

Metacognición en la Enseñanza de la Química: Desarrollo de capacidades a través de la Actividad Experimental Problematizada (AEP)

Metacognition in Chemistry Education: Development of Skills through Problematised Experimental Activity (PEA)

Gyovana Welsing,¹ Marta Albuquerque Machado¹ y Paulo Rogério Garcez de Moura¹

Resumen

Este estudio propone la aplicación de la Actividad Experimental Problematizada (AEP) como estrategia teórico-metodológica para estimular la metacognición en la enseñanza de la Química en la educación superior. La investigación se llevó a cabo en una carrera de grado en Química de una universidad federal brasileña en 2023, con el objetivo de identificar indicadores de desarrollo metacognitivo. La producción de bioaceite mediante pirólisis de biomasa lignocelulósica se abordó como un eje interdisciplinario que promovió la experimentación, el análisis crítico y la contextualización teórica. Los resultados indican que la AEP favorece el aprendizaje de conceptos de Química y el desarrollo de las dimensiones analítica, práctica y creativa de la inteligencia. En la dimensión analítica, el estudiantado correlaciona parámetros cinéticos y operacionales con el rendimiento del bioaceite, mediante el uso de simulaciones térmicas y la experimentación. En la dimensión práctica, la manipulación de equipos y la realización de experimentos fortalecen habilidades técnicas y operativas. En la dimensión creativa, la propuesta de soluciones innovadoras, como la optimización de procesos y el uso de catalizadores, amplía la comprensión sobre la aplicabilidad de la Química. El enfoque propuesto fortalece la formación científica y socioambiental del estudiantado y contribuye a la construcción de profesionales críticos e innovadores, preparados para enfrentar desafíos tecnológicos y de sostenibilidad.

Palabras clave: Actividad Experimental Problematizada, metacognición, enseñanza de la Química, educación superior y aprendizaje interdisciplinario.

Abstract

This study proposes the application of Problematised Experimental Activity (PEA) as a theoretical and methodological strategy to stimulate metacognition in chemistry teaching in higher education. The research was conducted in an undergraduate chemistry program at a Brazilian federal university in 2023, with the aim of identifying indicators of metacognitive development. The production of bio-oil through the pyrolysis of lignocellulosic biomass was addressed as an interdisciplinary axis that promoted experimentation, critical analysis and theoretical contextualization. The results indicate that PEA enhances the learning of chemistry concepts and the development of the analytical, practical and creative dimensions of intelligence. In the analytical dimension, students correlate kinetic and operational parameters with bio-oil yield through the use of thermal simulations and experimentation. In the practical dimension, equipment handling and the performance of experiments strengthen technical and operational skills. In the creative dimension, the proposal of innovative solutions, such as process optimization and the use of catalysts, broadens students' understanding of the applicability of chemistry. The proposed approach strengthens students' scientific and socio-environmental education and contributes to the development of critical and innovative professionals prepared to face technological and sustainability challenges.

Keywords : Problematised Experimental Activity, metacognition, chemistry education, higher education and interdisciplinary learning.

CÓMO CITAR:

Welsing, G., Albuquerque Machado, M. y Garcez de Moura, P. R. (2026, enero-marzo). Metacognición en la Enseñanza de la Química: Desarrollo de capacidades a través de la Actividad Experimental Problematizada (AEP). *Educación Química*, 37(1). <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2026.1.91247>

¹ Universidad Federal de Espírito Santo, Brasil.

Introducción

La creciente complejidad de los desafíos contemporáneos ha llevado a las instituciones de educación superior a replantearse sus prácticas pedagógicas, desarrollando estrategias que promuevan la formación crítica, ética e innovadora de los estudiantes. En este contexto, las metodologías activas desempeñan un papel fundamental al incentivar la autonomía y la participación activa de los estudiantes en el proceso de aprendizaje (Guisso *et al.*, 2019). La planificación de clases que estimulen la toma de decisiones y la evaluación de resultados favorece el desarrollo de habilidades esenciales para el desempeño profesional y social (Morán, 2015).

Ante este escenario, se vuelve indispensable un enfoque que contemple aspectos cognitivos y metacognitivos, entendiendo el aprendizaje no solo como la adquisición de conocimiento, sino también como la reflexión sobre los propios procesos de pensamiento. La cognición, definida como el acto o efecto de conocer y razonar (Diccionario Houaiss, 2001), está directamente relacionada con las interacciones sociales y con las Teorías del Desarrollo Cognitivo (Santana; Roazzi; Dias, 2006). Por su parte, la metacognición se refiere a la capacidad de monitorear y autorregular estos procesos (Flavell, 1987; Cambridge Assessment, 2024).

En este contexto, se destaca la concepción de Inteligencia propuesta por Sternberg al integrar aspectos cognitivos y su aplicación en la vida cotidiana. Definida como la capacidad de aprender de la experiencia, utilizar procesos metacognitivos para mejorar el aprendizaje y adaptarse al entorno (Sternberg, 2008), la Inteligencia se aborda a través de tres subteorías: componencial, experiencial y contextual. La subteoría componencial relaciona la Inteligencia con el mundo interno del sujeto, especificando los procesos mentales responsables de la planificación, ejecución y evaluación del comportamiento inteligente. La subteoría experiencial relaciona la Inteligencia tanto con el mundo externo como con el interno del individuo, centrándose en los comportamientos que demuestran adaptación a novedades, automatización del procesamiento de la información o ambos. La subteoría contextual relaciona la Inteligencia con el mundo externo del sujeto, comprendiendo que el comportamiento de un individuo inteligente implica la adaptación intencional, la selección y el modelado de entornos del mundo real que sean relevantes para su vida (Sternberg; Kaufman; Grigorenko, 2008).

Según la concepción de Sternberg, para que la Inteligencia se manifieste en acciones prácticas, es necesario superar algunos obstáculos que no son necesariamente de orden intelectual, como la falta de motivación, de control de los impulsos, la distracción y la interferencia de las dificultades personales en la ejecución de actividades generales. Sin embargo, la enseñanza tradicional tiende a enfatizar la inteligencia analítica en detrimento de las dimensiones creativa y práctica (Sternberg, 1988, 1993, 1994, 1996, 2000, 2012; Sternberg; Grigorenko, 2003).

Para superar esta limitación, Sternberg y Grigorenko (2003) proponen la Teoría de la Inteligencia Plena (TIP), que busca un equilibrio entre los tres tipos de inteligencia (analítica, creativa y práctica), permitiendo que el individuo reconozca sus fortalezas y debilidades, adaptándose a los desafíos de manera estratégica.

La capacidad analítica se define típicamente como la habilidad de pensamiento crítico. Los individuos con esta capacidad analizan y evalúan ideas. La capacidad creativa consiste en la habilidad de generar ideas nuevas e interesantes, comúnmente designada como creatividad. Frecuentemente, el individuo considerado creativo demuestra una notable aptitud para realizar síntesis y establecer conexiones entre elementos que otras personas no reconocen de forma espontánea. La capacidad práctica se define por la habilidad de convertir la teoría en práctica y las ideas abstractas en realizaciones concretas. Además, esta capacidad se utiliza para identificar ideas que poseen un público potencial o aplicabilidad (Sternberg; Grigorenko, 2003).

Este enfoque orienta el uso de estrategias didácticas que estimulen el aprendizaje integral, promoviendo el desarrollo metacognitivo.

El estudio de Damm, Ferreira y Moura (2023) presenta indicadores para evaluar tres capacidades metacognitivas. Estos indicadores se establecieron de conformidad con la teoría triárquica de la inteligencia de Robert Sternberg, con el fin de ser evaluados en todas las clases. La investigación describe una estrategia pedagógica que abarca contenidos teóricos del plan de estudios de la asignatura, buscando la compatibilización y contextualización con los temas relacionados con la planta *Rhizophora mangle*, fundamentándose en la metodología de Aprendizaje Basado en Problemas (ABP).

Los indicadores desarrollados comprenden verbos vinculados a capacidades específicas del pensamiento, los cuales están directamente relacionados con la temática abordada. Los autores constataron que el seguimiento de los aprendizajes durante la implementación del ciclo ABP propició el desarrollo de las capacidades analítica, práctica y creativa de los estudiantes, además de otras habilidades esenciales para su formación, tales como la comunicación, la resolución de problemas y el trabajo colaborativo.

