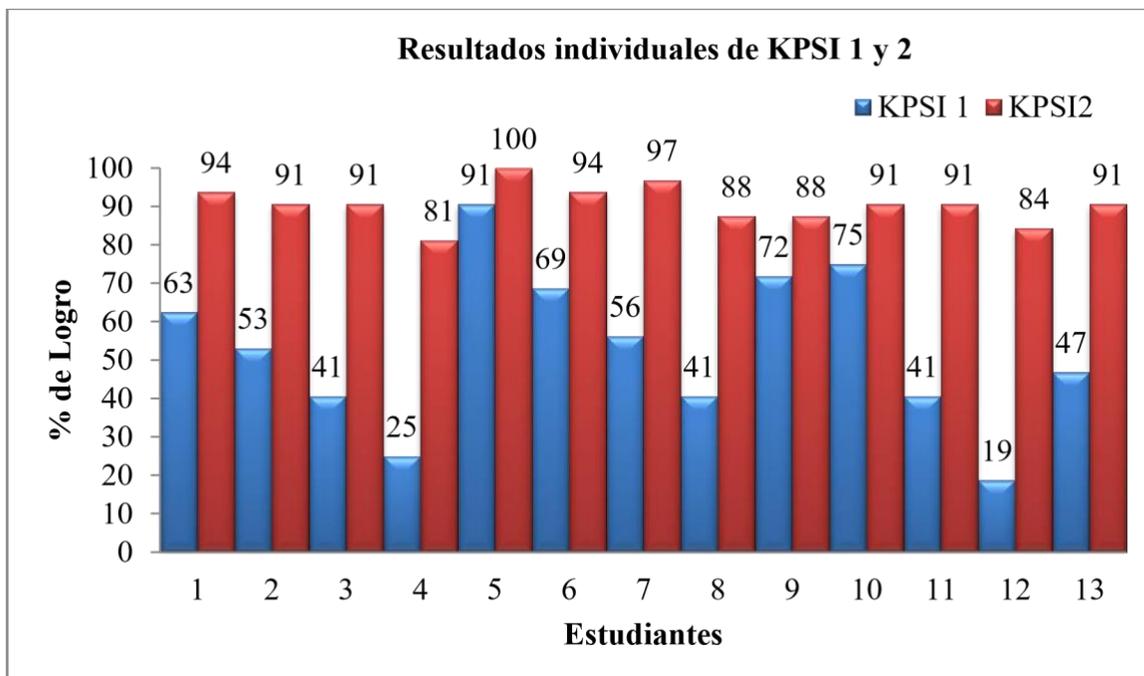


**Figura 8.** Resultados KPSI. (Fuente: Elaboración del autor según resultados obtenidos en la investigación)

A partir de los resultados del gráfico anterior, es posible afirmar que inicialmente el curso, en promedio, se encontró en un *nivel insuficiente* de conocimientos y comprensión en relación con el tema de Catálisis Heterogénea, lo que se expresa en el resultado promedio de KPSI 1 de un porcentaje inferior al 60%. Esto significa que, en promedio, el curso conoce y comprende sólo el 53,1% de los temas a abordar en la SEA. Luego, el curso logra finalmente obtener, en promedio, un *nivel adecuado*, lo que se manifiesta en un porcentaje superior al 86% en el KPSI 2. Esto comprueba un aumento en el logro declarado por los estudiantes en sus conocimientos y su comprensión de los temas abordados en la SEA hasta un 90,6%, los que vinculan la Catálisis Heterogénea con la Naturaleza de la Ciencia. Este avance significativo entre los niveles *insuficiente* y *adecuado* se atribuye al desarrollo e implementación de la SEA y de cada una de sus actividades propuestas.

### Resultados individuales de la aplicación del KPSI

A partir del gráfico anterior, se evidencia que la mayor parte de los estudiantes (62%) se encontró inicialmente en nivel de conocimiento y comprensión *insuficiente* sobre catálisis heterogénea, según el KPSI 1; sin embargo, algunos estudiantes declararon un *nivel elemental* (31%) e, incluso, un estudiante declaró un *nivel adecuado* (7%). Estos porcentajes se refieren a cuántos(as) estudiantes lograron una cantidad de aspectos conocidos y comprendidos acerca de la catálisis, tales como: la relación entre cinética, termodinámica y estequiometría; el objeto y método de estudio de la cinética química; los factores que modifican la velocidad de una reacción; el efecto de un catalizador en la Energía de Activación y, las aplicaciones de estos sistemas, entre otros aspectos generales.



**Figura 9.** Resultados KPSI. (Fuente: Elaboración del autor según resultados obtenidos en la investigación)

Al finalizar la SEA, los resultados del KPSI 2 muestran que la mayor parte alcanzó un *nivel adecuado* de conocimiento y comprensión (85%) sobre los temas abordados, quienes son capaces de identificar, comprender y aplicar sobre el 86% de los conceptos fundamentales desarrollados en las sesiones. Sólo 2 estudiantes permanecieron en un nivel intermedio o *nivel elemental* (15%), quienes muestran dificultades en los temas relacionados con el efecto de un catalizador en la Energía de Activación y en los factores que modifican la rapidez de una reacción, principalmente.

Al respecto, esto comprueba que el desarrollo e implementación de la SEA fue un aporte en el conocimiento y comprensión de los temas para la mayor parte de los estudiantes. A su vez, se evidenció que este avance no fue igual para todos(as) los(as) estudiantes del curso, siendo mayor el resultado final para quienes ya poseían un nivel intermedio o avanzado inicial. Esto implica que, si bien la SEA significó un progreso, ello dependió de los conocimientos previos o iniciales de los(as) estudiantes, ya que quienes se encontraron en un nivel inferior (*insuficiente*) no lograron llegar al más avanzado. Además, sólo un estudiante logró un máximo de 100%, a quien se entrevistó posteriormente. Estos avances significativos entre los niveles *insuficiente* y *elemental*, así como entre los niveles *elemental* y *adecuado*, se atribuyen al desarrollo e implementación de la SEA y de cada una de sus actividades propuestas enfocadas en catálisis heterogénea y NdC.

## Resultados generales de respuestas relevantes en guías de trabajo y registro de sesiones

A continuación, se muestran los principales resultados obtenidos luego de la revisión de las respuestas elaboradas por los(as) estudiantes en sus guías de trabajo y, del registro de sesiones. Para cada sesión, el curso logró completar todas las actividades propuestas por la SEA en base al trabajo colaborativo de forma individual y en equipos.

### *a) Fase de Exploración: “Cocinar es un arte, pero también mucha química”*

En esta actividad inicial, los(as) estudiantes participaron en actividades relacionadas con la cocina y su estudio vinculado a la química, comparando sus experiencias previas en cocina con las grandes preguntas de la estequiometría y la termodinámica. La mayoría del curso (92%) formuló preguntas sobre los ingredientes, sus cantidades, los materiales o recipientes a utilizar, como parte de la estequiometría; en cambio, en termodinámica mencionaron la temperatura necesaria del horno y el tiempo de horneado (85%), sin mencionar directamente calor o la energía necesaria para el proceso. Además, algunos(as) estudiantes (15%) preguntaron por el dinero necesario y el funcionamiento del horno (15%), conectándolo con la estequiometría y la termodinámica, respectivamente. Sólo 4 estudiantes (31%) indagaron por el tiempo de la reacción, aunque no por la forma cómo ocurre el proceso, sin haber estudiado cinética química anteriormente. Algunas respuestas relevantes, fueron: “¿Cuáles son los ingredientes?, Qué ingredientes necesito usar?, ¿tengo la cantidad suficiente de los ingredientes?, ¿cuánto se demorará el queque?, ¿funciona bien mi horno? y ¿cuánto cuestan los ingredientes?”

Luego, todo del curso reconoció la importancia de seguir y controlar un proceso o cambio químico, a partir de los ejemplos de la cocina. Por ejemplo, en la preparación de arroz, tallarines y huevo frito, se mencionaron como ventajas de estudiar el avance del proceso: “se puede obtener un arroz perfecto o como te gusta”, “se evita que se peguen, quemen o suba el agua” y “aprendes a hacerlo bien”. En cambio, las desventajas mencionadas correspondieron a: “se pueden quemar, pegar, recocer, obtener otro aspecto, subir el agua”. Frente a la posibilidad de lograr la preparación en la mitad del tiempo común, se afirmó como opción: disminuir la cantidad de reactantes y producto formado (23%), aumentar la temperatura en la cocina o de los ingredientes (31%), cerrar y aislar herméticamente del horno (15%), junto con disponer de un mayor contacto con la fuente de calor (15%). En su totalidad, desconocieron la existencia de sustancias que aumentan la rapidez y no se consumen en el proceso, siendo reutilizados a su término. Algunas respuestas relevantes, fueron: “haciendo menor cantidad de comida”, “subiendo la temperatura del horno”, “aislar y cerrar bien el horno”, “aumentando el fuego” y “haciendo una masa más delgada”.

Finalmente, al abordar la actividad NdC donde se comparó la química con la cocina, se obtuvo una gran diversidad de respuestas opuestas. Algunos(as) estudiantes consideraron que las recetas y teorías científica son tentativas-provisorias (85%), sí requieren de creatividad e imaginación (69%), están basadas en evidencias y experiencias previas (69%), utilizan

© 2018 Revista Electrónica de Innovación en Enseñanza de las Ciencias (Pontificia Universidad Católica de Valparaíso) <http://www.reinnec.cl>

métodos diversos (62%), inferencias, deducciones y predicciones (62%), así como forma parte de un saber validado en comunidades (54%) y depende del contexto social (62%), económico y tecnológico (54%). En cambio, el porcentaje restante de cada aspecto corresponde a estudiantes que defendieron la idea de un conocimiento científico objetivo, descontextualizado, producido por descubrimiento, netamente empírico, donde sólo las teorías se modifican, las leyes son definitivas, y se trabaja en base a un único método cuyos resultados no requieren de un trabajo colaborativo de validación. Algunas respuestas relevantes en NdC, se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 6:** Respuestas relevantes sobre NdC en sesión 1. (Fuente: Elaboración del autor).

