

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DIDÁCTICA PARA LA
ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA
BASADO EN EL MODELO 3P DEL ALINEAMIENTO CONSTRUCTIVO**

**LINA FERNANDA ARANGO GARCIA
NELSON WALDO BARRERA RICO
DIANA CATALINA CRUZ GONZÁLEZ**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
LICENCIATURA EN QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2020**

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DIDÁCTICA PARA LA
ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA
BASADO EN EL MODELO 3P DEL ALINEAMIENTO CONSTRUCTIVO**

Trabajo de grado para optar al título de Licenciados en química

**LINA FERNANDA ARANGO GARCIA
NELSON WALDO BARRERA RICO
DIANA CATALINA CRUZ GONZÁLEZ**

**Dirigido por:
Dra. DORA LUZ GÓMEZ AGUILAR**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
LICENCIATURA EN QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2020**

DEDICATORIA

Gracias a Dios por cada bendición y por permitirme tener fortaleza en momentos de dificultad. Gracias a mis padres, mi hermana y mis abuelitos por ser el pilar fundamental en mi vida, por creer siempre en mí, gracias por ser mi apoyo incondicional, y enseñarme que con disciplina y esfuerzo se alcanzan los sueños.

Gracias a mi novio por su amor, compañía, y apoyo brindado en cada momento. Igualmente, gracias a mi querido amigo Duván por sus sabios consejos, su apoyo constante y por motivarme a cumplir mis metas.

Gracias a mis compañeros y amigos por los momentos compartidos, en especial gracias a Catalina y a Nelson por todas las actividades académicas que pudimos culminar con éxito.

Finalmente, gracias a la Universidad y a mis profesores por sus enseñanzas y por tener la fortuna de formarme como profesional, en especial thanks to my English teacher Deisy Baracaldo for supporting me in the most difficult times and motivating me to always keep going to achieve my goals.

Arango Garcia, Lina Fernanda

Agradezco infinitamente a mi mamá porque siempre me apoyó en los momentos más difíciles que he pasado durante mi proceso formativo como profesional, siempre ha sido esa mano amiga y colaborativa en todo momento, al igual, a mi familia por estar pendiente de mi bienestar y salud. Gracias a mi novia que me ha ayudado a crecer como persona y como profesional y a mis amigos por darme apoyo en momentos de tristeza.

Barrera Rico, Nelson Waldo

Primero, agradezco a Dios por cada bendición, a mi hija por ser el motivo que me impulsó a salir adelante y a mi familia por todo el apoyo brindado en mi proceso académico.

A mis compañeros, quienes hicieron parte de mi formación como docente durante todo este tiempo, además de participar en este proyecto de investigación.

A mis docentes, por su acompañamiento, su dedicación y compromiso con su labor docente.

Cruz González, Diana Catalina.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestra directora de trabajo de grado Dora Luz Gómez por brindarnos la oportunidad de realizar esta investigación con su acompañamiento.

Gracias por los aportes que dieron paso a la construcción de este documento. Tiene nuestro aprecio y admiración por la excelente persona, docente, profesional e investigadora que es. Muchas gracias.

Agradecemos a nuestros profesores del departamento de química que durante nuestra formación nos han ayudado a crecer como profesionales y a formarnos en el campo de la química y la docencia. Igualmente agradecemos a la Universidad Pedagógica Nacional por brindarnos la oportunidad de formarnos como docentes y poder contribuir al cambio de la sociedad.

**Arango Garcia, Lina Fernanda
Barrera Rico, Nelson Waldo
Cruz González, Diana Catalina**

TABLA DE CONTENIDO

Tabla de contenido	1
Lista de figuras.....	3
Lista de graficas.....	4
Lista de tablas.....	4
CAPÍTULO 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	5
1.1. Introducción	5
1.2. Planteamiento del problema	7
1.3. Justificación	8
1.4. Antecedentes.....	9
1.4.1. Fotocatálisis Heterogénea.....	9
1.4.2. Alineamiento Constructivo.....	11
1.5. Pregunta de investigación.....	13
1.6. Objetivos.....	13
1.6.1. Objetivo general	13
1.6.2. Objetivos específicos	14
CAPÍTULO 2. REFERENTES CONCEPTUALES.....	14
2.1. Alineamiento constructivo.....	14
2.2. Enfoque superficial y profundo	16
2.3. Modelo 3P	16
2.4. Taxonomía SOLO.....	17
2.6. Fotocatálisis heterogénea.....	19
CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO	22
3.1. Metodología de Investigación	23
3.2. Fases de la investigación	23
3.3. Descripción de las fases de investigación	24
3.4. Población.....	26
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS	26
4.1. Estructura de la estrategia didáctica.....	26
4.1.1. Evaluación.....	28
4.1.2. alineación de la estrategia didáctica.....	30
4.2. Presagio	31