Para propiciar el desarrollo de la inteligencia triárquica en la enseñanza de la química se recomienda el uso de estrategias educativas que estén en consonancia con los principios de Sternberg, como la Actividad Experimental Problematizada (AEP). La AEP es una estrategia teórico-metodológica, o un proceso de enseñanza-aprendizaje, que articula principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo y de la Epistemología de Thomas Kuhn, y que se desarrolla a partir de un problema teórico que puede resolverse con el apoyo de la experimentación. Un problema consistente, en el contexto de la AEP, se define como un problema que, aunque sea teórico en su esencia, posee un potencial de investigación experimental, permitiendo al estudiante conectar la teoría con la práctica de manera significativa (Silva; Moura; Del Pino, 2018, 2022; Silva et al., 2023).

La AEP se caracteriza por presentar dos ejes: teórico y metodológico. El eje teórico está compuesto por tres proposiciones articuladoras: una propuesta de problema, un objetivo experimental y directrices metodológicas. El eje metodológico se compone de cinco etapas: discusión previa, organización/desarrollo, retorno al grupo de trabajo, socialización y sistematización (Silva; Moura; Del Pino, 2018, 2022; Silva et al., 2023).

Nascimento et al. (2023) presentaron una AEP para el componente curricular de Termoquímica, aplicada a 27 estudiantes de Enseñanza Media durante la pandemia de Covid-19 (Sars-CoV-2) en Brasil. El estudio tuvo como objetivo verificar la evolución de los niveles cognitivos de Aprendizaje Significativo de los Principios Termoquímicos con la aplicación de la AEP. Los resultados demostraron que los estudiantes desarrollaron

habilidades cognitivas relacionadas con los principios de la Termoquímica, abarcando desde recordar, comprender, aplicar, analizar hasta evaluar y crear, conforme a la Taxonomía de Bloom Revisada. La utilización del Software pNota se mostró eficaz en la evaluación cualitativa, reduciendo el esfuerzo del profesor en la corrección manual y ampliando la capacidad de interpretación de los datos evaluativos. Los autores constataron que la AEP desarrolló habilidades importantes para la adquisición de conocimientos específicos en Química y de sociabilidad, volviendo a los estudiantes más críticos e independientes.

Siqueira et al. (2024) reportaron la primera AEP para la Enseñanza Superior, investigando conocimientos asociados a la Quimiometría en el curso de grado en Química de la Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), en Brasil, en el año 2021. Debido a la pandemia de coronavirus, la AEP se realizó de manera remota, utilizando una aplicación desarrollada para fines didácticos de lectura e interpretación de imágenes digitales. El taller fue organizado en etapas, iniciando con una contextualización teórica sobre análisis químicos y la utilización de imágenes digitales. A continuación, los estudiantes realizaron experimentos prácticos, donde emplearon la aplicación REDGIM® para capturar y analizar imágenes de billetes de dinero y muestras de aceite. Durante la socialización de los resultados, los estudiantes presentaron sus hallazgos por medio de informes escritos y presentaciones orales, permitiendo un intercambio de conocimientos y un análisis colectivo de los experimentos. Los resultados indicaron que, al aplicar el Análisis de Componentes Principales (PCA) en las imágenes capturadas, fue posible diferenciar billetes falsos de verdaderos y agrupar muestras de aceite de oliva y aceites vegetales según su origen. El análisis mostró que los estudiantes lograron obtener una varianza acumulada significativa en los componentes principales, facilitando la interpretación de los datos. La etapa final involucró la sistematización de las discusiones y la aplicación de un cuestionario para evaluar la percepción de los estudiantes sobre la metodología utilizada. Los autores concluyeron que la AEP fue útil para la identificación de patrones en muestras de aceite de oliva, aceites vegetales comestibles y billetes de dinero, además de desarrollar conocimientos específicos en Quimiometría.

La AEP destaca la importancia del contexto como elemento central para promover el aprendizaje significativo y reflexivo. El contexto desempeña un papel crucial en este proceso al proporcionar relevancia y aplicabilidad a las actividades, acercando los conceptos científicos a la realidad cotidiana de los aprendices. Además, el diálogo reflexivo y la interacción social se potencian, permitiendo que los alumnos interpreten los resultados experimentales de manera colaborativa y crítica, promoviendo la comprensión de los fenómenos y el desarrollo de habilidades cognitivas, metodológicas y actitudinales (Silva; Moura; Del Pino, 2018).

En este estudio, se propone la aplicación de la Actividad Experimental Problematizada (AEP) como estrategia teórico-metodológica para fomentar la metacognición en la enseñanza superior de Química. La investigación se realizó en una carrera de grado en Química de una universidad federal de Brasil, en el año 2023, con el objetivo de identificar indicadores de desarrollo metacognitivo derivados de este enfoque.

Metodología

Información ética e identificación del público objetivo

La aplicación se llevó a cabo en el semestre 2023/2, en el período de septiembre a diciembre de 2023. La investigación involucró a cuatro grupos de tres asignaturas distintas de programa de licenciatura y grado en Química de la Universidad Federal de Espírito Santo, campus Vitória, con la participación de 5 profesores y 34 estudiantes. Para la recolección de datos, se utilizaron recursos de grabación de audio y escritura de los estudiantes. Los resultados fueron posteriormente tratados conforme las normas técnicas, garantizando la privacidad y confidencialidad de los participantes. En la investigación participaron cuatro clases de tres disciplinas diferentes: Clases de iniciación a la Química en la disciplina de Química General II Experimental, con énfasis en Cinética Química; Promoción del 6º período de la licenciatura en Química de la disciplina de Investigación y Práctica en el Laboratorio de Enseñanza de la Química Orgánica, con énfasis en la formación de profesores de Química; Promoción del 6º período de la licenciatura en Química de la disciplina de Química Ambiental, con énfasis en desarrollo sostenible. Para facilitar la lectura a lo largo del texto, los grupos serán identificados en el transcurso del mismo de la siguiente manera: T1 - Grupo A de Química General II Experimental; T2 - Grupo de Investigación y Práctica en el Laboratorio de Enseñanza de la Química Orgánica; T3 - Grupo B de Química General II Experimental; y T4 - Grupo de Química Ambiental. Es fundamental destacar que la participación de los sujetos en la investigación requirió su consentimiento expreso mediante un Término de Consentimiento Libre e Informado (TCLE). Además, el proyecto fue sometido a evaluación por el Comité de Ética en Investigación (CEP – UFES, Campus Goiabeiras) y aprobado con CAAE n.º 73865423.5.0000.5542. Todos los riesgos y beneficios de la investigación fueron presentados a los estudiantes, todas las actividades contaron con la supervisión de la investigadora responsable y, en los momentos necesarios, se utilizaron Equipos de Protección Individual (EPI). No se realizó ningún cobro por la participación ni hubo intercambio de beneficios.

Estrategia teórico-metodológica empleada

Para la organización de estrategia, se diseñó una intervención basada en las etapas de la AEP; es decir, en la etapa de planificación (eje teórico):

- a. Planteamiento del problema: Este problema requiere un enfoque teórico, preferentemente contextualizado y vinculado a unidades contextuales relevantes. Para su solución, se incentiva el uso de acciones experimentales adaptadas a las diferentes realidades, que generarán datos que, tras ser procesados, analizados, comprendidos y comunicados, pueden resultar en una perspectiva de solución, ya sea cualitativa o cuantitativa.
- b. Objetivo experimental: Son propuestas de actividades prácticas que buscan la experimentación. El objetivo experimental debe ser amplio, buscando la obtención de un producto teórico a partir de acciones procedimentales, sin limitarse ni a las soluciones previsibles ni a las escasas posibilidades de interpretación.
- c. Directrices metodológicas: Son un protocolo de acciones prácticas basadas en el objetivo experimental. Son propuestas que indican los procedimientos a realizar.

El **eje teórico** de la presente intervención estuvo compuesto por la proposición del problema: “**¿Cuáles son las limitaciones químicas que afectan el uso del bioaceite como biocombustible, qué parámetros están involucrados en su producción y cómo determinar los parámetros cinéticos de la materia prima utilizada en su obtención?**”. Los objetivos experimentales fueron: 1) Simular el análisis termogravimétrico y desarrollar un perfil térmico para la biomasa. 2) Investigar los parámetros operativos y cinéticos involucrados. 3) Producir, recolectar y cuantificar los productos de la pirólisis (biocarbón y bioaceite). Las directrices metodológicas estuvieron compuestas por documentos relacionados con estos objetivos experimentales.

