




FORTALECIMIENTO DE COMPETENCIAS ANALÍTICAS: FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA EN CONTAMINANTES EMERGENTES

FORTALECIMENTO DE COMPETÊNCIAS ANALÍTICAS: FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA EM CONTAMINANTES EMERGENTES

STRENGTHENING ANALYTICAL COMPETENCIES: HETEROGENEOUS PHOTOCATALYSIS IN EMERGING CONTAMINANTS

 <https://doi.org/10.56238/isevmjv5n2-046>

Receipt of originals: 03/29/2026

Acceptance for publication: 04/29/2026

Alfonso Rafael Alean Garrido¹, Dora Luz Gómez Aguilar²

RESUMEN

El desarrollo de competencias analíticas constituye un eje fundamental en la formación científica de futuros docentes de química. Este estudio analiza su fortalecimiento a partir de una experiencia formativa basada en la remoción fotocatalítica de acetaminofén en aguas residuales sintéticas utilizando TiO_2 como catalizador. La investigación se desarrolló con estudiantes de Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional (Colombia), mediante un enfoque de aprendizaje experiencial articulado con el modelo de Kolb y el enfoque de competencias analíticas de Torres-Salcedo. Metodológicamente, se estructuró en tres fases: diagnóstico inicial, implementación experimental y evaluación posterior. Los resultados evidenciaron avances en nivel medio-alto en la interpretación de datos experimentales, establecimiento de relaciones entre variables, formulación de hipótesis y argumentación científica basada en evidencia. Se observó una mejora significativa en la capacidad de análisis de resultados cuantitativos y en la comprensión de procesos fisicoquímicos complejos. La experiencia permitió integrar conocimientos de química ambiental, cinética química y análisis instrumental en un contexto aplicado. No obstante, se identificaron limitaciones en la profundización del análisis crítico en algunos estudiantes y en la formulación autónoma de modelos explicativos. Se concluye que este tipo de estrategias experimentales favorece el desarrollo de competencias analíticas, aunque a futuro se requiere fortalecer procesos de reflexión metacognitiva y transferencia del conocimiento a nuevos contextos problemáticos.

Palabras clave: Aprendizaje Experiencial. Competencias Analíticas. Contaminantes Emergentes. Educación Química. Fotocatálisis Heterogénea.

RESUMO

O desenvolvimento de competências analíticas constitui um eixo fundamental na formação científica de futuros professores de química. Este estudo analisa seu fortalecimento a partir de uma experiência formativa baseada na remoção fotocatalítica de acetaminofeno em águas residuais sintéticas utilizando TiO_2 como catalisador. A

¹ Master's student in Chemistry Education. Universidad Pedagógica Nacional.
E-mail: dqu_araleang356@pedagogica.edu.co

² Dr. in Sustainable Development. Universidad Pedagógica Nacional.
E-mail: dgomez@pedagogica.edu.co



pesquisa foi desenvolvida com estudantes de Licenciatura em Química da Universidad Pedagógica Nacional (Colômbia), por meio de uma abordagem de aprendizagem experiencial articulada ao modelo de Kolb e ao enfoque de competências analíticas de Torres-Salcedo. Metodologicamente, estruturou-se em três fases: diagnóstico inicial, implementação experimental e avaliação posterior. Os resultados evidenciaram avanços em nível médio-alto na interpretação de dados experimentais, estabelecimento de relações entre variáveis, formulação de hipóteses e argumentação científica baseada em evidências. Observou-se uma melhora significativa na capacidade de análise de resultados quantitativos e na compreensão de processos físico-químicos complexos. A experiência permitiu integrar conhecimentos de química ambiental, cinética química e análise instrumental em um contexto aplicado. No entanto, foram identificadas limitações no aprofundamento da análise crítica em alguns estudantes e na formulação autônoma de modelos explicativos. Conclui-se que esse tipo de estratégia experimental favorece o desenvolvimento de competências analíticas; contudo, futuramente, é necessário fortalecer processos de reflexão metacognitiva e a transferência do conhecimento para novos contextos problemáticos.

Palavras-chave: Aprendizagem Experiencial. Competências Analíticas. Contaminantes Emergentes. Educação em Química. Fotocatálise Heterogênea.