4.2.1. Test introductorio.....	31
4.2.2. Módulo 1.....	33
4.3. Proceso	37
4.3.1. módulo 2.....	37
4.4. Producto	44
4.4.1. Módulo 3.....	44
4.5. Resultados finales	50
6. CONCLUSIONES	53
7. RECOMENDACIONES.....	54
8. BIBLIOGRAFÍA	55
9. ANEXOS.....	59
Anexo 1. Página web.....	59
Página Principal:	59
Modulo 1.....	59
Módulo 2.....	60
Modulo 3.....	61
Anexo 2. Test de introductorio.	63
Anexo 3. Taller propuesto para el módulo 2.	71
Anexo 4. Taller práctico propuesto para el módulo 3.	75
Anexo 5. Rúbrica de evaluación según taxonomía SOLO módulo 1.	81
Anexo 6. Rúbrica de evaluación según taxonomía SOLO módulo 2.	83
Anexo 7. Rúbrica de evaluación según taxonomía SOLO módulo 3.	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Enfoque de aprendizaje superficial y profundo	16
Figura 2. Verbos asociados a los niveles de complejidad de la taxonomía SOLO	18
Figura 3. Orbitales moleculares en la conformación de las bandas de valencia y conducción.....	20
Figura 4. Formación de pares electrón-hueco en la red cristalina del semiconductor.	21
Figura 5. Esquema del proceso fotocatalítico en presencia de semiconductores..	21
Figura 6. Modelo 3P para la enseñanza del concepto de fotocátalisis heterogénea.	25
Figura 7. Objetivos de enseñanza	27
Figura 8. Perspectivas del profesor y del estudiante sobre la evaluación.....	29
Figura 9. Estructura organizacional del diseño de la estrategia didáctica bajo el alineamiento constructivo.	31
Figura 10. Logros de aprendizaje estipulados para el módulo 1.....	34
Figura 11. Mapa conceptual del módulo 1 elaborado por el estudiante 4: Clasificación multi-estructural.	35
Figura 12. Mapa conceptual del módulo 1 elaborado por el estudiante 13: Clasificación nivel Abstracto.	36
Figura 13. Logros de aprendizaje estipulados para el módulo 2.....	39
Figura 14. Diagrama del segundo módulo elaborado por el estudiante 5.....	42
Figura 15. Mapa conceptual elaborado por el estudiante 11 para responder la pregunta 13 en el cuestionario del módulo 2.	43
Figura 16. Logros de aprendizaje estipulados para el módulo 3.....	45
Figura 17. Proceso de fotocátalisis heterogénea sin peróxido de hidrógeno (A) y con peróxido de hidrógeno (B) elaborado por el estudiante 11.	47
Figura 18. Proceso de la muestra 1 y 2 en la técnica de fotocátalisis heterogénea elaborado por el estudiante 7.....	48

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Resultado de tendencia de respuesta de los estudiantes en el test introductorio.	33
Gráfica 2. Resultados de los logros de aprendizaje trabajados en el módulo 1.....	35
Gráfica 3. Resultados generales del módulo 1.	37
Gráfica 4. Resultados del logro de aprendizaje N° 1 para el módulo 2.....	40
Gráfica 5. Resultados del logro de aprendizaje N.º 2 para el módulo 2.	41
Gráfica 6. Resultados del logro de aprendizaje N.º 3 para el módulo 2.	43
Gráfica 7. Resultados generales del módulo 2.	44
Gráfica 8. Resultados del logro de aprendizaje 1 del módulo 3.	46
Gráfica 9. Resultados del logro de aprendizaje 2 del módulo 3.	48
Gráfica 10. Resultados generales del módulo 3	50
Gráfica 11. Resultados individuales de clasificación en cada uno de los módulos trabajados en las fases del modelo 3P	52