*“Las recetas son provisorias, ya que cada uno la puede preparar a su gusto”, “las teorías cambian, pero las leyes no”, “las teorías son más flexibles, las leyes se aplican siempre igual para distintos casos, son definitivas”, “ambas requieren creatividad, porque se les deben ocurrir a alguien la receta o la explicación o el experimento”, “se utilizan datos y mediciones”, “en ambos hay elementos de objetividad y subjetividad”, “el contexto sí influye en la ciencia y sus aplicaciones, así como en la cocina”, “la tecnología influye para saber la receta”, “todos podemos crear teorías, ahora va a depender del % de credibilidad y de cantidad de verdad en su teoría/ley”, “la cocina no tiene hipótesis ni predicciones”, “el método científico es una guía” y “no siempre existe un solo método para llegar a una teoría, ya que 2 personas pueden tener mismas hipótesis, pero comprobarlas de distintas maneras”.*

### “Práctica 1: El burbujeo”

En esta actividad experimental, se realizó un trabajo colaborativo en equipos de 45 integrantes que incluyó la socialización de sus resultados en un plenario final. Se investigó el efecto de una sustancia, un catalizador, en una reacción de descomposición, según un enfoque de Predicción, Observación y Explicación (POE). Inicialmente, cada equipo realizó predicciones acerca de lo que se obtendría, basados en el texto de introducción a la actividad, mencionando la aparición de burbujas o *“un burbujeo constante”* (100%) y, sólo algunos, que el líquido inicial, agua oxigenada o peróxido de hidrógeno, cambiaría de color o desprendería un *“nuevo olor característico”* (31%). Al predecir el efecto de agregar una sustancia a la reacción, afirmaron que *“cambiará la reacción (62%), se formará otro producto (62%), cambiará de color (31%) y habrá una explosión (31%)”*. Todos los equipos registraron en la reacción sin catalizador una *“formación de burbujas pequeñas”* con 2 equipos interesados (62%) en, además de su tamaño, la rapidez y cantidad de su formación: *“todo es muy lento”* y *“se forman muy pocas”*. Para el registro de la reacción catalizada, todos los equipos coincidieron en que *“se forman muchas burbujas”* o *“se produce un gas, lo que comprueba que hubo una reacción”*, mencionando algunos que *“la mezcla o reacción se dispara o descontrola”, “el líquido aumentó su volumen en gran cantidad”, “se calentó el recipiente o aumentó su temperatura”* y *“se produce un olor desagradable”*. A partir de los anterior, todos los equipos explicaron/modelizaron la reacción, con la ayuda del docente, a través de su ecuación química balanceada,

$$2H_2O_{2(l)} \xrightarrow{\Delta} 2H_2O_{(l)} + O_{2(g)}$$
 expresando que se identifica o comprueba la naturaleza de cada sustancia por sus propiedades: *“el agua oxigenada libera oxígeno, el producto final tiene pH=7 y el gas liberado aumenta la llama de un fósforo encendido”*. La reacción se comprobó, a su vez, por la *“liberación de un gas y calor”*. Coincidieron todos en la evidencia

de que el catalizador *“sube la velocidad de la reacción más que la doble, sin salir del recipiente”* y que, *“la sustancia agregada permanece para ayudar con la reacción, pero se puede recuperar filtrando y reutilizarlo”*, lo que es importante *“para no gastar más materiales y no botarlo, contaminando el ambiente”*. Finalmente, desconfiaron (62%) de que *“sea infinito”* el catalizador, ya que *“no sabemos cuántas veces se pueda reutilizar”*.

*b) Fase de Introducción de nuevos conceptos “Comprendiendo la química, su historia e importancia”*

En esta segunda fase, los(as) estudiantes participaron en las actividades propuestas, relacionadas con la historia de la química y la relación entre sus áreas, como la Termodinámica y la Cinética química. En las ideas previas, los(as) estudiantes manifestaron características correctas acerca de la termodinámica (85%), unidad anterior en 3° año medio, pero poco acertadas para la cinética química y sus aplicaciones fundamentales (85%). Por ejemplo: *“la termodinámica estudia la energía de la reacción o el calor que se libera o absorbe”*, *“el estado inicial y final de una reacción”* y *“qué pasó en una reacción”*; en cambio, *“la cinética estudia cómo funciona una reacción”*, *“cómo pasó un cambio”* y *“cuánto se demora la reacción”*. Además, como parte de los fenómenos extraños, fue común la referencia a lo observado en la actividad anterior (77%): *“burbujeos, cambios de color, liberación de gases, olores, cambio de temperatura, explosiones”*.

A partir de la lectura del texto 1, todo el curso logró explicar semejanzas y diferencias entre la Termodinámica y la Cinética química, afirmando que: *“ambas son importantes en el estudio y la descripción de una reacción por la información que proporcionan”*, *“son complementarias, pero primero es importante saber si una reacción ocurre o no (termodinámica) y, luego, su rapidez o condiciones (cinética)”*, *“una dice ¿por qué pasó y qué necesita para que ocurra? y, la otra, ¿cómo pasó y qué tan rápido?”*, *“una estudia el estado inicial y final, pero la cinética estudia lo intermedio”*, *“una estudia la dirección y extensión, y la otra, la rapidez y sus factores”*.

Sobre el texto 2, todo el curso estudiantes identificaron semejanzas y diferencias entre los alquimistas y los investigadores científicos en el área de la catálisis, como por ejemplo: *“ambos buscan la transformación de las sustancias”*, *“estudiaron casi lo mismo, pero la alquimia creía en la magia”*, *“los alquimistas querían la piedra filosofal y convertir piedras en oro”*, *“los alquimistas no hacían públicos sus conocimientos, a diferencia de los científicos modernos que publican sus estudios en revistas internacionales”*, *“los químicos buscan tener un razonamiento lógico y no sobrenatural”*, *“la química trabaja con mediciones y explicaciones que se comprueban”*. Así como, también, los(as) estudiantes fueron capaces de relacionar estrechamente el contexto con el desarrollo de la química, en afirmaciones del tipo: *“la alquimia fue en la edad media, dominada por la fe cristiana”*, *“la ciencia siempre depende del clima político (guerras, necesidades industriales) y la tecnología (limitaciones)”*, *“ahora la ciencia es más independiente de la iglesia no así de los intereses económicos”*, *“la química como ciencia y cultura depende del contexto”*, *“los experimentos eran privados por el prejuicio de la brujería”*, *“ahora los químicos no están apegados a la iglesia”*, *“la química va evolucionando a medida que evoluciona la*

*tecnología, los modelos atómicos son un ejemplo de esto”.*

La guía finalizó con la argumentación sobre posibles razones, que se infieren de ambos textos, que permiten caracterizar el conocimiento sobre la catálisis como: (1) tentativo, provisorio, (2) basado en observaciones del mundo real o experimentos, (3) generado a través de distintos métodos y (4) aplicado a la solución de problemas. Los(as) estudiantes explicaron cada aspecto en forma sencilla según informa la siguiente tabla:

**Tabla 7:** Respuestas relevantes sobre NdC en sesión 3. (Fuente: Elaboración del autor).

<p><b>(1) Tentativo, provisorio:</b> <i>“acepta modificaciones y va cambiando según la época y las creencias”, “la alquimia cambió y evolucionó en el tiempo a la química moderna”, “las aplicaciones cambian, porque los catalizadores son cada vez mejores”;</i></p> <p><b>(2) Basado en observaciones del mundo real o experimentos:</b> <i>“toda la química, incluso la alquimia, trabaja con experimentos”, “tanto los alquimistas como los científicos modernos basan sus observaciones en experimentos”, “todo necesita ser comprobado en la práctica”;</i></p> <p><b>(3) Generado a través de distintos métodos:</b> <i>“se genera con distintos métodos y materiales”, “cada investigación es única, como cada época”, “la alquimia usaba otros métodos y materiales”, “siempre se necesitarán nuevos métodos y materiales”, “cada estudio requiere un método acorde”;</i> y</p> <p><b>(4) Aplicado a la solución de problemas:</b> <i>“sí, no sé si siempre los resuelve, pero gira en torno a problemas éticos, sociales (guerra, extracción del petróleo)”, “está más enfocada en los problemas económicos”, “esto permite disminuir, cada vez de mejor manera, los problemas de contaminación y eficiencia de los combustibles” y “no, está regulado por el mercado”.</i></p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### *“Rapidez de reacción: experimentos y teoría”*

En esta sesión, el curso participó de actividades que introdujeron los conceptos básicos de la cinética química, a partir de la visualización de videos explicativos de experimentos y su modelización teórica. El trabajo fue colaborativo en parejas de puesto y consideró la teoría de las colisiones y los factores que afectan la velocidad de una reacción química. Inicialmente, cada estudiante expresó sus ideas previas sobre el cómo ocurre una reacción, las condiciones necesarias y los factores que permiten que una reacción sea más rápida o lenta. La mayor parte (62%) de los(as) estudiantes mencionó a la *energía, el tipo y la cantidad de las sustancias* como aspectos importantes para que ocurra una reacción, siendo la *temperatura, el calor y un catalizador* lo que produce un cambio en la velocidad de una reacción química. Luego, todo el curso completó un recuadro con la información proporcionada por cada uno de los videos sobre el efecto de un factor en la rapidez de una reacción: temperatura, agitación y grado de división, concentración y presencia de un catalizador. Además de la explicación, lograron representar a nivel de las partículas lo ocurrido en cada situación, según sus ideas previas. Las representaciones elaboradas fueron de diversa complejidad, pero todas incluyeron una visualización de partículas dentro de un líquido en un recipiente de laboratorio. Al finalizar la guía, luego de leer y discutir la lectura propuesta, todo el curso completó un recuadro de síntesis, apoyado por la teoría de las colisiones y una revisión de los factores que afectan la velocidad de una reacción, sus ejemplos y aplicaciones. En todos(as) los(as) estudiantes se evidenció una ampliación de su explicación inicial basada únicamente en sus experiencias previas y en los videos expuestos. Para cada factor, proporcionaron una explicación en palabras y una modelización o representación del efecto de cada factor en las partículas de los reactantes, en base a la teoría

de las colisiones. Algunas respuestas relevantes, fueron: (1) *Temperatura*: “hace que las partículas se muevan más rápido y, si las partículas se mueven más rápido, tienen más tendencia a chocar”, “si se mueven más rápido tendrán más energía y llegarán a la Ea”; (2) *Agitación y grado de división*: “al no ser agitados, no hay energía suficiente, además, al no estar divididos, las partículas no se encontrarán debido a la baja probabilidad de choque”, “hay partículas más internas que no se van a encontrar, porque el sólido no está muy dividido”, “es lenta, pues las moléculas no tienen tanta superficie de contacto”; (3) *Catalizador*: “acelera la reacción, porque produce más colisiones pues se requiere menos energía para que suceda”, “bajan la energía de activación”, “muchas colisiones de menor energía”, “se gasta menos energía, por lo tanto es más rápida”. En la explicación del catalizador les resultó compleja su relación con las colisiones y ningún estudiante elaboró una representación completa sobre su efecto en la energía de activación, aun cuando todos afirman que acelera la reacción.