ABSTRACT

The development of analytical competencies constitutes a fundamental axis in the scientific training of future chemistry teachers. This study analyzes their strengthening through a formative experience based on the photocatalytic removal of acetaminophen in synthetic wastewater using TiO_2 as a catalyst. The research was conducted with undergraduate Chemistry students at the Universidad Pedagógica Nacional (Colombia), through an experiential learning approach articulated with Kolb's model and the analytical competencies framework of Torres-Salcedo. Methodologically, it was structured in three phases: initial diagnosis, experimental implementation, and subsequent evaluation. The results showed progress at a medium-high level in the interpretation of experimental data, establishment of relationships between variables, formulation of hypotheses, and scientific argumentation based on evidence. A significant improvement was observed in the ability to analyze quantitative results and in the understanding of complex physicochemical processes. The experience allowed the integration of knowledge from environmental chemistry, chemical kinetics, and instrumental analysis in an applied context. However, limitations were identified in the deepening of critical analysis in some students and in the autonomous formulation of explanatory models. It is concluded that this type of experimental strategy favors the development of analytical competencies; however, future efforts should strengthen metacognitive reflection processes and the transfer of knowledge to new problem contexts.

Keywords: Experiential Learning. Analytical Competencies. Emerging Contaminants. Chemistry Education. Heterogeneous Photocatalysis.



1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo de competencias analíticas representa un componente esencial en la formación científica, particularmente en disciplinas experimentales como la química, donde la interpretación rigurosa de datos, la identificación de relaciones entre variables y la construcción de explicaciones fundamentadas constituyen habilidades indispensables para la comprensión de los fenómenos naturales (García & Ramírez, 2019). En el ámbito de la formación de docentes de química, estas competencias adquieren una relevancia adicional, dado que no solo permiten comprender procesos fisicoquímicos complejos, sino también facilitan la mediación pedagógica del conocimiento científico en contextos educativos diversos.

En la educación científica contemporánea se reconoce que el aprendizaje de la química debe trascender la memorización de conceptos y orientarse hacia el desarrollo de capacidades analíticas que permitan a los estudiantes interpretar fenómenos, formular hipótesis y evaluar evidencias experimentales. En este sentido, el fortalecimiento de competencias analíticas contribuye al desarrollo del pensamiento crítico y a la formación de profesionales capaces de enfrentar problemáticas científicas y ambientales desde una perspectiva investigativa (Ruiz & Fernández, 2018).

En el contexto de la educación superior colombiana, las competencias analíticas se consideran parte integral de las competencias investigativas que deben desarrollar los estudiantes durante su formación académica. Estas competencias implican la capacidad de analizar información científica, establecer relaciones causales entre variables, evaluar resultados experimentales y construir argumentos sustentados en evidencia empírica (Torres-Salcedo, 2019). Desde esta perspectiva, la formación universitaria en ciencias debe propiciar escenarios de aprendizaje en los que los estudiantes participen activamente en procesos de experimentación y análisis científico.

Una de las aproximaciones pedagógicas más relevantes para el desarrollo de competencias analíticas es el aprendizaje experiencial propuesto por David Kolb, quien plantea que el conocimiento se construye mediante un ciclo dinámico que integra experiencia concreta, reflexión sobre la experiencia, conceptualización abstracta y experimentación activa (Kolb, 1984). Este modelo resalta la importancia de la interacción entre teoría y práctica en la construcción del conocimiento científico, especialmente en disciplinas experimentales como la química.



La implementación de actividades experimentales contextualizadas permite a los estudiantes enfrentarse a situaciones reales que demandan análisis, interpretación de datos y toma de decisiones fundamentadas. En este sentido, el estudio de problemáticas ambientales emergentes, como la presencia de residuos farmacéuticos en cuerpos de agua, constituye una oportunidad pedagógica para promover el desarrollo de competencias analíticas en el aula de química (González et al., 2020).

Entre los contaminantes emergentes que han generado mayor preocupación en la comunidad científica se encuentran los analgésicos presentes en aguas residuales, particularmente el acetaminofén. Su presencia en ecosistemas acuáticos se asocia con efectos adversos como alteraciones en procesos metabólicos de organismos acuáticos, disrupción endocrina, bioacumulación y toxicidad crónica en especies sensibles (González et al., 2020). Estas afectaciones evidencian la necesidad de desarrollar estrategias eficientes para su remoción. (Fujishima & Honda, 2008).

Para la mitigación de estos contaminantes se han propuesto diversos métodos, entre los que se incluyen tratamientos biológicos, adsorción con carbón activado, procesos de coagulación-floculación y oxidación química. Sin embargo, muchos de estos métodos presentan limitaciones en la degradación completa de compuestos farmacéuticos, lo que ha impulsado el desarrollo de procesos avanzados de oxidación como la fotocatalisis heterogénea.

La fotocatalisis heterogénea tiene sus fundamentos en los trabajos pioneros de Fujishima y Honda (1972), quienes demostraron la fotólisis del agua utilizando TiO_2 como semiconductor. Desde entonces, países como Japón, Alemania, China y Estados Unidos han liderado el desarrollo de esta tecnología, ampliando su aplicación en el tratamiento de contaminantes emergentes.