Por su parte, el eje metodológico está compuesto por actividades en clase, que están representadas en la Figura 1. La discusión previa puede realizarse mediante una discusión teórica, abordando tópicos específicos de las técnicas y sus fundamentos propuestos experimentalmente, o por medio de la utilización de materiales impresos, tales como textos, situaciones contextuales y concretas, preguntas, cuestionarios abiertos o cualquier otro instrumento que se considere adecuado. El objetivo principal de este momento, conforme a las definiciones de la Teoría del Aprendizaje Significativo (TAS) en relación con los subsumidores y el conocimiento previo, es presentar, identificar y desarrollar saberes con la participación de los estudiantes (Silva; Moura; Del Pino, 2018, 2022; Silva et al., 2023).

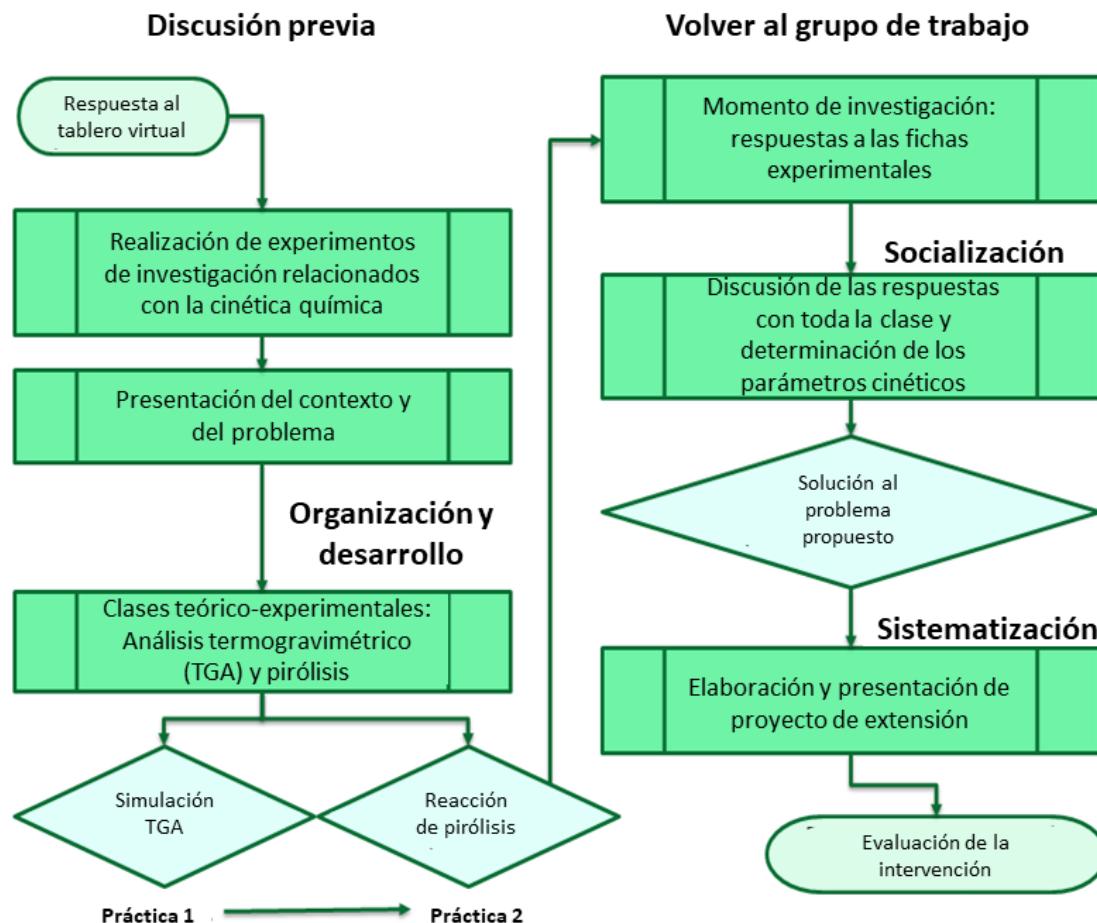


FIGURA 1 - Eje metodológico del AEP desarrollado.

Fuente: Elaboración propia (2024).

La etapa de organización/desarrollo comprende el planteamiento del problema, la división de los estudiantes en grupos para la realización de experimentos y la ejecución de una actividad experimental. Tras la actividad experimental, los estudiantes deben regresar a su grupo de trabajo para organizar los registros relevantes (Silva; Moura; Del Pino, 2018, 2022; Silva et al., 2023).

Durante la socialización, los grupos de trabajo deben conversar sobre cómo se realizaron los procedimientos, incluyendo ideas sobre aciertos y errores, y presentar una explicación teórica que ayude a resolver el problema propuesto. La sistematización es una acción necesaria para la adquisición de conocimientos propios, particulares y psicológicos. Esta estrategia permite organizar y registrar las percepciones generadas para una posible solución al problema propuesto. Se pueden utilizar preguntas orientadoras y/o secciones protocolares para promover sistematizaciones y la aplicación de soluciones (Silva; Moura; Del Pino, 2018, 2022; Silva et al., 2023).

En cuanto a la carga horaria destinada a la intervención, se emplearon 2 horas para la fase de Discusión Previa, 10 horas para la etapa de Organización y Desarrollo, una semana de intervalo para la realización del regreso al grupo de trabajo, 2 horas para la fase de Socialización, y la etapa de Sistematización se llevó a cabo en 2 horas para la presentación de los materiales. No obstante, se destinó un mes para la preparación de los materiales.

Indicadores de Desarrollo Metacognitivo (IDMC)

Para identificar indicios de desarrollo cognitivo en los estudiantes en tres dimensiones de la inteligencia, se elaboraron los Indicadores de Desarrollo Metacognitivo (IDMC), basados en referencias de la TIP y en los estudios de Silva, Souza y Moura (2024). El análisis de los IDMC se realizó mediante un enfoque cuali-cuantitativo, utilizando una escala de Likert de 0 a 7, donde el valor cero indicaba que la opción no era aplicable. Los indicadores que presentaron más del 50% de las respuestas en esta categoría fueron excluidos del análisis. El cálculo del Ranking Medio (RM) se llevó a cabo a partir del promedio ponderado de las respuestas de los estudiantes para cada afirmación. Valores superiores a 4 fueron considerados como indicativos de concordancia con la afirmación evaluada. Los promedios aritméticos simples de los RMs obtenidos para cada conjunto de indicadores, relacionados con cada dimensión del pensamiento, proporcionaron percepciones sobre las capacidades cognitivas predominantemente desarrolladas durante la intervención. Estos indicadores fueron comparados con fragmentos de textos o declaraciones de los estudiantes, con el fin de corroborar los valores obtenidos y enriquecer la interpretación cualitativa de los datos.

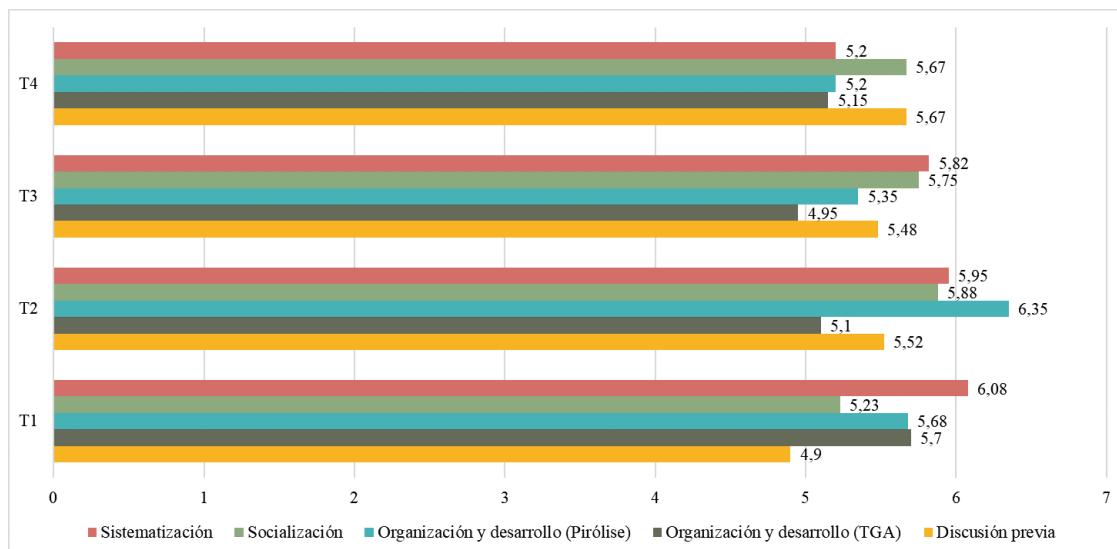
Resultados y Discusión

La intervención evidenció un mayor desarrollo de la capacidad analítica, esperado debido al carácter teórico-experimental de la asignatura. No obstante, se destaca el avance de la capacidad creativa en un nivel similar, posiblemente influenciado por la estructura de la intervención, que incluyó discusiones, resolución de problemas y elaboración de materiales científicos y educativos. Además del análisis general, se examinó el desarrollo metacognitivo en cada grupo, lo que permitió identificar las potencialidades de la AEP según sus perfiles. La Figura 2 presenta los resultados para la capacidad analítica.