Finalmente, frente a la pregunta NdC sobre el carácter empírico y basado en evidencias u observaciones de la cinética química, las respuestas enfatizaron que la química es una ciencia experimental y que necesita experimentos para comprobar sus hipótesis o teorías. Algunas afirmaciones obtenidas, se reúnen en la siguiente tabla:

**Tabla 8:** Respuestas relevantes sobre NdC en sesión 4. (Fuente: Elaboración del autor).

*“pues es imposible tener todos estos conocimientos sin nunca antes haberlos probados”, “porque aún no se pueden ver los átomos y estudiarlos, así que para sacar conclusiones de los experimentos, sólo se pueden observar las reacciones desde afuera y analizar desde un punto de vista humano, sin poder llegar bien al fondo del experimento”, “tenemos que evaluar las reacciones respecto a sus características medibles a base de experimentos”, “porque la única manera de estudiarlas es haciendo experimentos y observando” y “porque todo está basado en mediciones, no se puede simplemente llegar y crear conceptos, ya que para comprobar esto, para proponer o plantear algo, es necesario experimentar y confirmar nuestras teorías. Incluso a veces, desde un experimento, se pueden descubrir más cosas de las que se planeaba, ya que la química es una rama llena de secretos por descubrir y comprobar”.*

### c) Fase de Estructuración “¿Catálisis y catalizadores?”

En esta tercera fase, los(as) estudiantes participaron en las actividades que permitieron una comprensión más profunda de la catálisis como factor que afecta la rapidez de una reacción, en base al trabajo colaborativo grupal se incluyó la socialización de sus respuestas en un plenario al término de la sesión. En las ideas previas, se presentó a los(as) estudiantes algunas imágenes de procesos, artículos y productos de uso cotidiano, como fertilizantes, automóviles, plásticos, alimentos y combustibles, buscando que identificaran la situación y su relevancia social, medioambiental y económica. La mayoría (69%) identifica los procesos y menciona su importancia, sin embargo, ningún equipo lo relaciona con la catálisis. A continuación, la guía informó sobre los conceptos fundamentales que permiten caracterizar la catálisis como un área de la química, con sus fundamentos y aplicaciones más relevantes. Se incorporaron los tipos de catalizadores, características principales, ejemplos y una explicación detallada de sus efectos en la energía de activación, a través de una analogía, junto con las ventajas y desventajas de los sistemas homogéneos, heterogéneos y biológicos. Los(as) estudiantes respondieron, luego, preguntas basadas en la discusión de la guía, para

finalizar con la elaboración de un mapa conceptual sobre la misma.

En la explicación sobre cómo identificar que en una reacción ha actuado un catalizador, se atribuyó al aumento de su rapidez, así como a la detección de que no se ha consumido el sistema incorporado, por todos los equipos. De esta manera, *“se reconocería porque la velocidad aumenta drásticamente o, porque disminuyó al punto de casi no realizarse (inhibidores)”*, *“el catalizador permanece luego de la reacción, siendo fácil recuperarlo en una reacción heterogénea”*, *“porque la energía de activación disminuyó”* y *“porque la reacción es mucho más lenta si no se agrega esta sustancia”*. Además, los tipos de catalizadores se reconocerían por su estado luego de ocurrida la reacción; es decir: *“los catalizadores no se gastan, por lo que al finalizar la reacción debería quedar la misma cantidad de la sustancia en cuestión que cuando comenzó”*, *“los heterogéneos se recuperan fácilmente, ya que son sólido”*, *“los catalizadores homogéneos son difíciles de recuperar y muy poco estables”*, *“las enzimas son muy delicadas”* y *“cada catalizador actúan en reacciones específicas: el Fe se reconoce porque actúa en aceites, el MnO<sub>2</sub>, oxida compuestos orgánicos, el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, deshidrata compuestos orgánicos, el H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, polimeriza hidrocarburos y la lactasa, desintegra la lactosa de la leche”*.

Todos los equipos acertaron en identificar el gráfico de baja energía de activación como aquel relacionado con el efecto de un catalizador, explicando su efecto: *“la reacción está catalizada, porque la energía de activación es muy baja, similar a la energía de los reactantes”*, *“la reacción no está catalizada, porque la energía de activación es mucho más alta que la de los reactantes”*, *“en el gráfico de mayor energía de activación, la barrera de energía que se debe superar para formar producto es enorme, por lo que se ha usado un catalizador”*.

La guía finalizó planteando, primero, una reflexión acerca de si existe un catalizador “ideal” que pueda actuar bien en todas las reacciones y bajo cualquier condición, a lo cual muy pocos estudiantes (31%) defendieron alguno, ya que la discusión se centró en reconocer que cada cual tiene sus ventajas y desventajas (100%). La mayoría se inclinó por las enzimas (69%), debido a su alta eficiencia, ser biodegradables, sustentables y compatibles con organismos o el medioambiente. Un equipo prefirió los catalizadores heterogéneos, ya que, si bien no presentan gran actividad, son muy estables y se puede recuperar y reutilizar muchas veces. Quienes negaron directamente la existencia de un tipo de catalizador ideal (69%), respondieron: *“ninguno de los 3, debido a que esto dependerá de los reactantes/reacción en cuestión”*, *“no existe, el catalizador más cercano a ser ideal va a depender de la reacción y de las condiciones de esta”*, *“todos tienen sus ventajas y desventajas, y cada uno funciona mejor en un cierto tipo de reacción”*. Luego, se reflexionó sobre la relación de la catálisis con otras áreas como la ingeniería industrial, la tecnología de los alimentos y la biología (bioquímica y ecología), a lo cual cada grupo consideró que esta relación es importante para el desarrollo social, en afirmaciones como: *“la catálisis es relevante para las demás áreas, ya que éstas encuentran utilidad en el mercado”*, *“yo diría que la catálisis es útil para otras áreas, ya sean aplicadas o teóricas, incluso serviría en áreas sociales, como analogía”*, *“en biología se ocupa para la síntesis de medicamentos, en alimentos se pueden hidrogenar*

aceites o producir abono sintético, en la industria permite producir plásticos y derivados del petróleo”, “permite obtener los combustibles del futuro o biocombustibles”, “permite reducir la contaminación, ayudando al medioambiente”.

Terminando estas respuestas, cada grupo elaboró un mapa conceptual según una pauta, en la cual integraron los conceptos y aplicaciones de la catálisis, informados en la guía. La siguiente figura muestra cada mapa conceptual elaborado, donde destaca una buena organización de los conceptos, enfatizando en mayor o menor medida a clasificación de los catalizadores, las aplicaciones de la catálisis y su explicación según la teoría de las colisiones (energía de activación).

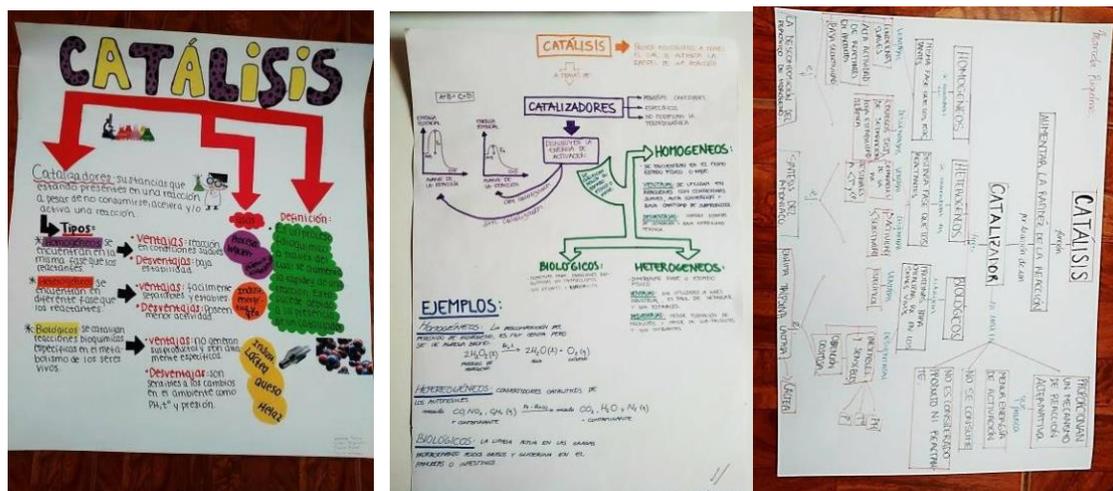


Figura 10. Ejemplos de mapas conceptuales elaborados. (Fuente: Elaboración del autor y de sus estudiantes).