La fotocatalisis heterogénea basada en dióxido de titanio (TiO_2) se ha consolidado como una tecnología eficiente para la degradación de contaminantes orgánicos debido a su capacidad para generar especies reactivas cuando es irradiado con luz ultravioleta. Este proceso permite la oxidación de moléculas complejas hasta productos menos nocivos o completamente mineralizados, lo que lo convierte en una herramienta relevante tanto en el ámbito ambiental como educativo (Herrmann, 2010).

Además del acetaminofén, este tipo de procesos ha sido aplicado en la degradación de antibióticos, hormonas, pesticidas y colorantes industriales, lo que evidencia su amplio potencial en el tratamiento de aguas contaminadas.



Desde una perspectiva didáctica, el estudio experimental de la fotocatalisis heterogénea ofrece un escenario propicio para el fortalecimiento de competencias analíticas, ya que involucra la manipulación de variables experimentales, la interpretación de resultados cuantitativos y la elaboración de explicaciones basadas en principios químicos. Estas actividades permiten a los estudiantes desarrollar habilidades metodológicas, interpretativas y argumentativas propias del trabajo científico (Torres-Salcedo, 2019).

En este contexto, la presente investigación tuvo como propósito analizar el fortalecimiento de las competencias analíticas en estudiantes de Licenciatura en Química mediante la implementación de una experiencia experimental centrada en la degradación fotocatalítica de acetaminofén en aguas residuales sintéticas. A través de esta propuesta pedagógica se buscó integrar los fundamentos del aprendizaje experiencial con el desarrollo de competencias investigativas en el ámbito de la educación química.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 COMPETENCIAS ANALÍTICAS EN LA FORMACIÓN CIENTÍFICA

Las competencias analíticas constituyen un conjunto de habilidades cognitivas que permiten interpretar información científica, establecer relaciones entre variables y construir explicaciones fundamentadas en evidencia empírica. En el ámbito de la educación científica, estas competencias se relacionan estrechamente con la capacidad de analizar datos experimentales, formular hipótesis y evaluar críticamente los resultados obtenidos durante los procesos de investigación (Torres-Salcedo, 2019). Desde esta perspectiva, el desarrollo de dichas competencias resulta fundamental para la formación de profesionales capaces de comprender fenómenos complejos y tomar decisiones fundamentadas en contextos científicos.

Diversos estudios han señalado que el fortalecimiento de las competencias analíticas favorece la construcción del pensamiento científico y la capacidad de los estudiantes para abordar problemas de investigación de manera rigurosa. Estas competencias permiten desarrollar habilidades de razonamiento lógico, interpretación de resultados y evaluación crítica de la información, elementos esenciales en el proceso de construcción del conocimiento científico (Ruiz & Fernández, 2018). En consecuencia, la educación en ciencias debe promover estrategias pedagógicas que estimulen la reflexión, la argumentación y el análisis de fenómenos naturales.



En el campo de la formación docente en química, las competencias analíticas adquieren una importancia particular, ya que los futuros profesores deben ser capaces no solo de comprender los procesos químicos, sino también de guiar a sus estudiantes en la interpretación de fenómenos experimentales. En este sentido, la enseñanza de la química debe orientarse hacia el desarrollo de habilidades de análisis e interpretación que permitan a los estudiantes comprender la relación entre teoría y experimentación (García & Ramírez, 2019).

Asimismo, las competencias analíticas se vinculan estrechamente con las competencias investigativas, ya que ambas implican la capacidad de analizar información científica, formular preguntas de investigación y construir explicaciones fundamentadas. En el contexto de la educación superior, estas competencias se consideran esenciales para promover la cultura investigativa y el pensamiento crítico en los estudiantes (González et al., 2020).

2.2 ENFOQUE DE APRENDIZAJE EXPERIENCIAL DE DAVID KOLB

El modelo de aprendizaje experiencial propuesto por David Kolb plantea que el aprendizaje se desarrolla a partir de la interacción entre la experiencia y la reflexión. Según este enfoque, el conocimiento se construye mediante un ciclo continuo que incluye cuatro etapas: experiencia concreta, observación reflexiva, conceptualización abstracta y experimentación activa (Kolb, 1984). Este modelo ha sido ampliamente utilizado en la educación científica debido a su capacidad para integrar la teoría con la práctica experimental.

La aplicación del modelo de Kolb en la enseñanza de las ciencias permite que los estudiantes participen activamente en la construcción del conocimiento mediante experiencias experimentales que posteriormente son analizadas y conceptualizadas. Este proceso favorece el desarrollo de competencias analíticas, ya que los estudiantes deben interpretar resultados, identificar patrones y establecer relaciones entre variables experimentales (Kolb, 2015).