FIGURA 2 - Desarrollo de la capacidad analítica por momento AEP.

Fuente: Elaboración propia (2025). Leyenda: T1- Grupo A de Química General II Experimental; T2- Grupo de Investigación y Práctica en el Laboratorio de Enseñanza de la Química Orgánica; T3- Grupo B de Química General II Experimental; y T4- Grupo de Química Ambiental.

A de Química General II Experimental; T2- Grupo de Investigación y Práctica en el Laboratorio de Enseñanza de la Química Orgánica; T3- Grupo B de Química General II Experimental; y T4- Grupo de Química Ambiental.



El análisis de los momentos de la AEP por grupo revela que, en el 6º período y superiores, la capacidad analítica se desarrolla de manera equilibrada. En cambio, en los grupos iniciales, se observa variación, con dos perfiles distintos. En el T1, hay un avance lineal, con una leve caída en el momento de socialización. En contraste, en el T3, hay un equilibrio, excepto en la etapa de organización y desarrollo de la simulación de TGA, posiblemente afectada por errores instrumentales que dificultaron la abstracción conceptual. Excepto en el grupo de Química Ambiental, la sistematización fue el momento de mayor desarrollo analítico, coherente con la necesidad de investigación bibliográfica y discusiones para la elaboración de materiales. En Química Ambiental, los momentos más significativos fueron la discusión previa y la socialización, posiblemente debido a la naturaleza fragmentada de la cartilla desarrollada, que no requirió una investigación conjunta amplia.

En los grupos más avanzados (T2 y T4), los momentos iniciales de la AEP y la socialización fueron especialmente productivos, permitiendo discusiones abstractas sobre la cinética química involucrada en los procesos de degradación térmica de la biomasa. Esta dinámica favoreció la exposición de ideas y el profundizaje conceptual, un aspecto clave para la comprensión de la producción de bioaceite. El Gráfico 1 ilustra estas consideraciones, destacando los parámetros empleados en la reacción de pirólisis.

Luego de esta discusión, la investigadora orientó a los estudiantes sobre las condiciones ideales para optimizar los resultados. Sin embargo, el aspecto intrigante es cómo la práctica experimental fortalece el desarrollo del razonamiento lógico y teórico en Química. A partir de la comprensión de la Química, los estudiantes exploraron estrategias para aumentar la producción de un determinado producto y, en consecuencia, mejorar el resultado deseado.

Investigador – Para nuestro objetivo, que es el bioaceite, ¿cree que es mejor tener más o menos tiempo de reacción?

A1-T4 – Creo que es más tiempo de reacción... Precisamente para tener un... para poder controlar mejor la reacción. Tal vez como una forma de controlar la reacción

A2-T4 – Creo que hay que tener cuidado porque creo que el bio-aceite reacciona

A1-T4 – No creo que nada reaccione más, así que no estaría bien dejarlo más tiempo

A3-T4 – Tal vez si tienes más tiempo, te aseguras de que toda esa muestra produzca la mayor cantidad posible de bioaceite

Investigadora – Vale, pero luego a la temperatura que seleccionamos, 500°C, ¿te acuerdas que había una temperatura que no generaba nada más, no había más bioaceite? ¿De alguna utilidad me quedaría allí más tiempo?

S3-T4 – No, ahí no. Tal vez en el... Al principio, aumentas, disminuyes la variación de temperatura y aumentas el tiempo que permaneces en esa parte (producción de bioaceite), tal vez.

GRÁFICO 1 - Transcripción de audio, registros del momento de socialización.

Fuente: Elaboración propia (2025).

En un análisis aún más profundo, fue posible identificar los indicadores que más influyeron en el valor promedio de la capacidad analítica para cada momento. Los resultados se pueden ver en el **Material Suplementario A**. En términos de capacidad analítica, no hubo ningún indicador con una *clasificación media (RM)* inferior a 4, es decir, reconocido como poco desarrollado. Por lo tanto, se habla de los que tienen mayor potencial de desarrollo y de los que tienen menos potencial.

Los indicadores con mayor desarrollo en todo momento en el AEP son AMC1, AMC2 y AMC3, descritos en el Gráfico 2 y visualizados en su totalidad en el **Material Suplementario B**.

AMC1: Mis conocimientos sobre el contenido químico aumentaron gradualmente al final de la clase.

AMC2: La(s) metodología(s) utilizada(s) para la enseñanza de la química contribuyeron a mi aprendizaje.

AMC3: Pude obtener información química que puedo aplicar a mi realidad.

GRÁFICO 2 - Indicadores de desarrollo metacognitivo AMC1, AMC2 y AMC3.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Los indicadores están relacionados con la efectividad de la intervención y los fundamentos utilizados, ya que tratan sobre el conocimiento químico, la metodología y la obtención de información química para la vida cotidiana. La alta recurrencia de los indicadores mencionados sugiere, de manera integral, aportes sustanciales resultantes de la intervención pedagógica asociada a la estrategia de enseñanza implementada.

Los indicadores AMC5 y AMC6 son los que se acercan al punto de neutralidad de la escala *Likert*, lo que puede indicar un menor desarrollo cognitivo. Estos se describen en el gráfico 3.

AMC5: Identifiqué problemas a resolver.

AMC6: Organicé la información para resolver situaciones problemáticas y formulé estrategias para resolver el problema identificado.

GRÁFICO 3 - Indicadores de desarrollo metacognitivo AMC5 y AMC6.

Fuente: Elaboración propia (2025).

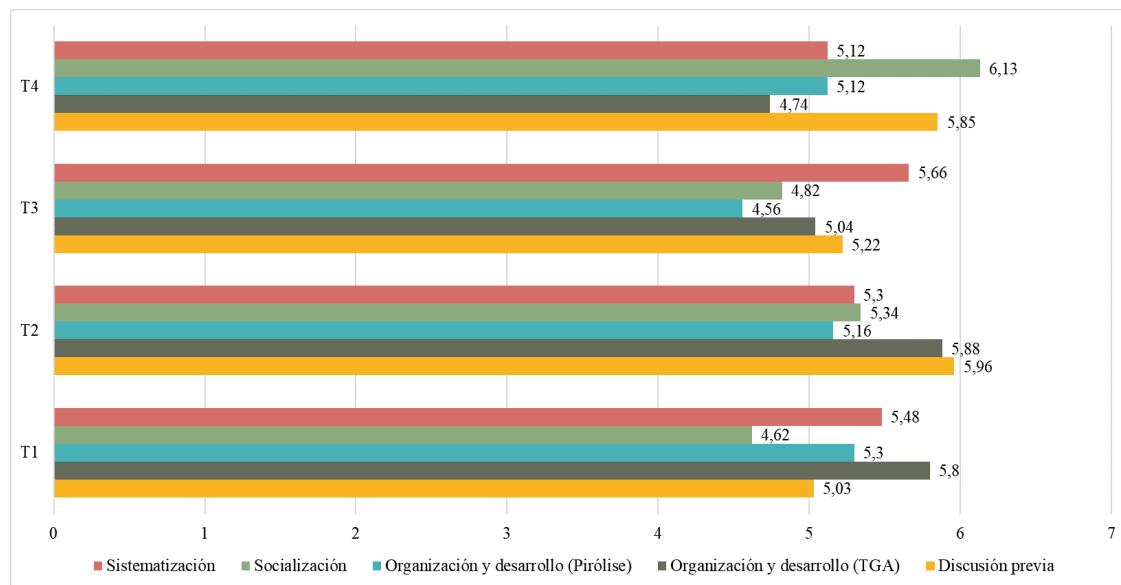
El indicador AMC5, relacionado con la identificación de problemas, mostró una RM

tendiente a la neutralidad. Este resultado puede atribuirse al hecho de que los estudiantes no se les incentiva a pensar en la resolución de problemas de manera sistemática en el sistema educativo actual. Por lo tanto, incluso si hay un esfuerzo cognitivo por parte de los estudiantes, este esfuerzo a menudo no es percibido por ellos mismos. El MCA6, a su vez, se refiere a la organización de la información y a la formulación de estrategias para la resolución de problemas, y se relaciona directamente con el indicador anterior. Cuando los estudiantes no pueden identificar claramente los momentos de conexión con el problema propuesto, las soluciones sugeridas tienden a no ser elaboradas de manera consciente o estructurada.