### “Catálisis heterogénea: sólidos mágicos”

En esta sesión, los(as) estudiantes participaron en las actividades que abordaron los aspectos más elementales de la catálisis heterogénea, específicamente, con ejemplos de sus aplicaciones más relevantes. Se discutieron conceptos como: la fase activa, superficie activa y sitio activo, la textura, actividad, selectividad y estabilidad, así como también el mecanismo general de una reacción catalítica heterogénea. El trabajo fue colaborativo en equipos y considero, inicialmente, las ideas previas de los estudiantes acerca de cómo ocurre una reacción cuando actúa un catalizador heterogéneo, es decir, un planteamiento teórico, modelización o representación de la acción del catalizador en la reacción. Cada estudiante expresó sus ideas previas sobre cómo ocurre una reacción en la que interviene un catalizador heterogéneo, paso a paso, aspecto totalmente desconocido por los(as) estudiantes, por lo cual sólo 3 de ellos (23%) respondió, recordando su efecto en la energía de activación, algo que no es específico para un sistema heterogéneo. A continuación, a partir de la lectura y discusión de la información proporcionada en la guía, el curso discutió y respondió una serie de preguntas enfocadas en evaluar su comprensión sobre la catálisis heterogénea. Por ejemplo, todo el curso fue capaz de establecer la relación fase activa- superficie activa- sitio

activo, entendiendo que: *“la composición del catalizador es la fase activa que permite que sea un catalizador”, “los sitios activos son lugares específicos donde se activan los reactantes”, “la superficie activa es la región dónde ocurrirá la reacción” y “puede existir una fase activa sin superficie activa y sin sitios activos, pero no en orden inverso”*. Justificaron, además, que los catalizadores heterogéneos son específicos para algunos reactantes o reacciones, aunque menos que los homogéneos y biológicos, por lo que no se pueden emplear indistintamente en cualquier proceso, según: *“cada catalizador presenta una fase activa para ciertos reactantes o sólo en algunas reacciones”, “los sitios activos pueden favorecer a algunos reactantes y no a otros, incluso por tamaño de las moléculas y de sus enlaces” y “algunos catalizadores pueden actuar en el mismo tipo de reacción (metales y sus óxidos), pero no serán igual de buenos para todos los reactantes”*. En este sentido, nuevamente enfatizaron la inexistencia de catalizadores ideales, en este caso heterogéneo, pero uno muy eficiente se relacionaría con sus propiedades físico-químicas: *“deben tener una fase muy activa para la reacción y los reactantes”, “una gran superficie de reacción llena de sitios activos”, “es importante que sea muy estable a distintas condiciones, sobre todo para la industria”, “que sea selectivo para el producto que quiero” y “la textura debe favorecer la reacción, por lo que ojalá sea lo más poroso”*. Luego, comprendieron que existen técnicas que modifican o mejoran un catalizador, explicando que: *“se pueden modificar agregando sustancias como promotores”, “le puedo aumentar la actividad o selectividad con promotores específicos” y “un soporte ayudaría a tener más superficie activa”*.

Finalmente, en respuesta a la analogía planteada en la guía entre el mecanismo general de una reacción catalítica heterogénea y la “visita a la peluquería” o “ir a jugar a la pelota”, no todos(as) la comprendieron directamente, ya que fue necesaria una explicación en clase. A ello respondieron (77%): *“al ir a jugar a la pelota debo estar preparado para el juego, entrar a la cancha, jugar, salir de la cancha y regresar a casa, como un catalizador en una reacción”, “las reacciones necesitan energía y para jugar a la pelota también es necesaria”, “al ir a cortarse el pelo el estado inicial es diferente al final, donde el cambio ocurre en la peluquería” y “debo llegar a la peluquería, cortarme el pelo (cambio) y salir, como un reactante en un catalizador”*.

#### d) Fase de Aplicación “Aplicaciones de la Catálisis heterogénea”

En esta última y cuarta fase, todos(as) los(as) estudiantes participaron activamente en la sesión, la que propuso al curso relacionar los conceptos revisados, analizados y estructurados anteriormente, con sus aplicaciones más relevantes, como forma de sintetizar los temas en marcos o modelos conceptuales significativos. Se incluyó el análisis de la importancia del convertidor catalítico, como ejemplo de catalizador heterogéneo aplicado al contexto. La primera actividad, consistió en revisar videos breves acerca de los fundamentos de la catálisis heterogénea, como síntesis y recuperación de la sesión anterior, de lo cual se realizó un breve repaso. Luego, respondieron una breve evaluación inicial con el mismo objetivo. La guía comprendió una actividad central de lectura y análisis de 2 textos que vincularon la catálisis heterogénea con el medioambiente y la historia de la química. Los textos fueron archivos oficiales de noticias y artículos de prensa o periodismo científico. A partir de la lectura, reflexión y discusión de cada uno de ellos, en parejas de puesto respondieron algunas

cuestiones que profundizaron en la comprensión de la catálisis heterogénea.

La primera pregunta establecía una relación entre los textos en la guía, los que se conectaban en la relevancia de la catálisis heterogénea, según lo explicaron todas las parejas: *“todos hablan de cómo algunos dispositivos en base a catalizadores disminuyen la contaminación del aire”* y *“los textos hablan sobre el daño en el medioambiente y en el aire. Buscando qué acciones y qué hacer para disminuirlas, opciones tecnológicas que contaminan menos, etc...”*. Además, *“todo ocurre en un mismo espacio”*, *“estas 3 propiedades definen la velocidad de una reacción catalizada”*, *“los 3 sirven para acelerar y mejorar un proceso”*, *“la catálisis estudia problemas ambientales como contaminación del aire, creando los convertidores que la disminuyen”*, *“la contaminación es un grave problema que se reduce con convertidores catalíticos”*, *“la catálisis junta la ciencia y la tecnología”*, *“los automóviles deben usar convertidores catalíticos para evitar muertes porque el aire está muy contaminado”*, *“la catálisis busca soluciones, pero aún no las tiene todas, por el calentamiento global”* y *“se reduce la contaminación, pero produce gases del calentamiento global”*.

Luego, todo el curso identificó el aporte de la catálisis a la sociedad y al medioambiente, discutiendo sobre él y respondiendo: *“la catálisis es muy útil para los procesos cotidianos de las personas, como muestra el texto, los convertidores catalíticos de los autos han ayudado a descontaminar las ciudades”* y *“se usan para medicamentos o para transformar los contaminantes de los autos en otras sustancias. También han ayudado a industrializar productos vegetales”*. Además, *“reduce la contaminación del aire que mata muchos niños”*, *“no ayuda a evitar el calentamiento global”*, *“soluciona un problema, pero crea otro”*, *“ojalá logren los autos a base de hidrógeno”*, *“salvamos humanos, pero seguimos afectando a otras especies”* y *“los convertidores catalíticos han salvado muchas vidas de niños”*.

Las preguntas siguientes relacionaron la acción de ciertos catalizadores con su representación en un diagrama de avance de una reacción, lo que no les resultó sencillo. Con la ayuda del docente, al total del curso le fue posible elaborar gráficos de un perfil de reacción para 2 de las reacciones exotérmicas que ocurren al interior de un catalizador heterogéneo: reducción de  $2\text{NO}_x \rightarrow x\text{O}_2 + \text{N}_2$ , oxidación de  $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$ , y oxidación de hidrocarburos no o parcialmente quemados a dióxido de carbono y agua. El gráfico recordó que una reacción catalizada ocurre por un camino de menor energía de activación, según lo discutido en las anteriores fases. Los(as) estudiantes eligieron 2 de estas reacciones (62% CO y 38%  $\text{NO}_x$ ) para graficar en un correcto y completo perfil de reacción. Nuevamente, esta modelización requirió apoyo adicional del docente para la mayor parte del curso (77%), mostrando la dificultad que significa la representación en gráficos y modelos de ciertos procesos dentro de un perfil de reacción, por lo cual el docente ejemplificó para que luego lo hicieran por su cuenta. A su vez, eligieron una de las reacciones y la representaron en sus 3 etapas químicas fundamentales (adsorción, reacción y desorción), según el mecanismo general revisado la clase anterior. En el dibujo del mecanismo de acción de un catalizador heterogéneo, todo el curso eligió la oxidación de CO y lo realizó sin mayores complicaciones, debido a que se había repasado al comienzo de la clase por una duda de un estudiante. Se reforzaron las 3

etapas fundamentales, pidiendo que rotularan dónde y cuándo se producía *la adsorción, la reacción química superficial y la desorción*.

A continuación, se les preguntó su opinión acerca de los intereses de quienes investigan y aportan a la humanidad toda su vida sin obtener grandes reconocimientos, expresando las respuestas reunidas en la tabla 9. Éstas, entre otras muchas interesantes respuestas defendidas en plenario, dieron a entender el alto nivel de discusión sobre los intereses y propósitos de la investigación científica.

**Tabla 9:** Respuestas relevantes sobre NdC en sesión 7. (Fuente: Elaboración del autor).

*“para mí esa gente es/son verdaderos científicos que trabajan sin esperar remuneraciones adicionales, no como otros que tienen el conocimiento en crisis por pensar solamente en que deben pagarles”, “es triste que no puedan ver sus inventos aplicados, pero hay que agradecer el que, a pesar de esto, no se hayan rendido en desarrollar su invento”, “cuando uno trabaja no debería ser en pos de que aparezca tu nombre en la creación o poder hacerte millonario. Cuando uno trabaja o investiga lo hace por un bien mayor”, “es algo que pasa en muchas áreas de trabajo, pero de todos modos es algo penoso, pues se realiza un gran esfuerzo y no se reconoce” y “es esperable, la vida no es justa y la ciencia no debería existir para alimentar egos, sino para generar conocimientos en la mejora de la humanidad”.*

Al término de la sesión, compartieron sus respuestas sobre algunas afirmaciones que se presentaban y sobre las que debían opinar. En este punto, lo importante fue generar reflexión y discusión sobre: (1) la catálisis heterogénea y su aporte a la humanidad, (2 y 3) medidas o políticas para prevenir y resolver el problema de la contaminación, (4) la historia de la ciencia, y (5) la investigación científica y sus implicancias sociales y personales. Algunas respuestas relevantes, se reúnen en siguiente tabla:

**Tabla 9:** Respuestas relevantes sobre NdC en sesión 7. (Fuente: Elaboración del autor).

<b>Afirmación</b>	<b>Opinión, justificación</b>
“La catálisis aporta al beneficio de la humanidad y los seres vivos que habitan el planeta”	<i>“Sí, porque ayuda a evitar que los gases contaminantes salgan a la atmósfera”, “sí, ayuda a que las reacciones sean más rápidas y se produzcan más alimentos”, “sí, podemos disminuir la contaminación ambiental”, “sí, ayuda a mejorar varias cosas, como que las plantas crezcan”, “sí, siempre que sea bien utilizada, la química tiene riesgos”</i>
“Se debe prohibir el uso de los automóviles y el funcionamiento de las industrias que contaminan”	<i>“No necesariamente prohibir, sin que tomar medidas al respecto y tecnologías para que éstas contaminen menos”, “prohibirlos, sino ampliar el uso de convertidores catalíticos mediante reglamentos nacionales, así como otros métodos de regulación de las emisiones, y más en las industrias”; “sí, porque el planeta está muy contaminado por el humo, petróleo, etc. Y estos materiales hacen que se contamine más rápido y con mayor densidad”</i>
“Si todos los automóviles e industrias utilizaran convertidores catalíticos, no existiría contaminación atmosférica (aire)”	<i>“Sí, porque éste ayudaría a que los materiales que contiene un automóvil sean menor”, “no dejaría de existir la contaminación atmosférica, sólo disminuye, debido a que hay más factores relacionados con la contaminación del aire”, “no, existiría, pero estaría más controlada”, “no, ya que lo único que harían los convertidores sería controlar y reducir los gases contaminantes, pero no elimina la contaminación que ya existe”.</i>
“La historia de la química está llena de	<i>“No todos, pudieron ver las verdaderas aplicaciones que tenían sus inventos, pero al final si terminaban dando un aporte y revolucionando,</i>

logros, ya que todos los científicos descubrieron y aplicaron sus inventos”	<i>eso es lo importante, contribuir a la humanidad y cuando ya no están les dan su reconocimiento”, “no, algunos robaron descubrimientos y no todos tuvieron la oportunidad de aplicarlos”, “no se aplican siempre los inventos de los científicos”, “sí, pero también de fracasos y de científicos que se venden y aplican sus conocimientos a favor de unos pocos”.</i>
“Los científicos buscan desarrollar conocimientos y aplicarlos en la solución de problemas reales o relevantes”	<i>“Sí, para entender los procesos y hacer algo al respecto”, “Sí, están toda su vida resolviendo los problemas de los humanos”, “sí, ese es, según yo, el objetivo de un científico”, “Hoy en día, según mi parecer, pocos trabajan por y para las personas. La mayoría hace investigaciones para privados los cuales no buscan solucionar las problemáticas sino aumentar su capital”, “correcto, pues estos no pueden realizar una tesis sin llevarla a la práctica” “Por lo general, sí, ya que se han hecho hartas cosas interesantes”, “los científicos buscan conocimientos que PUEDE resultar en soluciones”.</i>

La sesión finalizó respondieron el KSPI.

### Resultados generales de respuestas relevantes en entrevistas

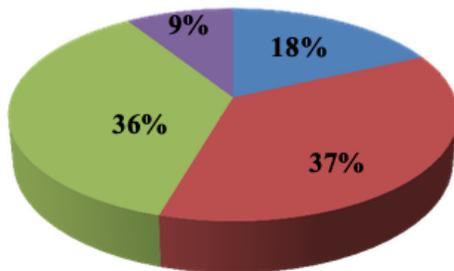
Luego de implementada la SEA, se analizaron las respuestas de los(as) estudiantes del curso y su participación en las actividades propuestas, seleccionando 4 estudiantes (denotados como E1, E2, E3 y E4) de interés para recoger sus impresiones, reflexiones o conclusiones sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje vivido en la unidad de cinética química. Este grupo de estudiantes mostró reflexiones, discusiones y aportes fuertemente relacionados con NdC y la catálisis heterogénea, junto con trabajar adecuadamente en los trabajos individuales y grupales. Por ello, se les solicitó voluntariamente responder un cuestionario breve y participar de una entrevista o conversación breve junto a sus compañeros(as), con el objetivo de conocer sus reflexiones, aprendizajes y comentarios finales de la unidad. El cuestionario fue respondido y socializado entre los(as) estudiantes seleccionados, obteniendo los a continuación los siguientes resultados.

Los estudiantes seleccionados, aquellos que mejor participaron de las actividades propuestas en la SEA, se inclinan por estrategias de enseñanza-aprendizaje que involucran revisar las aplicaciones de la catálisis en la vida cotidiana, realizando experimentos que evidencien empíricamente sus propiedades y efectos sorprendentes en una reacción (gráfico 9). Además, un porcentaje menor prefiere la observación y estudio de videos, así como realizar lecturas que involucren conceptos y aplicaciones. Cada preferencia se encuentra debidamente justificada, según sus propias palabras: (E1) *“La estrategia de enseñanza que me pareció más práctica y con la que aprendí más, fue con los videos, ya que esta se complementaba con la materia teórica, por lo tanto, esto facilitaba el aprendizaje, por ejemplo, para los que tenemos memoria visual. También se suman a mi respuesta, los experimentos y aplicaciones, ya que uno al realizar estos comprende mejor la materia y a la vez, demuestra que la has aprendido.”*, (E2) *“los experimentos y aplicaciones, porque permiten desarrollar interés por el pensamiento científico y (especialmente la estrategia de aplicación) nos permite darle mayor utilidad e importancia en la vida cotidiana a la química”, (E3) “creo que todas son significativas, depende de cada persona la forma de aprender. Personalmente, me sirven mucho los ejemplos cotidianos, gráficos, videos, experimentos y aplicaciones”* y (E4)

“Lectura, ara entender de manera teórica; Experimentos y Aplicaciones, para poner en práctica la teoría y ver qué tanto se acerca a lo sucedido”. Esto supone una estrecha relación entre el tipo de actividad propuesto en la SEA y sus preferencias, lo cual motivó su participación.

### Estrategias enseñanza aprendizaje preferidas por los estudiantes

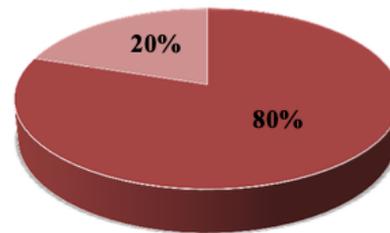
■ Videos, imágenes ■ Experimentos  
■ Aplicación ■ Lectura



**Figura 11.** Estrategias enseñanza aprendizaje preferidas por los estudiantes (Fuente: Elaboración del autor).

### Formas de trabajo preferidas por los estudiantes

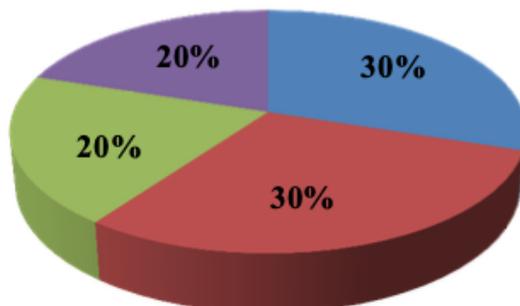
■ Grupales ■ Individuales



**Figura 12.** Formas de trabajo preferidas por los estudiantes (Fuente: Elaboración del autor).

### Temas de lectura preferidos por los estudiantes

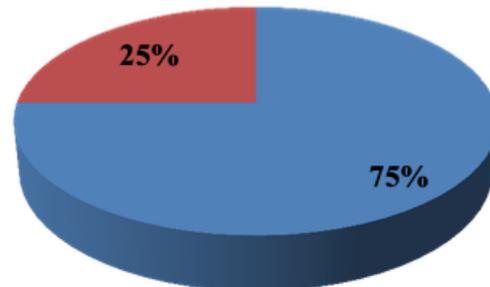
■ Impacto ambiental ■ Aportes  
■ Desafíos ■ Conceptos



**Figura 13.** Temas de lectura preferidos por los estudiantes. (Fuente: Elaboración del autor).

### Evaluación de la secuencia por los estudiantes

■ Positiva sin sugerencias  
■ Positiva con sugerencia



**Figura 14.** Evaluación de la secuencia por los estudiantes. (Fuente: Elaboración del autor).

Además, los resultados muestran que se prefiere trabajar en grupo, principalmente (figura 12), a través de equipos colaborativos, sin olvidar la importancia del trabajo personal en la reflexión y construcción de las ideas propias. Según los estudiantes, (E1) “La estrategia que más me gustó y me funcionó fue el aprendizaje en grupo, ya que esto nos permitió aprender en conjunto. También, podemos decir que gracias a este método podemos comparar respuestas, darnos cuenta inmediatamente de nuestros errores, corregirlos y aprender de

éstos”, (E2) “la estrategia más significativa en las guías es cuando se hacen actividades grupales, porque de esta manera es posible comparar los resultados y opiniones”, (E3) “me gustan las actividades grupales, ya que generalmente trabajamos bien en conjunto y se avanza rápidamente” y (E4) “Las individuales, ya que fuerza a trabajar a todos. Pero si el objetivo no fuera sólo aprender química, sino el trabajar en equipo también, otros métodos serían considerados”. En este sentido, se observa que la preferencia está justificada por la calidad de interacción que permite el trabajo en equipos colaborativos, la rapidez del proceso y los aprendizajes que se obtienen como resultado, logrados luego de compartir opiniones diversas. Luego, la figura 13 muestra la forma preferida de abordar el tema de catálisis por los estudiantes en las lecturas y revisiones dentro de la SEA, obteniendo porcentajes similares las lecturas sobre los impactos ambientales, sus desafíos, aportes y conceptos fundamentales, a través de imágenes y gráficos. Según ellos: (E1) “Las estrategias más importantes son la enseñanza de conceptos básicos y fundamentales de la química (cómo ésta funciona), también es importante conocer las aplicaciones de la química (industriales, vida diaria, etc.), aunque también son útiles las otras estrategias”, (E2) “Creo que todas estas estrategias de enseñanza son muy importantes, porque nos permiten percibir la utilidad que la cinética tiene en la química y sus aportes. Sin embargo, considero que los más importantes son sus aportes y sus desafíos actuales, estos permiten ver la química como una ciencia que está en constante cambio y que busca solucionar los conflictos sociales”, (E3) “De nuevo creo que todos son importantes, pero personalmente me gusta saber el impacto ambiental, ya que me interesa saber cómo reducir el calentamiento global y la contaminación” y (E4) “Creo que conceptos y su lógica y ver cómo se aplican en el mundo. Creo que más que eso, no se alcanza a pasar todo tan bien”. De lo anterior, se concluye que los estudiantes manifiestan sus preferencias según sus inquietudes personales al estudiar un tema y conectarlo con otras áreas, reconociendo que todas las estrategias son importantes porque dan mayor amplitud al tema en estudio.