En el contexto de la educación química, el aprendizaje experiencial adquiere especial relevancia debido a la naturaleza experimental de la disciplina. La realización de actividades de laboratorio permite que los estudiantes observen directamente los fenómenos químicos, analicen los resultados obtenidos y elaboren explicaciones fundamentadas en principios teóricos (Herrmann, 2010). De esta manera, la experiencia



experimental se convierte en un elemento central para el desarrollo del pensamiento científico.

Además, el modelo de Kolb promueve la reflexión sobre la experiencia como un elemento clave del aprendizaje. Esta etapa permite que los estudiantes analicen críticamente los resultados obtenidos, identifiquen posibles errores experimentales y planteen nuevas hipótesis de investigación. Como resultado, se fortalece la capacidad de análisis y la argumentación científica, competencias fundamentales en la formación de profesionales en ciencias (Kolb, 2015).

2.3 COMPETENCIAS ANALÍTICAS EN EL CONTEXTO COLOMBIANO: APORTES DE TORRES-SALCEDO

En el contexto colombiano, Javier Torres-Salcedo ha desarrollado un enfoque teórico orientado al fortalecimiento de las competencias investigativas en estudiantes de educación superior, destacando el papel central de las competencias analíticas dentro de este proceso formativo. Según este autor, el análisis crítico de la información científica constituye una habilidad fundamental para que los estudiantes puedan comprender los fenómenos naturales y construir conocimiento científico de manera rigurosa (Torres-Salcedo, 2019)

Torres-Salcedo plantea que las competencias analíticas incluyen diversas dimensiones, entre las que se destacan la interpretación de datos, la formulación de hipótesis, la argumentación científica y la comunicación de resultados de investigación. Estas dimensiones permiten que los estudiantes desarrollen una comprensión profunda de los procesos científicos y participen activamente en la construcción del conocimiento (Torres-Salcedo, 2019).

Asimismo, el autor señala que el desarrollo de competencias analíticas requiere la implementación de metodologías activas de aprendizaje que involucren a los estudiantes en la resolución de problemas reales. Estrategias pedagógicas como el aprendizaje basado en proyectos y el aprendizaje basado en problemas permiten que los estudiantes analicen información científica, interpreten resultados experimentales y propongan soluciones fundamentadas (Torres-Salcedo, 2019).

Desde esta perspectiva, la enseñanza de la química debe orientarse hacia la construcción de escenarios de aprendizaje en los que los estudiantes participen activamente en procesos de investigación y experimentación. De esta manera, se



promueve el desarrollo de habilidades analíticas que contribuyen a la formación de profesionales capaces de enfrentar los desafíos científicos y ambientales del contexto contemporáneo (González et al., 2020).

2.4 FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA COMO ESTRATEGIA DIDÁCTICA EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA

La fotocatalisis heterogénea es un proceso avanzado de oxidación que utiliza materiales semiconductores para promover reacciones químicas en presencia de radiación luminosa. Entre los catalizadores más utilizados en este tipo de procesos se encuentra el dióxido de titanio (TiO_2), debido a su estabilidad química, bajo costo y alta eficiencia en la degradación de contaminantes orgánicos (Fujishima & Honda, 2008).

Cuando el dióxido de titanio es irradiado con luz de energía suficiente, se generan pares electrón-hueco que permiten la formación de especies altamente reactivas, como radicales hidroxilo, capaces de oxidar moléculas orgánicas presentes en el medio acuoso. Este proceso conduce a la degradación progresiva de contaminantes hasta productos menos tóxicos o completamente mineralizados (Herrmann, 2010).

En los últimos años, la fotocatalisis heterogénea ha sido ampliamente estudiada como alternativa para la eliminación de contaminantes emergentes, entre ellos residuos farmacéuticos presentes en aguas residuales. El acetaminofén, uno de los analgésicos más consumidos a nivel mundial, ha sido identificado como un contaminante de interés ambiental debido a su presencia en sistemas acuáticos y su potencial impacto en los ecosistemas (González et al., 2020).

Desde una perspectiva pedagógica, la fotocatalisis heterogénea constituye una herramienta didáctica valiosa para la enseñanza de la química, ya que integra conceptos de química ambiental, fisicoquímica y análisis instrumental. La realización de experimentos relacionados con este proceso permite que los estudiantes desarrollen habilidades de análisis de datos, interpretación de resultados y argumentación científica, fortaleciendo así sus competencias analíticas (Herrmann, 2010).

3 METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló bajo un enfoque educativo con alcance descriptivo-analítico y diseño cuasi-experimental de tipo prospectivo, orientado a evaluar el fortalecimiento de competencias analíticas en estudiantes de Licenciatura en Química de



la Universidad Pedagógica Nacional (Colombia). La propuesta metodológica se fundamentó en el aprendizaje experiencial y en la resolución de problemáticas ambientales, permitiendo articular la enseñanza de la química con el desarrollo del pensamiento científico mediante la experimentación (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

El proceso se estructuró en tres fases: diagnóstico inicial, intervención experimental y evaluación del fortalecimiento de competencias analíticas. En la primera fase se aplicó un instrumento de caracterización que permitió identificar el nivel inicial de habilidades analíticas en los estudiantes, particularmente en aspectos relacionados con la interpretación de datos, el análisis de variables y la argumentación científica. Este diagnóstico evidenció la necesidad de promover procesos pedagógicos centrados en el análisis experimental y la construcción de conocimiento a partir de la experiencia (Torres-Salcedo, 2019).