En un análisis más detallado, se identificó que el grupo T1 fue el principal responsable de la reducción de los valores de RM de los indicadores antes mencionados. Esto puede explicarse por la menor madurez de los estudiantes de este grupo, lo que dificulta el ejercicio de la metacognición y, en consecuencia, la reflexión sobre sus propios procesos de desarrollo.

Respecto a la capacidad creativa, al analizar los momentos del AEP por clase, es posible observar que en todas las clases hay un desarrollo no lineal, el cual no presenta un perfil claro, como se muestra en la Figura 3.

En general, el momento de socialización es el de mayor divergencia en las evaluaciones entre las clases. Mientras que las clases T1 y T3 tienden a evaluar este momento de una manera más neutral, las clases T2 y T4 lo perciben de manera más positiva. Por otro lado, el momento de sistematización demuestra una mayor homogeneidad en las evaluaciones realizadas por los diferentes grupos.



Al evaluar los indicadores individualmente, se observó que, en el momento de la Discusión Preliminar, los indicadores CMC16 y CMC17 registraron los valores más bajos de RM, mientras que el indicador CMC13 presentó el valor más alto. Estos datos se describen y detallan en el gráfico 4.

GRÁFICO 4 - Indicadores de desarrollo metacognitivo CMC13, CMC16 y CMC17.

Fuente: Elaboración propia (2025).

CMC13: Redefiní los problemas, modificando la perspectiva de resolución propuesta inicialmente, y cuestioné los supuestos e hipótesis planteados inicialmente para reformular el entorno de resolución de problemas siempre que fuera necesario.

CMC16: Utilicé la creatividad para producir algo relacionado con la innovación y la solución de diversos problemas.

CMC17: Me sentí motivado para completar las tareas requeridas y controlé mis impulsos, reflexionando sobre las posibles soluciones al problema propuesto.

El indicador CMC13 se relaciona con el momento de Discusión Previa durante el análisis de experimentos investigativos, en el que se instruyó a los estudiantes para que propusieran explicaciones a los fenómenos observados. Este proceso requirió el planteamiento de hipótesis y la reformulación de los supuestos iniciales, lo que justifica el mayor valor de RM para este indicador en este momento. Por otro lado, el CMC16 está menos familiarizado con el momento de Discusión Previa, estando más alineado con las características del momento de Sistematización.

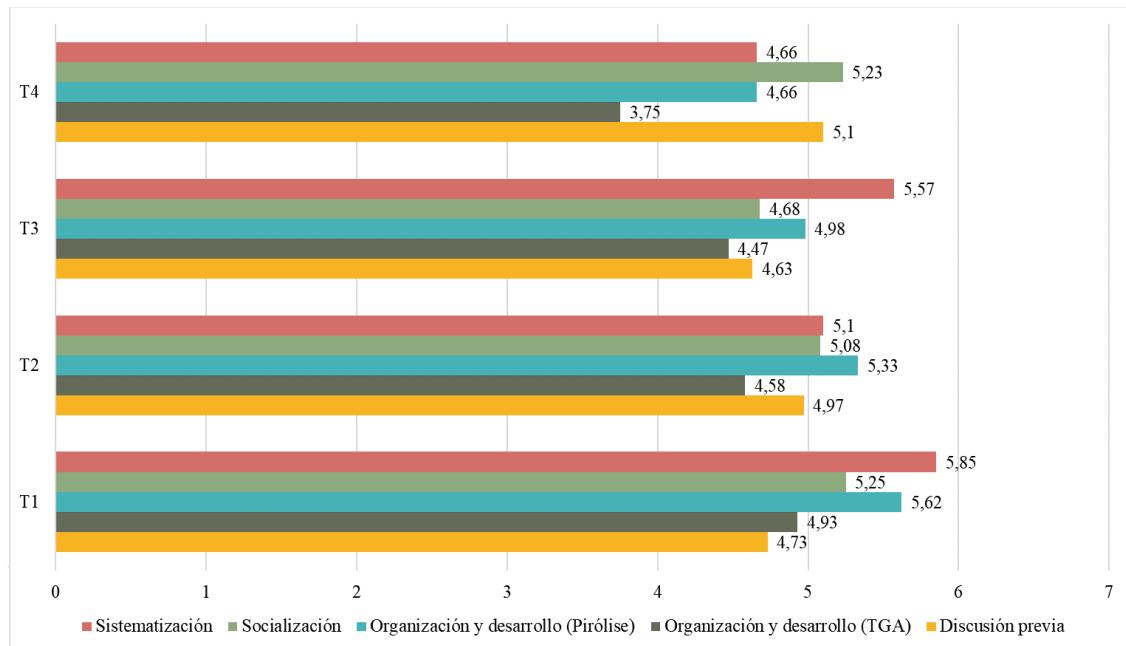
El CMC17 presentó una discrepancia entre las percepciones de los estudiantes ($MR=2,6$) y la evaluación del investigador ($MR=5$). Se esperaba que, al final del momento de Discusión Previa, los estudiantes reflexionaran sobre el problema propuesto y sus posibles soluciones, además de demostrar motivación, considerando que esta clase estuvo marcada por un alto compromiso. Sin embargo, es probable que el poco tiempo disponible para las clases haya dificultado que los estudiantes lleven a cabo esta reflexión.

En los momentos subsecuentes, se observó un patrón similar al identificado para la Discusión Preliminar, con un aumento gradual en los valores de los indicadores CMC16 y CMC17. Estos indicadores alcanzaron sus valores máximos en el momento de la Sistematización, lo que indica una evolución en la percepción y compromiso de los estudiantes a lo largo de las etapas del AEP.

La capacidad práctica presenta los valores medios más bajos para la intervención y a través del análisis de la Figura 4, se puede observar que en la mayoría de los momentos del AEP, existe un acuerdo de los estudiantes y para analizar más específicamente, se buscaron los indicadores con mayor influencia en la disminución de la evaluación.

FIGURA 4 - Desarrollo de la capacidad práctica por momento AEP.

Fuente: Elaboración propia (2025). Leyenda: T1- Grupo A de Química General II Experimental; T2- Grupo de Investigación y Práctica en el Laboratorio de Enseñanza de la Química Orgánica; T3- Grupo B de Química General II Experimental; y T4- Grupo de Química Ambiental.



Por el momento de la *discusión anterior*, los indicadores PMC9 y PMC10 presentan menor RM. Estos se presentan en el gráfico 5.

GRÁFICO 5 - Indicadores de desarrollo metacognitivo PMC9 y PMC10.

Fuente: Elaboración propia (2025).

PMC9: Utilicé mis habilidades correctamente en la realización de cada actividad y transformé las ideas en acciones, gestionando los recursos disponibles.

PMC10: Revisé el paso a paso de una actividad con miras al resultado y me comprometí a realizar las tareas propuestas, iniciar el proceso de trabajo y completarlas satisfactoriamente.