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.....	15
Tabla 2.....	17
Tabla 3.....	18
Tabla 4.....	22
Tabla 5.....	23
Tabla 6.....	27
Tabla 7.....	31
Tabla 8.....	38
Tabla 9.....	51

CAPÍTULO 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de las ciencias pretende formar docentes capaces de proponer soluciones a problemáticas actuales de carácter ambiental, social y económico (Rengifo, Quitiaquez, Mora, 2012). En ese sentido, uno de los mayores problemas ambientales presentes en la actualidad, es la contaminación de las fuentes hídricas, dado que, el agua es un recurso natural indispensable para el desarrollo de la vida en la tierra, razón por la cual, es empleada en diferentes actividades cotidianas de carácter doméstico e industrial. A causa de ello, la calidad del agua se ha visto afectada negativamente en las últimas décadas por actividades antropogénicas, generando alta contaminación del recurso más importante que tiene la humanidad, considerándose, así como una problemática mundial. A esto, los colorantes usados principalmente en procesos de la industria textil, alimentaria y laboratorios académicos o analíticos son contaminantes potenciales del recurso hídrico ya que contienen múltiples sustancias orgánicas recalcitrantes (Manrique, Laguna, Osorio, Serna, Torres, 2017), y su descarga directa sobre afluentes hídricos es una fuente de contaminación con alto impacto ambiental que puede inducir perturbaciones en la vida acuática.

Debido a esto, se da la necesidad de realizar tratamientos de aguas residuales contaminadas (ARC) con colorantes, con el fin de removerlos en su totalidad, pero, las ARC no solo son resistentes a la oxidación biológica sino también a tratamientos químicos convencionales como la hidrólisis ácida o básica. Aunque los tratamientos con adsorbentes como el carbón activado granular son eficientes para la remoción de contaminantes orgánicos, son costosos, no degradativos y únicamente transfiere el contaminante de una fase acuosa a una sólida, lo que demanda un tratamiento posterior (Sahel, Perol, Dappoze, Bouhent, Derriche & Guillard, 2010). Por tanto, la fotocatalisis es una técnica que se basa en el uso de la radiación UV para la degradación de colorantes presentes en aguas, en presencia de un semiconductor (TiO_2). La cual ha mostrado resultados promisorios, en el que el contaminante es transformado hasta la mineralización (CO_2), debido a la formación de agentes altamente oxidantes como el radical hidroxilo (OH^*) (Ljubas, Smoljanić, & Juretić, 2015).

Ahora bien, en Colombia se establece los límites permisibles de vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales en la resolución 631 de 2015, teniendo en cuenta la presencia de diferentes contaminantes, a pesar de ello, los colorantes no son mencionados en dicha resolución, razón por la cual, es necesario que los estudiantes de ciencias adquieran habilidades científicas, con el fin de proponer soluciones para esta problemática ambiental. Por tanto, la enseñanza del proceso fotocatalítico para la remoción de colorantes permite que los estudiantes afiancen el conocimiento químico y lo apliquen al contexto ambiental. De modo que, se

fortalezca el conocimiento disciplinar desde aspectos conceptuales, procedimentales y actitudinales con el fin de que el estudiante se apropie de su aprendizaje.

Por otra parte, se han encontrado dificultades de aprendizaje en ciencias, las cuales se manifiestan por el bajo rendimiento académico, poco interés hacia el estudio, memorización de conocimientos y en dado caso una actitud pasiva en el aula (Cárdenas, 2006). Estos comportamientos pueden tener un origen dependiente del estudiante o dependiente del ambiente de enseñanza, es así, que se hace necesario implementar nuevas estrategias educativas para que el estudiante se vea motivado hacia el aprendizaje. Por ende, el alineamiento constructivo surge como una estrategia que favorece la planeación curricular y su puesta en práctica (Biggs, 2006) el cual, constituye un sistema de enseñanza alineada, donde existe una relación entre el método y la evaluación, incluyendo actividades de aprendizaje por medio de objetivos y/o logros específicos con los cuales el estudiante debe adquirir niveles de compromiso para la construcción de su conocimiento. Es así, que Biggs (2006) propone que el estudiante adopte un enfoque profundo de aprendizaje para mejorar la adquisición de su conocimiento. Teniendo en cuenta, varios componentes implícitos y propios del estudiante; como la intención de abordar la tarea de manera significativa y de realizar un bagaje apropiado de los conocimientos.