Finalmente, cuando se les solicitó evaluar la implementación de la SEA, los estudiantes se mostraron completamente a favor de su diseño e implementación, expresando sólo comentarios positivos hacia ella (Figura 14) y agradeciendo al docente la oportunidad de participar del estudio. En sus palabras: (E1) “Me gustó mucho la unidad y la asignatura en general este año, lo único que agregaría serían más videos, hacer más guías de selección múltiple, ya que éstas son en las que yo, personalmente, fallo más al momento de realizar una evaluación. También integrar más videos, ya que así mejoramos la comprensión. Pero más que nada, felicitar al profesor Vicente ya que el profesor siempre es el pilar fundamental del aprendizaje, y el profesor Vicente, siempre con un ánimo genial y motivación con lo que hace y enseña, nos contagia ese interés y creo que es por lo mismo que este año aprendí mucho. ¡Felicitaciones!”, (E2) “Creo que esta forma de enseñar es la correcta, no le haría ningún cambio”, (E3) “La verdad, no tengo ninguna. Creo que la forma de pasar los contenidos nos sirve a todos. Además, el ánimo y pasión del profesor son contagiosos y animan a prestar atención y aprender” y (E4) “Probablemente, hacer las cosas un poco más simples. Existen momentos que por el bien del entendimiento es mejor omitir algunos detalles para que se entienda más, y luego, una vez ya comprendido mejor, añadir los detalles”. Estas últimas respuestas manifiestan el logro del diseño e implementación de la SEA, ya que son

los propios estudiantes, quienes vivieron el proceso, quienes pueden evaluar y comentar con mayor propiedad acerca de la SEA, enfocados en la enseñanza y el aprendizaje de la química.

## Discusiones

### **SEA como recurso para desarrollar la Naturaleza de ciencia (NdC) dentro del tema de catálisis heterogénea**

Según los resultados obtenidos en el estudio, es posible afirmar que los(as) estudiantes lograron un avance en su conocimiento y comprensión inicial acerca del tema de Catálisis heterogénea y NdC, a partir de la implementación de la SEA. Esto se relaciona con las características propias del diseño e implementación de la SEA, enfocada en NdC y basada en un ciclo constructivista de enseñanza-aprendizaje. Se incorporó el desarrollo de habilidades de identificación, comprensión, análisis, aplicación y síntesis sobre los temas que incorporaron, además, lecturas comprensivas, reflexiones, discusiones y modelizaciones en su aprendizaje. Esto se evidencia en las diversas respuestas que elaboraron de forma colaborativa en cada actividad propuesta, las que fueron diseñadas y guiadas con el objetivo de promover una comprensión fundamental de conceptos y aplicaciones relevantes de la catálisis heterogénea.

En sus respuestas se observa que las actividades de exploración fueron llamativas al considerar experiencias previas y cotidianas, como la cocina, junto con evidencias experimentales y situaciones desconocidas, como la acción de un catalizador y el burbujeo acelerado con liberación de calor o aumento de temperatura. Luego, la fase de introducción logró relacionar la unidad anterior con la actual, identificando semejanzas y diferencias de la termodinámica con la cinética, donde reconocieron que ambas son fundamentales y complementarias para el estudio de un cambio químico. Además, se interpretaron los factores experimentales que afectan la rapidez de una reacción, según el marco conceptual de la teoría de las colisiones. En la fase siguiente, los(as) estudiantes conocieron con mayor detalle y profundidad la catálisis heterogénea, donde sus respuestas evidencian una mayor complejidad frente a un tema nuevo de estudio, que involucra conceptos propios, tales como: textura, selectividad, actividad, energía de activación, sitios activos, superficie activa y fase activa. Se incluyó, además, un estudio del mecanismo general de acción de un catalizador heterogéneo, lo que necesitó de mayor guía por parte del docente mediante analogías. En este sentido, se comprueba que la catálisis heterogénea es un tema específico y que la modelización es una habilidad que la asignatura debe potenciar más dentro de las unidades temáticas, por su escaso desarrollo al término de la educación secundaria. Sin embargo, en esta fase y en la final, las respuestas de los(as) estudiantes muestran que las aplicaciones, la historia de la química y sus controversias son aspectos sobre los que pueden opinar y participar con mayor propiedad, debido a que expresan y discuten sus ideas, reflexiones y críticas de forma más elaborada. En consecuencia, los aspectos de NdC fueron más discutidos y generaron mayor participación en los(as) estudiantes del curso que los fundamentos de la catálisis heterogénea, como se puede reconocer en sus guías desarrolladas. De esta forma, las tablas de resultados muestran las diversas respuestas sobre NdC obtenidas a partir de las sesiones, donde se evidencia el desarrollo de una progresiva reflexión y discusión sobre la

ciencia, sus propósitos, métodos, impactos, beneficios, riesgos, influencias, aplicaciones y relaciones con el contexto histórico, social, tecnológico, político, cultural, económico, industrial y medioambiental. En este sentido, se comprueban las referencias teóricas acerca de que la incorporación de NdC, estrechamente ligada a la historia de la ciencia (HdC), permite que todos(as) los(as) estudiantes participen activamente reflexionando y discutiendo sobre una imagen naturalizada, y no ingenua, de la ciencia, compartiendo sus diversas opiniones acerca de su objetivo esencial, metodología, racionalidad y la naturaleza de las representaciones científicas que permiten conocer, describir e interpretar el mundo, contrastar ideas con experimentos y formular teorías o explicaciones basadas en la discusión de evidencias. Esto permite que avancen de un nivel inicial o previo de poco interés, conocimiento y reflexión hacia uno en el cual comentan con fundamentos y tomar posición acerca de una ciencia para todos(as), como parte de un proceso de alfabetización científica, la que es, además, tecnológica. Se apoya, además, con la presente SEA la idea de que las actividades o preguntas para el desarrollo de NdC deben ser explícitas y estrechamente relacionadas con el contenido científico, desde una metodología de reflexión y argumentación, según se revisó en el marco teórico (Furman y de Podestá, 2009; Estany, 1993; Echeverría, 1995; Izquierdo, M., 2000; Lederman, Lederman, N.G., 2010; Adúriz-Bravo A., 2005; Acevedo J., 2007; Adúriz-Bravo, A., 2007; Tsai, 2007; Quintanilla y otros, 2006; Khishfe & Lederman, 2006; Ravanal y Quintanilla, 2010; Abd-El-Khalick y Lederman, 2000; Brickhouse, Dagher, Letts y Shipman, 2000; Clough, 2003; Quintanilla, 2006).

### **SEA como recurso para enseñar catálisis heterogénea:**

Según los resultados obtenidos en el estudio, es posible afirmar que los(as) estudiantes lograron un gran avance en su conocimiento y comprensión inicial acerca del tema de Catálisis heterogénea, a partir de la implementación de la SEA (figura 7 y 8). La mayor parte de ellos(as), declaran finalmente haber logrado aprender los aspectos fundamentales del tema propuestos en cada actividad, situándose en un *nivel adecuado*, sobretodo en temas como: relación entre termodinámica y cinética de una reacción, aplicaciones de la catálisis, clasificación de catalizadores, importancia del convertidor catalítico y acción de un catalizador en la rapidez de una reacción. En cambio, persisten dificultades sobre el efecto de un catalizador en la Energía de Activación y en los factores que modifican la rapidez de una reacción, principalmente. Estos aprendizajes superan algunas concepciones alternativas sobre catálisis revisadas en el marco teórico (Çam, Topçu y Sülün, 2015; SALTERS, 2015; Oila y Koskinen, 2006; Heinemann, 1988; Kumar y Patil, 2014; Tasker, Standley y Jamison, 2014; Richards, 2006; Daoutsali, 2012), tales como: (1) la creencia de que los catalizadores son todos iguales o universales, actuando en las mismas reacciones y bajo condiciones comunes; (2) confusión de los tipos de catalizadores, su mecanismo de reacción y acción o participación; (3) consideración de que los catalizadores modifican los parámetros o funciones termodinámicas, favoreciendo la formación de productos no-espontáneos o termodinámicamente inestables; (4) defensa de la idea de que la catálisis heterogénea presenta sólo ventajas sobre la homogénea, sin considerar sus limitaciones en selectividad, actividad, velocidad de reacción por fenómenos de transporte y acceso a sitios catalíticos activos; y (5) para un convertidor catalítico, se cree que, si los gases no están completamente

quemados, el convertidor catalítico "da a los gases una oportunidad más de quemarse". Es decir, los gases se almacenan, se mantienen dentro del catalizador. Además, se cree que los catalizadores destruyen o absorben los contaminantes atmosféricos. Sin embargo, algunas concepciones alternativas demostraron ser más persistentes y/o resistentes a la SEA, relacionadas con la modelización del fenómeno de catálisis: (1) dificultad en comprender que la acción de los catalizadores en la energía de activación, en el mecanismo de la reacción y en permitir que una reacción sea más eficiente a una misma temperatura; (2) creencia de que cuando se añade catalizador a una reacción la energía de activación disminuye y, con ella, la velocidad de la reacción; y (3) se considera que la energía de activación no afecta la velocidad de reacción.

Según lo planteado en la investigación, el diseño e implementación de la SEA tuvo por objetivo general *evaluar el aporte de integrar aspectos de la didáctica de las ciencias experimentales, tales como la Naturaleza de la ciencia (NdC) y las concepciones alternativas (CA), en la enseñanza y el aprendizaje de la catálisis heterogénea a nivel escolar*. Por ello, cada actividad incluyó aspectos de NdC dentro de la catálisis heterogénea, considerando preconcepciones más frecuentes sobre este tema disciplinar específico. En este sentido, a partir de los resultados se comprueba que la implementación de la SEA logró un avance en el conocimiento y la comprensión de la catálisis heterogénea y de NdC en los(as) estudiantes del curso, desde un nivel básico o *insuficiente* hacia uno *adecuado o elemental*. Se evidencia que las actividades propuestas incorporan ideas y experiencias previas, situaciones nuevas, lecturas como espacios de reflexión, intercambio y discusión de ideas, aprovechadas por los(as) estudiantes dentro de sus procesos de aprendizaje colaborativo. Se incluyeron las relaciones dinámicas entre la teoría y la práctica, los conceptos y sus aplicaciones, la historia y evolución de la química, así como también sus controversias, desafíos actuales, impactos en el medioambiente, implicancias para la economía, la política y la sociedad actual, la que los(as) estudiantes identificaron y sobre las cuales expresaron sus impresiones.

Lo anterior permite afirmar que la SEA diseñada, validada e implementada cumplió su propósito general, luego de evaluar sus resultados. Esto demuestra la importancia de desarrollar los temas fundamentales de la química mediante la innovación, basada en aspectos aportados por la investigación en didáctica de las ciencias experimentales, tales como la Naturaleza de la ciencia (NdC) y las concepciones alternativas (CA). Estos planteamientos significan un avance en la enseñanza y el aprendizaje de la química escolar hacia la alfabetización científica (OCDE, 2008; Bybee y McCrae, 2011; Avededo, 2004.)