Los indicadores PMC9 y PMC10 recibieron evaluaciones negativas tanto por parte del investigador como de los estudiantes, resultado que puede explicarse por la propia naturaleza de los indicadores. El PMC9 requiere la transformación de las ideas en práctica, lo que no es característico del primer momento de la AEP. El PMC10 se relaciona con la ejecución de actividades de forma secuencial, algo también ausente en esta fase inicial, que se desarrolló como una clase expositiva dialogada. Cabe destacar que el PMC9 tiene la particularidad de presentar evaluaciones bajas en todo momento del AEP, excepto en la etapa de sistematización, en la que tiende a la neutralidad ($MR=4,2$). Por esta razón, este indicador puede ser considerado como el de menor potencial de desarrollo en la intervención propuesta.

Además, se observa que las clases T1 y T4 fueron las responsables de reducir los valores medios de RM de los indicadores, mientras que las clases T2 y T3 registraron promedios superiores a 4. En el momento de la organización y el desarrollo, se destaca el bajo MR del PMC8, como se muestra en el Gráfico 6.

GRÁFICO 6 - Indicador de desarrollo metacognitivo PMC8.

Fuente: Elaboración propia (2025).

PMC8: Al considerar explicaciones alternativas para interpretar un fenómeno científico conocido, asumí los riesgos inherentes a la propuesta de nuevas ideas y superé los obstáculos que surgieron, persistiendo en resolver el problema.

Esta baja evaluación se asocia posiblemente a la ausencia de un escenario claro para la propuesta de nuevas ideas. Aun así, los estudiantes demostraron resiliencia en la interpretación de los resultados obtenidos y en la búsqueda de soluciones a los retos experimentales. Sin embargo, es posible que esta resiliencia no haya sido identificada conscientemente por los encuestados, lo que refleja una limitación en el reconocimiento metacognitivo. En el momento de la *socialización*, el indicador PMC11, presentado en el Gráfico 7, presentó un menor valor de RM. Este indicador se relaciona con las habilidades sociales de los estudiantes y su responsabilidad individual, y la baja evaluación en este momento puede indicar un desnivel en la participación individual de las actividades propuestas.

GRÁFICO 7 - PMC11 indicador de desarrollo metacognitivo.

Fuente: Elaboración propia (2025).

PMC11: Contribuí a realizar las tareas con el grupo de trabajo, reconociendo mis fallas/limitaciones, estuve dispuesto a rehacer las tareas sin dejar que la frustración me impidiera volver a intentarlo y fui independiente para realizar adecuadamente las tareas requeridas (de responsabilidad individual).

Jou y Sperb (2006) señalan que, en las investigaciones relacionadas con la metacognición en diferentes áreas, entre ellas las Ciencias, el elemento común en las experiencias exitosas es la autorregulación del aprendizaje. En la intervención relatada, se promovió la autorregulación a través de la metacognición, utilizando estrategias como la organización de materiales robustos, la orientación para la búsqueda de información

confiable y la integración entre la teoría y la práctica en las actividades de laboratorio. También se privilegiaron los momentos de discusión y argumentación, ya que la argumentación, por su carácter discursivo, amplía la complejidad del conocimiento y favorece la revisión crítica del razonamiento, siendo intrínsecamente metacognitiva (Chiari; Aquino, 2017). En este contexto, Sternberg (2021) amplía su teoría y argumenta que los grandes problemas globales no pueden resolverse únicamente con la inteligencia general, destacando la importancia de equilibrar la inteligencia, la creatividad y la sabiduría, combinadas con los procesos de metacomponentes, que incluyen el reconocimiento, la definición y la representación mental de los problemas, la asignación de recursos, la formulación de estrategias, el seguimiento del progreso y la evaluación de las soluciones. Además, Sternberg diferencia entre metacognición y metainteligencia, enfatizando que esta última encarna actitudes y valores que trascienden los procesos cognitivos. Los momentos de la intervención que requirieron actitudes, creatividad y, potencialmente, sabiduría se destacaron como los más efectivos, evidenciando la relevancia de integrar procesos cognitivos y actitudinales en la superación de desafíos y el desarrollo de habilidades de resolución de problemas (Sternberg, 2021).

Sugerencias para futuras aplicaciones docentes

Esta sección ofrece una guía para utilizar el AEP en cualquier tema o contexto problemático dentro de la enseñanza de Química y/o Ciencias, enfocándose en el desarrollo de habilidades cognitivas.

Paso 1: Organización del Eje Teórico

Comience por definir un problema teórico consistente que pueda ser resuelto por los estudiantes a través de la experimentación. Es preferible que este problema presente familiaridad con el estudiante, es decir, que el contexto forme parte de su vida cotidiana. Así, será más posible el compromiso durante las clases.

Tras la definición del problema, establezca objetivos experimentales que ayuden a responderlo. Para solucionar el problema, los estudiantes necesitarán conocer posibilidades; estas posibilidades pueden ser experimentos que serán desarrollados por ellos y planificados por el docente en conjunto con ellos o no. Es preferible que sea con ellos, pero esto debe analizarse según la madurez de los estudiantes, la familiaridad con el contenido, entre otras cuestiones que el docente considere relevantes.

Finalmente, el eje teórico concluye con la formulación de directrices metodológicas. Estas serán las guías para las acciones prácticas de los objetivos experimentales. Si el problema y los objetivos fueron construidos en conjunto con los estudiantes, las guías pueden ser la creación de una guía experimental, por ejemplo, o la indicación de libros y artículos para la consulta bibliográfica.

Paso 2: Organización del Eje Metodológico

Organice las clases (el eje metodológico propiamente dicho) en los cinco momentos del AEP, respetando los objetivos de cada momento. Es preferible la utilización de clases teórico-experimentales que discutan los temas de manera que faciliten las asociaciones complejas y abstractas. La Gráfico 8 presenta los puntos principales de cada momento del eje metodológico.

Discusión Previa	Identificación de conocimientos previos: Para esto, se pueden utilizar experimentos investigativos, formularios, ruedas de conversación, noticias u otros enfoques que brinden un espacio para que los estudiantes presenten sus concepciones sobre el tema. En este momento, el docente debe contextualizar y presentar el problema en cuestión.
Organización y Desarrollo	Planificación y desarrollo de un experimento: El experimento puede ser práctico o mental, dependiendo del contenido y tema. Debe utilizarse para favorecer la comprensión del estudiante sobre el problema y la búsqueda de posibles respuestas al problema.
Retorno al Grupo de Trabajo	Discusión entre pequeños grupos: Este momento debe ser independiente del docente para que los estudiantes dialoguen sobre sus hipótesis, percepciones y argumentaciones para responder al problema.
Socialización	Discusión entre toda la clase: Después de la discusión en pequeños grupos, los estudiantes deben debatir en conjunto sobre sus percepciones y las posibles respuestas al problema.
Sistematización	Sistematizar y/o extrapolar el conocimiento: Este momento finaliza el AEP y puede utilizarse para la sistematización del conocimiento adquirido mediante el llenado de un formulario o el desarrollo de un informe técnico. También se puede extrapolar el conocimiento con la producción de materiales que demuestren la resolución del problema o propongan innovaciones.

GRÁFICO 8 – Eje metodológico AEP.
Fuente: Elaboración propia (2025).

Paso 3: Construcción de Instrumentos de Evaluación

Diseñe un formulario con indicadores de desarrollo metacognitivo para aplicarlo al final de cada clase.

Paso 4: Análisis de Datos

Analice los datos obtenidos de los resultados de los indicadores y de otros instrumentos de recolección de datos utilizados durante la intervención.

A partir de estos pasos, podrá aplicar el AEP en el aula y obtener datos concisos para analizar el desarrollo cognitivo de los estudiantes. Se sugiere también la adición de instrumentos de recolección individuales para poder analizar el desarrollo metacognitivo de cada estudiante y reconocer las potencialidades y debilidades de la metodología empleada.

Aspectos importantes por destacar: Es fundamental señalar que el AEP puede aplicarse a cualquier contexto problemático, siempre y cuando esté correctamente delimitado y relacionado con el problema en cuestión.

En este trabajo, el **bio-óleo** se utilizó para la discusión del tema de **Biocombustibles** y el contenido de **cinética química**, específicamente la cinética química de la degradación térmica de biomasa. Sin embargo, el ABP permite la exploración de temas de **relevancia socioeconómica** con contenidos de baja o alta complejidad.

Por ejemplo, se pueden abordar: El **envejecimiento del bio-óleo** para la enseñanza de **quimiometría**; el **tratamiento de aguas** para la **química analítica**. Entre muchos otros. La flexibilidad del ABP lo convierte en una herramienta potente para conectar la teoría química con desafíos del mundo real.