Por lo anterior, el presente trabajo pretende diseñar e implementar una estrategia didáctica a partir de tres módulos, bajo el modelo 3P del alineamiento constructivo para la enseñanza del concepto de fotocátalisis heterogénea teniendo en cuenta algunos aspectos de la educación ambiental, lo cual pretende contribuir al aprendizaje significativo de los estudiantes. Por tanto, se hará un bagaje de los conocimientos que tienen los estudiantes de énfasis disciplinar I de la licenciatura en química de la Universidad Pedagógica Nacional, identificando el tipo de enfoque de aprendizaje que tiene cada estudiante a la hora de resolver problemas, es decir, si está en un enfoque superficial o profundo de aprendizaje, teniendo en cuenta lo expuesto por Biggs (2006) anteriormente. Con el fin de generar un cambio de aprendizaje de enfoque superficial a profundo.

En un principio se aplicó un instrumento de introducción, con el objetivo de identificar los conocimientos previos que tienen los estudiantes frente a la fotocátalisis heterogénea, ya que estos hacen parte del presagio y son indispensable para llevar a cabo el modelo 3P. Posteriormente se desarrolla el proceso de enseñanza a partir de tres módulos de aprendizaje consignados en una página web, que contiene algunos videos y lecturas de profundización; seguido de una intervención en el aula, donde se presenta la temática de fotocátalisis heterogénea, con el fin de reforzar el aprendizaje y generar un enfoque profundo de aprendizaje en los estudiantes. Por otra parte, para identificar el enfoque de aprendizaje que adquiere cada estudiante en los módulos se aplican tres talleres (uno por cada módulo), los cuales serán

evaluados a partir de la taxonomía SOLO; como herramienta de evaluación del producto final del modelo 3P.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Basados en la revisión bibliográfica en torno a la fotocátalisis heterogénea, se evidencia una amplia información en cuanto a la fotocátalisis como técnica avanzada de tratamiento de aguas, sin embargo, no se encuentra mucha bibliografía acerca del aporte disciplinar y didáctico de la fotocátalisis a la enseñanza de ciencias. Por tal motivo, surge la iniciativa de realizar un trabajo reflexivo, crítico y organizado que permita la construcción del conocimiento, desde el aspecto disciplinar y didáctico. Para tal fin, se pretende implementar el modelo 3P del alineamiento constructivo, que permite acercar a los estudiantes a un aprendizaje de ciencias naturales y especialmente de química, a partir de tres módulos de aprendizaje, los cuales contienen diferentes estrategias y herramientas, que permiten la asimilación de los conceptos propios de la fotocátalisis heterogénea, con el fin de generar un ambiente adecuado de enseñanza – aprendizaje orientado a partir de logros u objetivos de enseñanza, con los cuales se promueva un enfoque profundo de aprendizaje en los estudiantes.

No obstante, para que la enseñanza sea enriquecedora se requiere de un contexto, que le permita al estudiante un acercamiento reflexivo, con el fin de reconocer la importancia de su aprendizaje. Por tal motivo, la fotocátalisis heterogénea como técnica de tratamiento de aguas, permite reconocer la importancia del cuidado del agua, como recurso indispensable para la vida. Dado que en Colombia el problema de la contaminación del agua es cada día más preocupante debido al constante crecimiento de la población, así como el desarrollo industrial, ganadero, agrícola y comercial que requieren cada día una mayor demanda de este recurso, lo que ha generado una sobreexplotación de fuentes hídricas y el vertimiento de agua residual sin previo tratamiento a cuerpos de agua superficial, por tanto, provoca que se originen factores que afectan al ecosistema lo que se convierte así en una problemática ambiental. Un claro ejemplo de lo mencionado anteriormente es el uso de colorantes sintéticos, los cuales son usados para dar características especiales a los productos como color, y que a pesar de ser tóxicos pueden llegar a ser aceptados por el consumidor. Por consiguiente, se da la necesidad de preservar el recurso hídrico, desarrollando nuevas alternativas que conlleven al tratamiento de aguas residuales con presencia de colorantes químicos, para que no se vean afectadas las propiedades fisicoquímicas del agua. Por lo tanto, la fotocátalisis, surge como una alternativa tecnológicamente viable y novedosa para el tratamiento de los efluentes líquidos de dichas industrias.