La segunda fase correspondió a la implementación de la intervención experimental, la cual se centró en el uso de un prototipo de fotocatalizador de elaboración propia, diseñado como herramienta didáctica para facilitar la comprensión del proceso de fotocatalisis heterogénea. Este prototipo permitió a los estudiantes tener un acercamiento directo, tangible y funcional al fenómeno, constituyéndose en un elemento articulador entre la teoría y la práctica experimental. La construcción y uso del fotocatalizador favoreció la apropiación conceptual del proceso fotocatalítico, al permitir visualizar la interacción entre la radiación, el semiconductor (TiO_2) y el contaminante (Herrmann, 2010).

Durante esta fase, los estudiantes participaron activamente en el montaje, operación y análisis del sistema fotocatalítico, lo cual implicó la aplicación rigurosa de Buenas Prácticas de Laboratorio (BPL), incluyendo el manejo adecuado de reactivos (HCl 0.1 M, TiO_2), control de condiciones experimentales (preparación de soluciones, dosis del semiconductor, interacción de la radiación UV-Vis, tiempo de contacto, manejo del espectrofotómetro), registro sistemático de datos y aseguramiento de la calidad de los resultados. Estas prácticas contribuyeron al desarrollo de las competencias metodológicas, fundamentales en la formación científica, al promover el trabajo experimental bajo criterios de precisión, veracidad (Gil-Pérez & Vilches, 2006).

Adicionalmente, la experiencia experimental exigió un trabajo matemático significativo, relacionado con el cálculo de concentraciones, preparación de soluciones,



procesos de dilución y análisis de variables experimentales. Los estudiantes aplicaron conceptos de estequiometría, proporcionalidad y análisis cuantitativo para determinar concentraciones iniciales y finales del contaminante, así como para interpretar los cambios en la absorbancia registrados durante el proceso fotocatalítico. Este componente fortaleció la capacidad de los estudiantes para integrar el lenguaje matemático con la interpretación de fenómenos químicos (Pozo & Gómez Crespo, 2009).

El control de variables experimentales como la masa del catalizador, el tiempo de irradiación y la concentración inicial del acetaminofén permitió a los estudiantes comprender la relación entre las condiciones del sistema y la eficiencia del proceso de degradación. Este análisis favoreció el desarrollo de habilidades relacionadas con la identificación de variables independientes y dependientes, así como la comprensión de su influencia en los resultados experimentales (Zoller & Pushkin, 2007).

Un aspecto fundamental de la intervención fue la interpretación de los datos experimentales, donde los estudiantes analizaron tendencias, establecieron relaciones entre variables y construyeron explicaciones científicas basadas en evidencia. Este proceso permitió fortalecer competencias interpretativas y argumentativas, ya que los estudiantes debieron justificar sus resultados a partir de principios fisicoquímicos y del comportamiento del sistema fotocatalítico (Torres-Salcedo, 2019).

Asimismo, la experiencia permitió evidenciar la importancia de los resultados obtenidos en el contexto del tratamiento de aguas residuales, ya que los estudiantes lograron comprender la relevancia ambiental de la degradación de contaminantes emergentes como el acetaminofén. Este enfoque contextualizado favoreció la conexión entre el conocimiento científico y su aplicación en la solución de problemáticas reales, promoviendo una comprensión más significativa de la química (González et al., 2020).

Es importante resaltar que, durante todo el proceso, el rol del docente se asumió como orientador y mediador del aprendizaje, facilitando la construcción del conocimiento a partir de la experiencia y promoviendo la reflexión crítica sobre los resultados obtenidos. Este enfoque pedagógico permitió que los estudiantes asumieran un papel activo en su proceso de aprendizaje, desarrollando autonomía en el análisis, la interpretación y la argumentación científica, en coherencia con el modelo de aprendizaje experiencial de Kolb (Kolb, 1984).

Finalmente, en la tercera fase se evaluó el fortalecimiento de las competencias analíticas mediante el análisis de los informes experimentales elaborados por los



estudiantes, así como la comparación de los resultados obtenidos con la evaluación diagnóstica inicial. Este proceso permitió identificar avances en habilidades relacionadas con el análisis de datos, la interpretación de resultados y la construcción de explicaciones científicas fundamentadas en evidencia empírica.