Consideraciones finales

A partir de lo expuesto, se concluye que la producción de bioaceite mediante pirólisis de biomasa lignocelulósica se presenta como un enfoque educativo intra e interdisciplinario, integrando experimentación, análisis crítico y contextualización teórica. Esta estrategia favorece el aprendizaje de conceptos de química y el desarrollo de las dimensiones analítica, práctica y creativa de la inteligencia en la educación superior.

En la dimensión analítica, los estudiantes aplican conocimientos teóricos para interpretar y resolver desafíos experimentales, correlacionando parámetros cinéticos y operacionales con el rendimiento del bioaceite. El uso de herramientas como simulaciones de TGA y pruebas en unidades de pirólisis potencia la comprensión de los procesos térmicos, estimulando el pensamiento crítico y la formulación de hipótesis fundamentadas.

En la dimensión práctica, la manipulación de equipos de laboratorio y la realización de experimentos mejoran habilidades técnicas y operacionales, esenciales en el ámbito científico. El trabajo en equipo fortalece competencias como la comunicación, organización y colaboración, además de estimular la aplicación de los conocimientos adquiridos en desafíos reales, como la valorización de residuos agrícolas y la mitigación de impactos ambientales.

Con respecto a la dimensión creativa, el proceso de enseñanza-aprendizaje trasciende la asimilación técnica, incentivando soluciones innovadoras, como la optimización de procesos mediante catalizadores y ajustes operacionales. La participación en proyectos de extensión y la creación de materiales pedagógicos amplían la visión de los estudiantes sobre la aplicabilidad de la química, promoviendo un enfoque multidimensional en la resolución de desafíos científicos y ambientales.

Además, la contextualización del bioaceite como una alternativa sostenible refuerza la formación de ciudadanos críticos y conscientes, vinculando la química con problemáticas globales, como el reciclaje de residuos y los impactos de los combustibles fósiles. Esta perspectiva amplía la relevancia del aprendizaje y fomenta el pensamiento sistémico y el compromiso con cuestiones socioambientales.

Así, la pirólisis de biomasa lignocelulósica, funcionalizada para su enseñanza-aprendizaje a partir de AEP en un contexto de Aprendizaje Basado en Problemas, se revela como una estrategia pedagógica eficaz, promoviendo la integración entre conocimiento científico y habilidades transversales, como el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la innovación. Este enfoque contribuye a la formación de profesionales capacitados para afrontar desafíos tecnológicos y sociales, consolidando la química como una herramienta esencial para la sostenibilidad y el progreso de la sociedad.

Referencias

- Cambridge Assessment. (2024). *Metacognición*. <https://www.cambridgeinternational.org/Images/582304-metacognition-factsheet-portuguese-.pdf>
- Chiaro, S. de, & Aquino, K. A. da S. (2017). La argumentación en el aula y su potencial metacognitivo como camino hacia un enfoque CTS en la enseñanza de la química: Una propuesta analítica. *Educación e Investigación*, 43(2), 411-426. <https://doi.org/10.1590/s1517-9702201704158018>

- Damm, B. M., Ferreira, R. Q., Moura, P. R. G. (2023). Evaluación de las capacidades metacognitivas en la Enseñanza de la Química Analítica. *Revista Espacio Pedagógico*, 30, 1-19. <http://dx.doi.org/10.5335/rep.v30i0.14919>
- Flavell, J. (1987). Especulaciones sobre la naturaleza y el desarrollo de la metacognición. En F. Weinert & R. Kluwe (Eds.), *Metacognición, motivación y comprensión* (pp. 21-29). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Guisso, D. P., Cesconetto, L. B., Fioretti, S. A. M., & Peizini, A. M. L. (2019). Aprendizaje basado en problemas (PBL) en la educación superior: Conceptos introductorios. *Revista Científica Intellecto*, 4(3), 23-29.
- Houaiss, A. (2001). *Cognición*. [S.I]: Objetiva. *Gran Diccionario Houaiss de la Lengua Portuguesa*.
- Jou, G. I. de, & Sperb, T. M. (2006). La metacognición como estrategia reguladora del aprendizaje. *Psicología: Reflexión y Crítica*, 19(2), 177-185. <https://doi.org/10.1590/s0102-79722006000200003>
- Moran, J. (2015). Cambiando la educación con metodologías activas. En C. A. Souza & O. E. T. Morales (Eds.), *Convergencias mediáticas, educación y ciudadanía: Aproximaciones juveniles* (pp. xx-xx). Ponta Grossa: UEPG/PROEX.
- Nascimento, M., Kauark, F. S., Becalli, F. Z., Oliveira, E. S., Moura, P. R. G., Silva, A. L. S. (2023). Evaluación cualitativa de los niveles cognitivos alcanzados a través de la Actividad Experimental Problematizada (AEP) y analizados por el Software PNota. *Nuevas tendencias en investigación cualitativa*, 17, 1-14. <http://dx.doi.org/10.36367/ntqr.17.2023.e846>
- Santana, S. de M., Roazzi, A., & Dias, M. das G. B. B. (2006). Paradigmas del desarrollo cognitivo: Una breve retrospectiva. *Estudos de Psicología (Natal)*, 11(1), 71-78. <https://doi.org/10.1590/s1413-294x2006000100009>
- Silva, A. L. S. da, Del Pino, J. C., Moura, P. R. G. de, Trindade, M. B. da, Morais, F. N. C. de, & Link, L. M. S. (2023). Actividad Experimental Problematizada (AEP): Proceso de innovación teórico-metodológica orientado a la enseñanza experimental de las ciencias. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, 16(10), 22998-23013. <https://doi.org/10.55905/revconv.16n.10-253>
- Silva, A. L. S. da, Moura, P. R. G. de, & Del Pino, J. C. (2018). Subsidios pedagógicos y epistemológicos de la Actividad Experimental Problematizada (AEP). *Revelli*, 10(4), 41-66.
- Silva, A. L. S. da, Moura, P. R. G. de, & Nogara, P. A. (2020). Un modelo de sistematización para la experimentación en la enseñanza de las ciencias: Actividad Experimental Problematizada (AEP). *Research, Society and Development*, 9(7), 1-19. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4012>
- Silva, A. L. S., Souza, M. L., & Moura, P. R. G. (2024). Aproximaciones teóricas entre la Teoría de la Inteligencia Triárquica de Sternberg y la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel: Una propuesta de evaluación del aprendizaje emergente de la Actividad Experimental Problematizada (AEP). *Rencima*, 1-29.

Siqueira, B., Silva, A., Folii, G., Rosa, T., Romão, W., Lelis, M., Filgueiras, P., Moura, P. R. G. (2024). Aprendizaje del Análisis de Componentes Principales a través de la Actividad Experimental Problematizada (AEP) con el uso de una aplicación para teléfonos inteligentes. *Nueva Química*, 47 (5), 1-9. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20230138>.

Sternberg, R. J. (1988). *La mente triárquica: Una nueva teoría de la inteligencia humana*. Nueva York: Cambridge University Press.

Sternberg, R. J. (1994). *Enciclopedia de la inteligencia humana*. Nueva York: Macmillan.

Sternberg, R. J. (1996). *Enseñar para pensar*. Nueva York: Cambridge University Press.

Sternberg, R. J. (2000). *Inteligencia práctica en la vida cotidiana*. Nueva York: Cambridge University Press.

Sternberg, R. J. (2008). *Psicología cognitiva* (4.^a ed.). Porto Alegre: Artmed.

Sternberg, R. J. (2012). *Psicología cognitiva*. São Paulo: Cengage Learning.

Sternberg, R. J. (2021). Meta-Intelligence: Understanding, control, and coordination of higher cognitive processes. *Heidelberger Jahrbücher Online*, 487-502. <https://doi.org/10.17885/HEIUP.HDJBO.2021.1.24399>

Sternberg, R. J., & Grigorenko, E. L. (2003). *Inteligencia plena: Enseñando y fomentando el aprendizaje y el logro de los estudiantes*. Porto Alegre: Artmed.

Sternberg, R. J., Kaufman, J. C., & Grigorenko, E. L. (2008). *Inteligencia aplicada*. Cambridge: Cambridge University Press.