De modo que, la fotocátalisis al ser un proceso oxidativo avanzado abarca diferentes conceptos en el área de química. Por ende, su enseñanza aporta significativamente en la formación académica de los estudiantes del seminario de énfasis disciplinar I

de la Universidad Pedagógica Nacional (UPN), para el desarrollo de habilidades de razonamiento científico que implican un enfoque profundo de aprendizaje, dado que, en textos como Soler (2014), Soler, Cárdenas, Hernández y Monroy (2017) se puede observar que los alumnos utilizan estrategias de razonamiento y metodologías con un enfoque superficial de aprendizaje, lo que evidencia fallas en la enseñanza de ciencias. A esto, el alineamiento constructivo surge como una estrategia que favorece la planeación curricular y su puesta en práctica (Biggs, 2006), para fomentar un aprendizaje profundo en el cual el estudiante sea partícipe de su propia formación disciplinar.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La enseñanza es un proceso que pretende estimular a los estudiantes para que a partir de los procesos de enseñanza-aprendizaje implementados por el docente logren apropiarse del conocimiento de manera espontánea, es decir, que puedan desarrollar actividades en sus niveles más elevados; en donde prevalezca el compromiso académico como pilar fundamental, con el fin de alcanzar los objetivos propuestos; tales como teorizar, crear nuevas ideas, reflexionar, aplicar, resolver problemas, entre otros, para que los estudiantes logren idear sus propias soluciones. (Biggs, 2006). No obstante, es importante tener en cuenta la forma de aprender de los estudiantes, dado que el aprendizaje es el resultado de la construcción propia del conocimiento. Por tal motivo, se propone una estrategia didáctica, en la cual se relacione el conocimiento disciplinar con las metas de enseñanza, con el fin fortalecer el aprendizaje desde el aspecto conceptual, procedimental y actitudinal en el área de química, implementando el modelo 3P, que pretende determinar cómo las percepciones de los estudiantes frente a la fotocatalisis heterogénea y la importancia del recurso hídrico, inciden sobre su aprendizaje (Rosario, et al., 2005); teniendo en cuenta las herramientas y los recursos educativos implementados para cumplir con las metas de enseñanza y así, promover el desarrollo de enfoques de aprendizaje profundo.

Es importante tener en cuenta, que en la actualidad se evidencian diversas problemáticas ambientales que han orientado la enseñanza de ciencias a partir de la formulación de problemas y soluciones de carácter social y ambiental, en el cual, se establece un proceso educativo que permite relacionar el conocimiento disciplinar con las actividades humanas que se encargan de impactar positiva y negativamente al medio ambiente (Martínez, 2010). Por tanto, surge la iniciativa de proponer estrategias educativas en donde los estudiantes logren analizar diferentes situaciones y formular posibles soluciones. De esta manera, emerge la propuesta de enseñanza de fotocatalisis heterogénea; una de las técnicas más relevantes para la remoción de contaminantes tóxicos en aguas (Guarín, Mera, 2011), como los colorantes. Con el fin de fortalecer el conocimiento teórico desde una visión constructivista, en aras de que el estudiante se apropie del conocimiento.

Por otra parte, en el proceso de enseñanza-aprendizaje es necesario evidenciar cómo se desenvuelve el estudiante con respecto a su aprendizaje, es decir, los enfoques de rendimiento definidos por Biggs (2006), como formas de aprender una determinada tarea, a partir de las actividades de enseñanza empleadas por el docente, y, las actividades de aprendizaje dependientes del estudiante. De esta manera, surgen los enfoques de aprendizaje superficial y profundo; el primero hace referencia a la intención de abordar una tarea empleando el mínimo esfuerzo, únicamente describiendo los elementos y/o datos de forma independiente, lo cual impide la comprensión; el segundo, se deriva de la necesidad de abordar tareas de forma adecuada y significativa en donde el estudiante pueda construir un bagaje apropiado de los conocimientos (Biggs, 2006) y así pueda generar redes conceptuales, pudiendo así relacionar distintos conceptos. No obstante, estos enfoques de aprendizaje no son dependientes únicamente del estudiante, sino además dependen de algunos factores como; el contexto de enseñanza, las actividades de aprendizaje y la forma de evaluación, por lo tanto, el estudiante puede optar por uno u otro enfoque dependiendo de los factores mencionados (Soler, 2015).