### Conclusiones

Los estudiantes mostraron un bajo nivel de conocimiento y comprensión inicial sobre aspectos de catálisis heterogénea y naturaleza de la ciencia, obteniendo un *nivel insuficiente* en sus primeros cuestionarios. La implementación de la SEA logró un avance en todos(as) los(as) estudiantes hacia los niveles *adecuado y elemental*, según los cuestionarios finales, comprobando que las actividades propuestas permitieron una apropiación de conceptos básicos de catálisis heterogénea y NdC.

Las actividades de exploración lograron una participación activa de todo el curso, incorporando la reflexión y discusión de ideas o experiencias previas sobre cocinar en el contexto de la química y del estudio experimental de la catálisis. En esta fase, se abordaron temas de NdC en relación a la cocina, así como el carácter empírico de la química en un trabajo práctico de laboratorio. La fase de introducción logró que los(as) estudiantes analizaran la historia de la química desde la alquimia, así como el avance de la catálisis y de sus aplicaciones en el siglo XX en relación con la industria, la política, la economía, la sociedad y el medioambiente, según demuestran sus respuestas. Estudiaron, los factores que modifican la rapidez de un cambio química, desde su interpretación según la teoría de las colisiones dentro de un modelo de partículas y un gráfico de perfil de reacción, lo que representaron adecuadamente con ciertas dificultades en sus habilidades matemáticas sobre gráficos. La fase siguiente de estructuración permitió profundizar aspectos específicos de la catálisis heterogénea y de NdC, en la cual se evidencia una mayor comprensión sobre NdC que de la catálisis, relacionado con la complejidad de conceptos nuevos como: fase, superficie y sitio activo, mecanismos de reacción y propiedades fisicoquímicas de un sistema catalítico. Sin embargo, se logró una organización de los conceptos en un mapa conceptual evaluado, así como una comprensión sobre los catalizadores a través de analogías y modelos presentes en las sesiones de trabajo. Finalmente, la fase de aplicación aprovechó todo lo aprendido anteriormente, por lo cual el curso participó activamente en el estudio sobre las relaciones de la catálisis heterogénea con el medioambiente, la industria, la vida cotidiana y la salud pública, discutiendo y planteando sus reflexiones críticas sobre estos temas. Se incluyó, además, aspectos de NdC acerca de la historia de la ciencia, los propósitos de sus estudios y las personas que los desarrollan.

Se hizo evidente la importancia de utilizar cuestionarios que permitan una reflexión y declaración sobre el conocimiento y comprensión de un tema, en las fases de exploración y aplicación. Se comprobó la alta participación que promueve una fase de exploración cuando incorpora elementos de la vida cotidiana conocidas, junto con hechos experimentales desconocidos y sorprendentes sobre los cuales realizar predicciones, observaciones y explicaciones (POE). Esta motivación permanece en toda la implementación de la SEA si se incluyen preguntas sobre NdC que relacionen la catálisis con la historia de la catálisis, sus logros, controversias, aplicaciones y desafíos. En este sentido, los resultados demuestran que las actividades de reflexión y discusión les resultaron más sencillas que aquellas donde se requerían habilidades de modelización, interpretación y el trabajo con gráficos. Frente a las dificultades, fue importante el plantear analogías y ejemplos con materiales sencillos como modelos.

El objetivo general y los objetivos específicos fueron cumplidos, respondiendo a la pregunta de investigación donde se evidenció que, en el contexto del estudio, la incorporación de la naturaleza de la ciencia (NdC) contribuye a lograr mejores aprendizajes en el tema de catálisis heterogénea, según la hipótesis propuesta. Sin duda, el trabajo colaborativo de los(as) estudiantes del curso y la guía del docente en las actividades de reflexión-discusión fueron fundamentales para el logro del propósito del presente estudio, el cual no buscó establecer una correlación entre variables, sino aportar a la didáctica de la química escolar una descripción y evaluación de la implementación de la SEA, incorporando NdC en el tema

de catálisis heterogénea.

Los resultados obtenidos demuestran lo relevante de un trabajo de validación que incorpore un diseño, su evaluación por pares expertos en química y didáctica, así como los comentarios de docentes y estudiantes. En este sentido, la SEA se propone a los(as) docentes como una guía que orienta procesos de enseñanza-aprendizaje sobre química escolar, promoviendo la participación de los estudiantes en los temas de la unidad de cinética química que demuestren su presencia y relevancia social, a través del desarrollo de habilidades científicas y comunicativas.

### Agradecimientos

Producto científico patrocinado por CONICYT – CHILE, a través de Beca Magíster Nacional 2016-2017. Se agradece a los(as) docentes (Dr. Cristian Merino, Dr. Mario Quintanilla y Mg. Felipe Gallardo), estudiantes (Pía Muñoz, Lucas Polymeris, Marcela Riquelme y Claudia Tinap) e investigadores (Dr. Ruddy Morales) que participaron del estudio, aportando en su diseño, validación, implementación y evaluación. Además, al programa de magíster en didáctica de las ciencias experimentales (PUCV) por la entrega de Beca MDCE-2017 que permitió exponer parte de este trabajo en Argentina el diseño de la SEA en las “XI Jornadas Nacionales y VIII Jornadas Internacionales de Enseñanza de la Química Universitaria, Superior, Secundaria y Técnica” (Asociación Química Argentina, 2017).

### Bibliografía

- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. (2000). Improving science teachers' conceptions of the nature of science: A critical review of the literature. . *International Journal of Science Education*, 22,, 665–701.
- Acevedo, J. (2004). Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: educación científica para la ciudadanía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1(1), 3-16.
- Acevedo, J. (2007). Investigación científica, naturaleza de la ciencia y enseñanza de las ciencias (II). *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4, 3, , 394 - 416.
- Acevedo, J. (2008). El estado actual de la naturaleza de la ciencia en la didáctica de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(2), 134-169.
- Adúriz-Bravo, A. (2007). ¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores de ciencias? Una cuestión actual de la investigación didáctica. *UNESCO*, 1-15.
- Adúriz-Bravo, A. (2005). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia. La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Buenos Aires: Fondo Cultural Económico, S.A.
- Ahiakwo, M., & Isiguzo, C. (2015). Students' conceptions and misconceptions in chemical kinetics in port harcourt metropolis of Nigeria. *AJCE*, 5(2)., 112-130. .
- American Chemical Society Report . (, (1996)). Technology Vision 2020, the Chemical Industry.
- Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University Press: New York, p.30.
- Angulo Delgado, F., & García Rovira, M. P. ( 1997). Aprender a enseñar ciencias: una propuesta basada en la autorregulación. . *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 1(0).
- Armor, J. (2011). A history of industrial catalysis. *Catalysis Today*, Volume 163, Issue 1, , Pages 3-9, ISSN 0920-5861, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cattod.2009.11.019>. .
- Atkins, P. (2008). *Química Inorgánica* . México: McGraw-Hill/Interamericana de México.
- Bernal, B., Castillo, A., Téllez, M., & Rodríguez, R. (2011)). La catálisis heterogénea aplicada en la obtención de biodiesel. Una alternativa para potenciar habilidades de pensamiento creativo. . *Tecné, Episteme y Didaxis: TEΔ., Número Extraordinario*.
- Blanco, J., & Linarte, R. (1976). *Catálisis: fundamentos y aplicaciones industriales*. México: Trillas.
- Bravo, M. C. (1989). El libro de texto y las ilustraciones: enfoques y perspectivas en la investigación educativa. *Enseñanza*, 41-50.
- Brickhouse, N., Dagher, Z., Letts, W., & Shipman, H. (2000). Diversity of students' views about evidence, theory, and the interface between science and religion in an astronomy course. . *Journal of Research in Science Teaching*, 37, , 340–362.