4 RESULTADOS

4.1 DIAGNÓSTICO INICIAL DE COMPETENCIAS ANALÍTICAS

Los resultados evidenciaron que una proporción significativa del grupo presentaba dificultades en la interpretación de fenómenos fisicoquímicos, especialmente en la comprensión de relaciones entre variables como concentración, absorbancia y tiempo de reacción. Asimismo, se identificaron limitaciones en la lectura de datos experimentales, análisis de tendencias y formulación de conclusiones a partir de resultados cuantitativos, lo que afectaba la construcción de explicaciones científicas fundamentadas. (Torres-Salcedo, 2019).

Asimismo, se observó que los estudiantes tendían a abordar los problemas científicos desde una perspectiva principalmente descriptiva, sin profundizar en el análisis de los procesos involucrados ni en la interpretación de los datos obtenidos. Este hallazgo coincide con investigaciones previas que señalan que, en los niveles iniciales de formación científica, los estudiantes suelen centrarse en la reproducción de información conceptual, mientras que el desarrollo del pensamiento analítico requiere procesos pedagógicos orientados hacia la experimentación y el análisis de resultados (Ruiz & Fernández, 2018).

Los resultados del diagnóstico evidenciaron la necesidad de implementar estrategias pedagógicas que permitieran fortalecer habilidades relacionadas con el análisis de datos experimentales, la identificación de relaciones entre variables y la construcción de explicaciones fundamentadas en principios químicos. Estas competencias constituyen un componente central del pensamiento científico y resultan indispensables para la formación de docentes de química capaces de promover procesos de aprendizaje investigativo en sus futuros estudiantes (García & Ramírez, 2019).



4.2 DESARROLLO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DEL PROCESO FOTOCATALÍTICO

Durante la fase experimental, los estudiantes participaron en el montaje y funcionamiento de un sistema de fotocatalisis heterogénea destinado a la degradación de acetaminofén en soluciones acuosas. El sistema utilizó dióxido de titanio como catalizador semiconductor, cuya activación mediante radiación ultravioleta permitió generar especies oxidantes capaces de degradar el contaminante presente en la solución (Fujishima & Honda, 2008).

La experiencia experimental implicó el control de diversas variables, entre ellas la masa del catalizador, el tiempo de irradiación y la concentración inicial del contaminante. Los estudiantes registraron los cambios en la absorbancia de las soluciones a lo largo del proceso, lo que permitió determinar la eficiencia de remoción del acetaminofén y analizar la relación entre las condiciones experimentales y el comportamiento del sistema fotocatalítico.

El análisis de los resultados experimentales evidenció que la degradación del acetaminofén aumentó progresivamente con el incremento del tiempo de exposición a la radiación ultravioleta y con el aumento de la masa del catalizador. Estos resultados permitieron a los estudiantes identificar patrones de comportamiento en el proceso de degradación y establecer relaciones entre las variables experimentales involucradas en el sistema fotocatalítico (Herrmann, 2010).

Desde el punto de vista pedagógico, la actividad experimental permitió que los estudiantes participaran activamente en la construcción del conocimiento científico, ya que debieron interpretar datos experimentales, analizar tendencias y elaborar conclusiones fundamentadas en principios fisicoquímicos. Este proceso contribuyó al fortalecimiento de habilidades analíticas relacionadas con la interpretación de resultados y la comprensión de procesos químicos complejos.

4.3 FORTALECIMIENTO DE LAS COMPETENCIAS ANALÍTICAS

El análisis de los informes experimentales elaborados por los estudiantes evidenció avances significativos en el desarrollo de diversas dimensiones de las competencias analíticas. En particular, se observaron mejoras en la capacidad de interpretar datos experimentales, establecer relaciones entre variables y formular explicaciones científicas basadas en evidencia empírica.



Estos avances se ubicaron predominantemente en un nivel medio-alto de desarrollo de competencias analíticas, de acuerdo con los criterios establecidos en la escala de evaluación utilizada.

En términos metodológicos, los estudiantes demostraron mayor capacidad para diseñar procedimientos experimentales, controlar variables y analizar los resultados obtenidos durante el proceso fotocatalítico. Estas habilidades corresponden a lo que Torres-Salcedo denomina competencias metodológicas, las cuales implican la capacidad de planificar y ejecutar procesos de investigación científica de manera rigurosa (Torres-Salcedo, 2019).

Asimismo, se evidenció un fortalecimiento en la dimensión interpretativa de las competencias analíticas, ya que los estudiantes lograron establecer relaciones entre la masa del catalizador, el tiempo de irradiación y el porcentaje de degradación del contaminante. Este tipo de análisis refleja un proceso de comprensión más profundo de los fenómenos químicos, caracterizado por la identificación de patrones y la interpretación de tendencias en los datos experimentales.