Por último, es importante abordar la temática de fotocatalisis heterogénea, debido a que la contaminación del recurso hídrico es una problemática ambiental de alto impacto en todo el mundo, puesto que el agua es una sustancia natural e indispensable para el ser humano y para la vida en general. Sin embargo, en la actualidad se presenta un alto índice de contaminación, ocasionado por diversas sustancias de naturaleza química, física y biológica, producidas por actividades domésticas, industriales, agrícolas, entre otras. Por consiguiente, el consumo de agua potable es cada vez más crítico, y, aproximadamente el 80% de la población colombiana no tiene acceso a agua potable (Segura, 2007). Razón por la cual, es necesario empezar a implementar medidas de recuperación y protección de este recurso con el fin de prolongar la vida humana. De manera que, un tratamiento óptimo de aguas residuales contaminadas con colorantes artificiales es la fotocatalisis heterogénea, la cual permite degradar la materia orgánica presente en el agua, y así, disminuir su nivel de contaminación, sin generar productos adversos, únicamente dióxido de carbono (CO₂). Así que, se debe generar una sensibilización ambiental en los estudiantes que permita el desarrollo de diferentes estrategias de recuperación y protección del recurso hídrico.

1.4. ANTECEDENTES

1.4.1. FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA

Debido a la problemática ambiental que se ha presentado en las últimas décadas por la contaminación de aguas residuales en las fuentes hídricas, la fotocatalisis surge como un método innovador para el tratamiento de estas aguas, en donde se

presenta como una tecnología simple, económica, eficaz e innovadora, para el tratamiento de aguas residuales encontradas en los efluentes de varios procesos industriales. Esta técnica a diferencia de otras usadas para el tratamiento de aguas residuales se posesiona como una técnica rentable, con facilidad de implementación y uso.

Es así como, en 1972 Fujishima y Honda, establecieron el primer avance de lo que sería la fotocatalisis heterogénea, al tener éxito en sus experimentos y descubrir que se podía generar una descomposición foto electroquímica del agua en condiciones de irradiación con luz y el uso de dióxido de titanio. Este descubrimiento atrajo la atención mundial y ocasionó que se desarrollara una gran actividad de investigación en este campo, en donde el principal objetivo es encontrar semiconductores que utilizan el espectro solar de manera efectiva para descomponer el agua foto electroquímicamente. Posteriormente en 1977 Frank and Bard evaluaron nuevamente la efectividad del dióxido de titanio para dicho procedimiento y encontraron que este seguía siendo el mejor fotocatalizador.

Desde aproximadamente los años 80, varios investigadores han realizado publicaciones acerca del proceso de degradación de contaminantes en fase acuosa, entre ellos Carey, quien debido a sus publicaciones dio lugar a una mayor investigación en el proceso fotocatalítico para la purificación de aguas. Durante estas investigaciones, hacia la década del 90 se planteó la posibilidad de aplicar la fotocatalisis al tratamiento de aguas residuales como una posible solución a la descontaminación de fuentes hídricas, a lo cual luego de varias investigaciones se concluyó que esta tecnología era un método potencial para la degradación de contaminantes orgánicos en aguas.

Por otra parte, Guarín y Mera (2011), plantearon un proceso avanzado de oxidación en este caso en particular la fotocatalisis heterogénea, en donde determinaron la degradación y mineralización del verde bromocresol el cual está presente en desechos líquidos de laboratorios de análisis químico y ambiental, que son comúnmente generados en universidades. El tratamiento se empleó con dióxido de titanio Degussa P-25 como catalizador, un reactor tipo Batch, y radiación UV artificial con una longitud de onda de 360 nm. Además, la degradación se cuantificó por espectrofotometría UV-visible, y la mineralización se evaluó por el parámetro de DQO. Las condiciones óptimas de tratamiento para los desechos fueron: 260 ppm de TiO_2 y un tiempo de retención de 60 minutos, con las que obtuvieron una degradación de 84,10% y una mineralización de 82.5 %. Los resultados obtenidos mostraron que el proceso de fotocatalisis heterogénea puede ser útil en el tratamiento de efluentes que tenga la presencia del indicador verde de bromocresol.