Material complementario

Metacognición en la Enseñanza de la Química: Desarrollo de capacidades a través de la Actividad Experimental Problematizada (AEP)

Material Suplementario A - Hallazgos cuantitativos del análisis de indicadores de desarrollo metacognitivo

DISCUSIÓN PREVIA																	
AMC						PMC						CMC					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
P	5	6	4	7	5	0	0	5	0	0	4	5	0	5	0	5	
T1	5,7	5,6	4,9	4,4	4,0	4,8	0	4,4	0	0	5,0	4,8	5,4	5,2	4,5	0	0
T2	6,2	6,2	6,2	5,0	5,0	4,5	5,2	4,7	5,0	4,2	6,0	4,7	6,0	5,7	6,2	6,2	5,7
T3	5,9	6,4	5,7	5,6	4,3	5,0	5,0	4,7	4,4	4,6	4,8	4,3	5,5	4,7	5,3	5,9	4,7
T4	5,4	6,0	5,8	6,2	5,6	5,0	5,5	4,7	0	0	0	5,7	6,0	0	0	0	0
X	5,8	6,0	5,6	5,2	4,7	4,8	3,9	4,6	2,3	2,2	3,9	3,4	5,6	5,4	4,0	3,0	2,6
ORGANIZACIÓN Y DESARROLLO (TGA)																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
P	7	6	6	7	6	5	6	5	6	5	5	6	5	6	0	5	
T1	6,5	6,3	5,9	5,3	5,1	5,1	5,1	3,9	4,3	5,1	6,3	4,9	6,0	5,2	6,3	6,5	5,0
T2	5,3	5,7	5,0	5,3	5,3	4,0	5,0	0	4,0	4,3	5,3	4,3	6,0	5,7	6,0	6,0	5,7
T3	5,9	5,9	5,0	4,4	4,3	4,2	5,0	4,0	4,3	4,1	5,4	4,0	5,1	5,4	5,4	5,0	4,3
T4	5,9	5,7	5,4	5,3	4,6	4,0	3,6	0	0	3,8	3,6	4,0	4,6	5,0	4,7	4,7	4,7
X	5,9	5,9	5,3	5,1	4,8	4,3	4,7	1,9	3,1	4,3	5,1	4,3	5,4	5,3	5,6	5,5	4,9
ORGANIZACIÓN Y DESARROLLO (PIRÓLISIS)																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
P	7	6	6	7	6	5	6	5	6	5	5	6	5	6	0	5	
T1	6,4	6,1	5,7	5,7	5,5	4,7	5,5	5,2	6,0	5,9	5,7	5,4	5,0	5,0	5,7	5,4	5,4
T2	6,5	6,7	6,0	7,0	6,2	5,7	6,3	5,7	5,0	5,0	5,0	5,0	5,2	5,0	5,7	5,2	4,7
T3	6,4	6,6	5,1	5,0	4,3	4,7	4,7	4,6	4,9	5,4	6,0	4,3	4,0	3,4	6,1	4,0	5,3
T4	5,7	5,7	5,2	5,5	4,3	4,8	5,5	4,4	0	4,3	4,4	4,7	5,2	5,0	5,2	5,0	5,0
X	6,2	6,3	5,5	5,8	5,1	4,9	5,5	4,9	3,9	5,1	5,3	4,8	4,8	4,6	5,7	4,9	5,1
SOCIALIZACIÓN																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
P	5	6	5	7	6	6	7	6	3	5	5	5	6	5	6	0	5
T1	6,0	5,8	5,6	5,0	4,2	4,8	4,5	5,4	5,5	5,6	6,0	4,5	4,3	4,0	5,8	4,2	4,8
T2	6,0	6,2	5,8	5,8	6,2	5,3	5,2	5,2	4,6	5,3	5,0	5,2	5,2	5,0	5,8	5,2	5,5
T3	6,7	6,4	5,4	5,4	5,4	5,2	5,1	4,1	4,1	5,6	4,5	4,7	4,7	5,0	4,3	4,7	5,4
T4	5,4	6,0	5,8	6,2	5,6	5,0	5,5	4,7	0	5,0	0	5,7	6,0	6,5	7,0	0	5,0
X	6,0	6,1	5,6	5,6	5,3	5,1	5,1	4,8	3,5	5,4	3,9	5,0	5,0	5,1	5,7	3,5	5,2

Legenda: P – Autoavaliação da pesquisadora; T1 – Turma 1; T2 – Turma 2; T3 – Turma 3; T4 – Turma 4; X – Média aritmética das turmas.

SISTEMATIZACIÓN																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
P	6	6	6	7	0	0	6	6	6	6	6	6	0	5	6	7	5
T1	6,6	6,6	6,1	6,1	5,4	5,7	5,3	5,7	6,2	5,4	6,7	5,8	4,8	5,5	5,5	6,2	5,4
T2	6,2	6,0	6,0	6,0	6,0	5,5	5,0	5,3	4,7	5,2	4,5	5,7	5,3	5,7	5,5	5,3	4,7
T3	6,4	6,4	5,9	5,9	5,1	5,2	5,5	5,7	6,0	4,9	5,7	5,6	5,7	5,7	5,7	5,5	5,7
T4	5,7	5,7	5,2	5,5	4,3	4,8	5,5	4,4	0	4,3	4,4	4,7	5,2	5,0	5,2	5,2	5,0
X	6,2	6,2	5,8	5,9	5,2	5,3	5,3	5,2	4,2	4,9	5,3	5,4	5,2	5,5	5,5	5,5	5,2

Material Suplementario B – Indicadores de Desarrollo Metacognitivo (IDMC)

IDMC – evaluación del desarrollo por clase	
ANALÍTICO	<p>AMC1: Mis conocimientos sobre el contenido químico aumentaron gradualmente al final de la clase.</p> <p>AMC2: La(s) metodología(s) utilizada(s) para la enseñanza de la química contribuyeron a mi aprendizaje.</p> <p>AMC3: Pude obtener información química que puedo aplicar a mi realidad.</p> <p>AMC4: Necesitaba materias químicas que ya había estudiado para entender los temas que se enseñaban en clase o en el curso.</p> <p>AMC5: Identifiqué problemas a resolver.</p> <p>AMC6: Organicé la información para resolver situaciones problemáticas y formulé estrategias para resolver el problema identificado.</p>
PRÁCTICO	<p>PMC7: Monitoreé la ejecución de las estrategias planificadas y evalué la solución del problema comparando los resultados obtenidos con los resultados esperados.</p> <p>PMC8: Al considerar explicaciones alternativas para interpretar un fenómeno científico conocido, asumí los riesgos inherentes a la propuesta de nuevas ideas y superé los obstáculos que surgieron, persistiendo en resolver el problema.</p> <p>PMC9: Utilicé mis habilidades correctamente en la realización de cada actividad y transformé las ideas en acciones, gestionando los recursos disponibles.</p> <p>PMC10: Revisé el paso a paso de una actividad con miras al resultado y me comprometí a realizar las tareas propuestas, iniciar el proceso de trabajo y completarlas satisfactoriamente.</p> <p>PMC11: Contribuí a realizar las tareas con el grupo de trabajo, reconociendo mis fallas/limitaciones, estuve dispuesto a rehacer las tareas sin dejar que la frustración me impidiera volver a intentarlo y fui independiente para realizar adecuadamente las tareas requeridas (de responsabilidad individual).</p> <p>PMC12: Superé problemas personales, gestioné las distracciones y la falta de concentración en situaciones de trabajo, y previamente organicé las tareas en un horario a seguir, todo para asegurarme de que las situaciones laborales no se vieran afectadas.</p>

CRIATIVO

CMC13: Redefiní los problemas, modificando la perspectiva de resolución propuesta inicialmente, y cuestioné los supuestos e hipótesis planteados inicialmente para reformular el entorno de resolución de problemas siempre que fuera necesario.

CMC14: Presenté ideas creativas a mis colegas, convenciéndolos de que era el mejor camino a seguir, y generé ideas alternativas para resolver los impasses que surgían.

CMC15: Fui paciente en el desarrollo de actividades que consumían más tiempo con resultados a largo plazo.

CMC16: Utilicé la creatividad para producir algo relacionado con la innovación y la solución de diversos problemas.

CMC17: Me sentí motivado para completar las tareas requeridas y controlé mis impulsos, reflexionando sobre las posibles soluciones al problema propuesto.