Otro aspecto relevante fue el desarrollo de la competencia argumentativa, manifestada en la capacidad de los estudiantes para justificar sus conclusiones mediante referencias a principios teóricos y resultados experimentales. Este tipo de argumentación científica constituye una habilidad fundamental en la formación investigativa, ya que permite construir explicaciones fundamentadas y comunicar resultados de manera rigurosa (González et al., 2020).

5 DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian que la implementación de experiencias experimentales contextualizadas puede contribuir significativamente al fortalecimiento de las competencias analíticas en estudiantes de química. La participación activa en el proceso experimental permitió a los estudiantes desarrollar habilidades relacionadas con la interpretación de datos, la formulación de hipótesis y la construcción de explicaciones científicas fundamentadas.

Desde la perspectiva del aprendizaje experiencial propuesto por Kolb, la experiencia de laboratorio permitió que los estudiantes recorrieran las diferentes etapas del ciclo de aprendizaje. La manipulación del sistema fotocatalítico correspondió a la etapa de experiencia concreta, mientras que el análisis de los resultados obtenidos



favoreció la observación reflexiva y la conceptualización de los procesos químicos involucrados (Kolb, 1984).

Asimismo, el diseño de nuevas interpretaciones y la elaboración de conclusiones fundamentadas representaron una forma de experimentación activa, en la que los estudiantes aplicaron sus conocimientos para comprender el comportamiento del sistema fotocatalítico. Este proceso refleja la importancia de integrar experiencias experimentales en la enseñanza de la química para promover el desarrollo del pensamiento científico (Kolb, 2015).

Desde el enfoque de competencias analíticas propuesto por Torres-Salcedo, los resultados muestran que las actividades de laboratorio orientadas a la resolución de problemas reales constituyen un escenario pedagógico adecuado para el desarrollo de habilidades investigativas. La interacción entre teoría y experimentación permitió que los estudiantes desarrollaran capacidades de análisis crítico, interpretación de datos y argumentación científica (Torres-Salcedo, 2019).

Además, el uso de problemáticas ambientales reales, como la presencia de residuos farmacéuticos en aguas residuales, permitió contextualizar el aprendizaje de la química y vincular los contenidos curriculares con desafíos ambientales contemporáneos. Esta contextualización favorece la construcción de aprendizajes significativos y promueve una comprensión más profunda del papel de la química en la solución de problemas ambientales (Herrmann, 2010).

En este sentido, la integración de procesos experimentales relacionados con la fotocatalisis heterogénea no solo contribuye al aprendizaje de conceptos fisicoquímicos, sino que también promueve el desarrollo de competencias analíticas que resultan esenciales para la formación de docentes de química con una sólida base investigativa.

6 CONCLUSIONES

El desarrollo de competencias analíticas en la formación de docentes de química se consolida como un proceso que trasciende la apropiación conceptual y requiere la integración de experiencias experimentales significativas que permitan a los estudiantes analizar, interpretar y argumentar a partir de evidencia científica. En este estudio, la implementación de una estrategia didáctica basada en la fotocatalisis heterogénea permitió evidenciar avances en la interpretación de datos, la identificación de relaciones



entre variables y la construcción de explicaciones fundamentadas, aspectos centrales en el desarrollo del pensamiento científico (Torres-Salcedo, 2019).

Uno de los aportes más relevantes de la investigación radica en el diseño e implementación de un prototipo de fotocatalizador de elaboración propia, concebido no solo como un dispositivo experimental, sino como una herramienta didáctica innovadora para la enseñanza de la química. Este prototipo permitió materializar un fenómeno abstracto como la fotocatálisis heterogénea, facilitando su comprensión a partir de la interacción directa con el sistema experimental. De esta manera, el dispositivo actuó como un mediador pedagógico que articuló la teoría con la práctica, favoreciendo la construcción de conocimiento significativo en los estudiantes (Herrmann, 2010).

El uso del prototipo generó un impacto directo en los procesos de aprendizaje, al permitir que los estudiantes visualizaran y analizaran en tiempo real la degradación de un contaminante emergente. Este acercamiento experimental fortaleció la comprensión de conceptos complejos relacionados con la cinética química, la interacción radiación-materia y los procesos de oxidación avanzada, promoviendo una apropiación más profunda de los contenidos disciplinares y su aplicación en contextos reales.

Asimismo, el prototipo se consolidó como un recurso didáctico con alto potencial para la enseñanza de la química, al integrar componentes experimentales, matemáticos y analíticos en un mismo escenario de aprendizaje. Su uso permitió desarrollar habilidades relacionadas con el cálculo de concentraciones, la preparación de soluciones, el análisis de variables y la interpretación de datos experimentales, fortaleciendo la relación entre el lenguaje matemático y la comprensión de los fenómenos químicos (Pozo & Gómez Crespo, 2009).