Según Manrique, Laguna, Osorio, Serna y Torres (2017), la fotocatalisis con dióxido de titanio en suspensión ha demostrado ser eficiente en la oxidación de sustancias por medio de foto activación del catalizador con luz artificial, ya que durante su investigación se hizo una evaluación del tratamiento de una mezcla de colorantes azoicos por fotocatalisis con utilización de dióxido de titanio en suspensión,

utilizando luz solar y artificial y teniendo en cuenta una variación de las concentraciones de colorantes, dióxido de titanio y peróxido de hidrógeno. En donde concluyeron que el sistema con luz artificial mostró que la concentración de colorantes y de TiO_2 fueron los factores que influyeron significativamente sobre la remoción del color y la oxidación de la materia orgánica. Además, el sistema con luz solar, después de 3 horas de tratamiento, removió 100 % del color y 80 % de la DQO presente en el agua. La fotocatalisis heterogénea como estrategia para remover contaminantes tóxicos presentes en el agua, es desarrollada en países como México, donde se puso en marcha una planta electroquímica de oxidación avanzada (Cinvestav, Rotoplas, 2019); en España, unos investigadores de la Universidad Politécnica de Madrid han conseguido obtener fotocatalizadores flotantes impresos en 3D para la eliminación de contaminantes persistentes de aguas residuales (Universidad Politécnica de Madrid, 2019).

A pesar de haber varios estudios en relación con la fotocatalisis heterogénea como técnica avanzada para remover contaminantes orgánicos, presentes en aguas residuales, se registran pocos estudios en torno a la enseñanza de la fotocatalisis; sin embargo en el año 2010, en la Universidad Pedagógica Nacional se realizó un trabajo de grado titulado "*Estrategia didáctica apoyada en el modelo de aprendizaje por investigación en relación al concepto fotocatalisis*" (González, 2010), en donde se abordó la enseñanza de dicho concepto, desde un ámbito educativo. No obstante, en este proyecto, se pretende enseñar el concepto de fotocatalisis heterogénea a partir del modelo 3P del alineamiento constructivo, con el fin de fortalecer el aprendizaje profundo, dado que, en el pensum de Universidad Pedagógica Nacional no hay un seminario que aborde la fotocatalisis, por ende, es importante fundamentar este concepto desde un ámbito disciplinar y ambiental, enfocado en la remoción de colorantes presentes en aguas residuales.

1.4.2. ALINEAMIENTO CONSTRUCTIVO

Rubiano y Quintero (2016), proponen una estrategia metodológica para la enseñanza de las propiedades periódicas construida a partir del planteamiento de actividades basadas en los principios del alineamiento constructivo. El desarrollo del trabajo se realizó por medio de una prueba piloto con estudiantes de tercer semestre de la licenciatura en química de la UPN, en donde dichas actividades contemplan la enseñanza de las propiedades periódicas desde la historia y la epistemología de la química con la finalidad de ampliar la comprensión del tema y generar una relación de los procesos de experimentación con las definiciones de las propiedades periódicas. Es así como haciendo uso del modelo 3P planteado por Biggs, diseñan el desarrollo de la estrategia metodológica que será evaluada mediante la taxonomía SOLO.

Por otro lado, Neira, Nemeguen y Soler (2016) plantean una propuesta para la enseñanza de los estados de agregación fundamentada en los principios del

alineamiento constructivo, en donde se realizó una prueba piloto con el desarrollo de la primera fase (Pronóstico) del modelo 3P con estudiantes de tercer semestre de la licenciatura en química de la UPN, lo que conllevó a un avance para posteriores aplicaciones y continuación de la propuesta para desarrollar las fases de Proceso y producto (Modelo 3P). Es así como los autores concluyen que la actividad piloto permitió poner a prueba diferentes objetivos para cada actividad y evidenciar las posibles falencias que surgen en el desarrollo de la actividad con la finalidad de que en las posteriores fases de implementación se pueda complementar y corregir las dificultades presentadas. Por tanto, los autores dejan plasmada la estructura evaluativa para posteriores aplicaciones de la propuesta de enseñanza.