- Bybee, R., & McCrae, B. (2011). Scientific literacy and student attitudes: Perspectives from PISA 2006 science. *International Journal of Science Education*, 33(1), 7-26. doi: 10.1080/09500693.2010.518644
- Caamaño, A., Mayos, C., & Maestre, G. y. (1983). Consideraciones sobre algunos errores conceptuales en el aprendizaje de la química en el bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(3), 198-200. .
- Cabello, M. I. (2013). *Química 3°-4° Año Medio*. Santiago de Chile: Ediciones Cal y Canto.
- Cakmakci. (2010). Identifying alternative conceptions of chemical kinetics among secondary school and undergraduate students in Turkey. *Journal of Chemical Education* 87(4), 449 - 455.
- Cakmakci, G., Donnelly, J., & Leach, J. (2005). A cross-sectional study of the understanding of the relationships between concentration and reaction rate among Turkish secondary and undergraduate students. *Springer, Dordrecht*, 483-497.
- Cakmakci, G., Leach, J., & Donnelly, J. (2006). Students' ideas about reaction rate and its relationship with concentration or pressure. *International Journal of Science Education*, 28(15), 1795-1815.
- Çam, A., Topçu, M. S., & Sülün, Y. (2015). Preservice science teachers' attitudes towards chemistry and misconceptions about chemical kinetics. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, Volume 16, Issue 2, Article 10, 1.
- Carrascosa-Alís, J. (2005). *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 183- 208. .
- Castillo, J., Ogaz, R., Merino, C., & Quiroz, W. (2016). Ontological and epistemological analysis of the presentation of the first law of thermodynamics in school and university textbooks. *Chemistry Education Research and Practice*, 1041-1053.
- Clough, M. (2003). Explicit but insufficient: Additional considerations for successful NOS Instruction. . *Paper presented at the annual meeting of the Association for the Education of Teachers*. St. Louis, MO.
- Cofré, H. (2012). La Enseñanza de la Naturaleza de la Ciencia en Chile: del Currículo a la sala de clases. *Revista Chilena de Educación Científica*, 11(1), p. 12-21.
- Colmenares, A., & Piñero, M. L. (2008, ). LA INVESTIGACIÓN ACCIÓN. Una herramienta metodológica heurística para la comprensión y transformación de realidades y prácticas socio-educativas. *Laurus*, vol. 14, núm. 27, 96-114 .
- Cunningham, K. (2007). Application of reaction rate. *Journal of Chemical Education* 84(3), 430 - 433.
- Daoutsali, E. (2012). The car catalyst-students' misconceptions and how to challenge them. . *Review Of Science, Mathematics And ICT Education*, 5(2),, 71-83.
- Delgado, F. A., & García, M. P. (1997). Aprender a enseñar ciencias: una propuesta basada en la autorregulación. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*.
- Departamento de Estudios Pedagógicos de Ediciones SM-Chile. (2011). *Química-Nuevo Explorando 3° Medio*. Santiago de Chile: Ediciones SM Chile S.A.
- Departamento de Investigaciones Educativas de Editorial Santillana. (2012). *Química 3, Proyecto Bicentenario*. Santiago de Chile: Ediciones Santillana del Pacífico S.A.
- Echeverría, J. (1995). *Filosofía de la Ciencia*. Madrid: Akal Ediciones.
- Elliott, J. (1993). *El cambio educativo desde la investigación-acción*. Ediciones Morata.
- Estany, A. (1993). *Introducción a la Filosofía de la Ciencia*. . Barcelona: Editorial Crítica.
- Fechete, I., Wang, Y., & Védrine, J. (2012). The past, present and future of heterogeneous catalysis. . *Catalysis Today* 189, 2-27. .
- Fiore, E., & Leymoníé, J. (2007). *Didáctica práctica para enseñanza media y superior*. Montevideo: Magró.
- Fuentes, S., & Díaz, G. (1997). *Catalizadores, ¿la piedra filosofal del siglo XX?*. México: Fondo de cultura económica. .
- Furió, C., & Furió, C. (2000). Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos. *Educación Química* 11(3), 300-308.
- Furman, M., & de Podestá, M. (2009). *La aventura de enseñar ciencias naturales*. Argentina: Editorial Aique.
- Galagovsky, L., & Bekerman, D. L. (2009). La Química y sus lenguajes: un aporte para interpretar errores de los estudiantes. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Vol.8 N°3*.
- González López, J., & Ruiz Hernández, P. (2011). Investigación cualitativa versus cuantitativa: ¿dicotomía metodológica o ideológica? *Index de Enfermería*, 20(3), 189-193.
- Heinemann, H. (1988). Development in catalyst based technologies . *Catalysis Letters* 1 , 413 422.
- Housecroft, C., & Sharpe, A. (2006). *Química Inorgánica*. Madrid: Pearson Educación S.A. .
- Izquierdo Aymerich, M. (2004). Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química:. *The Journal of the Argentine Chemical Society* , 115 – 136.

- Izquierdo, M. (2000). *Fundamentos epistemológicos. Cap.2. Citado en Perales & Cañal. Teoría y Práctica de la Enseñanza de las Ciencias*. España: Alcoy.
- Jara, R. (2012). Tesis para optar al grado académico de Doctora en ciencias de la educación, Santiago de Chile. *Tesis para optar al grado académico de Doctora en ciencias de la educación, Santiago de Chile*.
- Jorba, J., & Sanmarti, N. (1993). La función pedagógica de la evaluación. *Aula*, 20-23.
- Jorba, J., & Sanmarti, N. (1995). Autorregulación de los procesos de aprendizaje y construcción de conocimientos. *Alambique*, 59-77.
- Karpudewan, M., & Nurulazam, A. (2017). Overcoming Students' Misconceptions in Science: Strategies and Perspectives from Malaysia. *A.L. Chandrasegaran Springer*, 344 pages.
- Khishfe, R., & Lederman, N. (2006). Research on NOS. Reflections on the past, anticipations of the future. *Journal of research in science teaching* 43(4), 395–418.
- Kolomuc, A., & Tekin, S. (2011). Chemistry Teachers' Misconceptions Concerning Concept of Chemical Reaction Rate. *Eurasian Journal of Physics and Chemistry Education*, 84-101.
- Kumar, A., & Patil, N. (2014). Enantioselective heterogeneous Brønsted acid catalysis. *Org. Chem. Front.*, 582-586.
- Lederman, J., & Lederman, N. (2010). *Capítulo 5. El Desarrollo del Conocimiento Pedagógico del Contenido para la Naturaleza de la Ciencia y la Indagación Científica en ¿Cómo mejorar la enseñanza de las ciencias en Chile? 1ª Ed.*. Santiago de Chile: Ediciones UCSH.
- Leymoní Sáenz, J. (2009). *Aportes para la enseñanza de las ciencias naturales. Laboratorio Latinoamericano de Evaluación de la Calidad de la Educación*. Santiago de Chile.
- Liu, Y., Zhao, G., Wang, D., & Li, Y. (2015). Heterogeneous catalysis for green chemistry based on nanocrystals. *National Science Review* 2 (2) 1, 150–166.
- Merino, J., & Herrero, F. (2007). Resolución de problemas experimentales de Química: una alternativa a las prácticas tradicionales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Vol. 6, N°3*, 630-648.
- MINEDUC. (2004). *Estudio sobre uso de textos escolares en enseñanza media*. Santiago de Chile: Unidad de Currículum y Evaluación.
- MINEDUC. (2008). *Política de Textos Escolares*. Santiago de Chile: Gobierno de Chile.
- MINEDUC. (2016). *Bases Curriculares 7° básico a 2° medio*. Santiago de Chile: Nivel de Educación Media y Unidad de Currículum y Evaluación.
- MINEDUC. Unidad de Currículum y Evaluación. (2015). *Química, programa de estudio 3° medio*.
- OCDE (2008). Informe PISA 2006. Competencias científicas para el mundo del mañana. Madrid: Santillana.
- Oila, M., & Koskinen, M. (2006). Chirally modified gold nanoparticles: nanostructured chiral ligands. *ARKIVOC*, 76-83.
- Onwu, G. O., & Ahiakwo, M. J. (1986). A study of pupils' perception of topic difficulties in 'O' and 'A' level chemistry in some selected Nigerian schools. *Journal of research in curriculum* 4(2), 1-13.
- Ordnes, R., Arellano, M., Jara, R., & Merino, C. (2014). Representaciones macro, micro y simbólicas sobre la materia. *Educación Química. Educ quim*, 46-55.
- Otero, M., & Greca, I. (2004). Las imágenes en los textos de física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 35-64.
- Pájaro, N., & Olivero, J. (2011). Química verde: Un nuevo reto. *Ciencia e Ingeniería Neograndina*, 21, 169-182.
- Perales, F. J. (2008). La Imagen en la Enseñanza de las Ciencias: Algunos Resultados de Investigación en la Universidad de Granada, España. *Formación Universitaria Vol. 1 (4)*, 13-22.
- Perales, F., & Jiménez, J. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. análisis de libros de texto enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 20 (3), 369-386.
- Pereira, F., & González, G. (2011). Análisis descriptivo de Textos Escolares de Lenguaje y Comunicación. *Literatura y lingüística*, 161-182.
- Perez de Eulate, L., Llorente, E., & Andrieu, A. (1999). Las imágenes de la digestión y excreción en los textos de primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 165-178.
- Pozo, I., & Carretero, M. (1987). Del pensamiento formal a las concepciones espontáneas: ¿que cambia en la enseñanza de la ciencia? *Infancia y Aprendizaje*, 38, 35-52.
- Prendes, M. (2001). Evaluación de manuales escolares. *Revista Píxel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 77-100.

- Quintanilla, M. (2006). La ciencia en la escuela: un saber fascinante para aprender a leer el mundo. *Revista pensamiento educativo*, 39( 2), 177-204.
- Quintanilla, M., L. A., Santos, M., Cadiz, J., Cuéllar, L., Saffer, G., & Camacho, J. (2006). Elaboración validación y aplicación preliminar de un cuestionario sobre ideas acerca de la imagen de ciencia y educación científica de profesores en servicio. *Proyecto PUCV*.
- Ravanal, E., & Quintanilla, M. (2010). Caracterización de las concepciones epistemológicas del profesorado de Biología en ejercicio sobre la naturaleza de la ciencia. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Vol. 9(1)*, 111-124.
- Richards, R. (2006). *Surface and Nanomolecular Catalysis*. CRC Press, 552.
- Rodríguez, J. (2008). *Hacia un uso sostenible de los recursos naturales*. Sevilla: Universidad Internacional de Andalucía,.
- Rodríguez, V. (2016). *Efecto del método de preparación y contenido de Ni en catalizadores de hidrogenación de ésteres alfa insaturados*. . Concepción: Tesis de Magíster, Universidad de Concepción. .
- SALTERS, C. B. (2015). *CHEMISTRY B (SALTERS) AS and A LEVEL Delivery Guide H033/H433 Theme: Kinetics*.
- Sánchez, J., Domínguez, J., & García-Rodeja, E. (2001). Trinta e cinco anos de investigación sobre o ensino da cinética química. *Paper presentado en el XIV Congreso de Enciga. Chantada (Galicia)*.
- Sánchez, J., Domínguez, J., & García-Rodeja, E. (2002). Revisión de la investigación sobre la enseñanza de la cinética química. *ADAXE-Revista de Estudios e Experiencias Educativas*, 18, 171-190.
- Sanmartí, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Madrid: Síntesis Educación.
- Scimago Journal & Country Rank. . (09 de 10 de 2017). *Journal Rankings*. Obtenido de <http://www.scimagojr.com/journalrank.php?category=1503#>
- Stake, R (1967). The countenance of educational evaluation. *The teacher colleague Record*. 68(7), 523-540. Citado por Merino, C. Cómo evaluar el grado de coherencia de una secuencia y su implementación: una propuesta desde el modelo respondiente de Stake. Documento de trabajo. Magister en Didáctica de las Ciencias Experimentales. PUCV.
- Tasker, S. Z., Standley, E. A., & Jamison, T. F. (2014). Recent Advances in Nickel Catalysis. *Nature* 509(7500), 299–309.
- Trautmann M, A. (2008). Maltrato entre pares o "bullying": Una visión actual. *Revista chilena de pediatría*, 79(1), 13-20.
- Trinidad-Velasco, R., & Garritz, A. (2003). Revisión de las concepciones alternativas de los estudiantes de secundaria sobre la estructura de la materia. *92-105*, 92-105. .
- Tsai, C.-C. (2007). Teachers' scientific epistemological views: The coherence with instruction and students' views. *Science Education*, 91(2), 201-221.