Desde una perspectiva pedagógica, el uso de este tipo de dispositivos experimentales favorece la transición de modelos de enseñanza tradicionales hacia enfoques centrados en el aprendizaje activo y experiencial. En este sentido, el prototipo del fotocatalizador se posiciona como una herramienta que no solo facilita la comprensión conceptual, sino que también promueve el desarrollo de competencias analíticas mediante la interacción directa con fenómenos científicos, en coherencia con el modelo de aprendizaje experiencial de Kolb (Kolb, 1984).

Adicionalmente, la contextualización del proceso experimental en el tratamiento de aguas residuales contaminadas con acetaminofén permitió evidenciar la relevancia ambiental de la química, fortaleciendo la conexión entre el conocimiento científico y su



aplicación en la solución de problemáticas reales. Este enfoque contribuye a la formación de docentes con una visión crítica y contextualizada de la ciencia, capaces de integrar el conocimiento disciplinar con los desafíos ambientales contemporáneos (González et al., 2020).

El rol del docente como orientador del proceso fue determinante para potenciar el uso del prototipo como herramienta de aprendizaje, ya que permitió guiar la observación, la interpretación y la argumentación de los estudiantes, promoviendo la reflexión crítica sobre los resultados obtenidos. Este acompañamiento favoreció el desarrollo de autonomía en los procesos de análisis y consolidó el aprendizaje como un proceso activo y significativo (Kolb, 2015).

En este sentido, es importante destacar que la temática abordada posee un carácter inherentemente transversal dentro de la química, al articular conocimientos provenientes de diferentes subdisciplinas como la química orgánica, el estudio de materiales semiconductores y la química analítica. La comprensión del proceso de fotocatalisis heterogénea implica, por un lado, el análisis de la estructura y reactividad de compuestos orgánicos como el acetaminofén; por otro, la comprensión del comportamiento electrónico de materiales semiconductores como el dióxido de titanio bajo irradiación; y, adicionalmente, la cuantificación y seguimiento de especies químicas mediante herramientas propias del análisis químico. Esta integración disciplinar favorece una comprensión más amplia y profunda de los fenómenos estudiados, permitiendo a los estudiantes establecer relaciones entre conceptos, interpretar resultados desde múltiples enfoques y fortalecer sus competencias analíticas. En coherencia con lo planteado por Torres-Salcedo (2019), este tipo de abordajes integradores potencia la capacidad de análisis crítico y la construcción de conocimiento científico significativo, mientras que, desde la perspectiva del aprendizaje experiencial, facilita la conexión entre la experiencia experimental y la conceptualización teórica, promoviendo procesos de aprendizaje más sólidos y contextualizados (Kolb, 1984; Kolb, 2015).

En conclusión, el prototipo de fotocatalizador desarrollado en esta investigación representa un aporte significativo al campo de la didáctica de la química, al constituirse como una herramienta que integra experimentación, análisis y contextualización ambiental. Su implementación no solo fortaleció las competencias analíticas de los estudiantes, sino que también evidenció su potencial como recurso didáctico replicable



en otros contextos educativos, contribuyendo a la innovación en la enseñanza de la química y al fortalecimiento del pensamiento científico en la formación docente.

REFERENCIAS

- Fujishima, A., & Honda, K. (1972). Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode. *Nature*, 238(5358), 37–38.
- Gil-Pérez, D., & Vilches, A. (2006). Educación científica para la ciudadanía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(1), 7–43.
- González, M., Pérez, L., & Rodríguez, J. (2020). Contaminantes emergentes en sistemas acuáticos: Presencia, efectos y tratamiento. *Revista Colombiana de Química*, 49(2), 45–58.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill.
- Herrmann, J. M. (2010). Heterogeneous photocatalysis: Fundamentals and applications to the removal of various types of aqueous pollutants. *Catalysis Today*, 53(1), 115–129.
- Kolb, A., & Kolb, D. (2017). Experiential learning theory as a guide for experiential educators in higher education. *Experiential Learning & Teaching in Higher Education*, 1(1), 7–44.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice Hall.
- Kolb, D. A. (2015). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development* (2nd ed.). Pearson Education.
- Pozo, J., & Gómez Crespo, M. (2009). *Aprender y enseñar ciencia*. Morata.
- Tamayo, O., Zona, R., & Loaiza, Y. (2015). El desarrollo de habilidades de pensamiento científico en la enseñanza de las ciencias. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 45(3), 125–148.
- Torres-Salcedo, J. (2019). Competencias analíticas y pensamiento científico en la educación superior. *Revista Colombiana de Educación*, 76, 201–220.
- Zoller, U., & Pushkin, D. (2007). Matching higher-order cognitive skills with real-world chemistry problems. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(2), 153–171.