Arango y Barrera (2017) dan cuenta de la aplicación de una estrategia de enseñanza-aprendizaje, la cual se basa en el alineamiento constructivo específicamente en el modelo 3P (Presagio, Proceso y Producto) para un tema de química, en este caso en particular la temática de gases partiendo de sus leyes ponderadas, por tanto, para llevar a cabo este proceso se implementó una metodología, en donde el estudiante a través de su interacción con experimentos y por medio de la construcción de su conocimiento se pueda desenvolver en situaciones en las cuales se requiera dar una solución, para esto, debe poder identificar las propiedades físicas de los gases que ayuden a la resolución de situaciones problemáticas, concluyendo que los estudiantes por medio de esta línea adquieren un enfoque profundo de aprendizaje al relacionar conceptos y desarrollar ejercicios prácticos.

Soler (2016), expone que la presencia de actividades prácticas en el currículo y el modelo de enseñanza por descubrimiento para la enseñanza de las ciencias presenta varias ventajas, como permitir, relacionar la teoría y la práctica dándole mayor sentido a esta última; ayudar a explorar las ideas del estudiante con el fin de exponerlas y contrastarlas a través de la experiencia y promover el planteamiento de problemas próximos a los intereses de los estudiantes, con un nivel de dificultad de acuerdo a la capacidad intelectual que este haya desarrollado, a esto se atribuye un sistema de enseñanza que permite diseñar los objetivos, la metodología y la evaluación para articularlos con las tareas de aprendizaje desarrolladas por los estudiantes, de tal manera que se persiga un enfoque profundo de aprendizaje.

Soler, Cristancho & Cerrano (2016) proponen una solución a un problema de diseño, fundamentado en la construcción de estructuras en espagueti, la cual fue planteada desde la perspectiva del alineamiento constructivo y la resolución de problemas, mediadas por el desarrollo de una Actividad Tecnológica Escolar (ATE), y el uso adecuado de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC). La propuesta fue desarrollada en cuatro etapas: comprender el problema, concebir un plan, ejecutar el plan y revisar los resultados. Las conclusiones destacan que: el desarrollo de ATE es una oportunidad práctica que favorece la reflexión y la acción hacia la tecnología. Al llevar a cabo la experiencia diseñada, los estudiantes se enfrentan a situaciones que exigen la comprensión de principios teóricos y reflejan sus aprendizajes llegando a construir conocimientos relacionales y funcionales; y,

que los objetivos, acciones y resultados atienden al mismo propósito, permitiendo el enfoque profundo de aprendizaje de la tecnología.

Soler (2015), realiza una investigación que busca establecer relaciones entre los enfoques de enseñanza de los docentes de química y los enfoques de aprendizaje de los estudiantes en el área de química de la prueba saber 11. Según la intervención del investigador se realiza un estudio descriptivo y se plantea una intervención por medio del diseño de un módulo en donde su contenido lo constituyen los principios del alineamiento constructivo, para capacitar a los docentes que forman parte del estudio en la fase de retroalimentación. Además, la investigación plantea, la necesidad de iniciar procesos de intervención en estudiantes y en docentes en donde el objetivo de la intervención con los docentes es mejorar su percepción sobre la enseñanza de la química, para afianzar su enfoque en un proceso centrado en lo que los estudiantes hacen en contexto, para que se logre el alineamiento entre las actividades de aprendizaje, los objetivos curriculares y los métodos de evaluación.

No obstante, se evidencia la falta de investigación en la enseñanza de fotocatalisis heterogénea desde un ámbito didáctico como el del alineamiento constructivo, dado que los estudios disciplinares mencionados anteriormente se enfocan en la conceptualización y eficiencia del tratamiento fotocatalítico, dejando a un lado el aprendizaje de este y de acuerdo a los estudios basados en la implementación del alineamiento constructivo se evidencia un bajo abordaje de esta metodología en la enseñanza de las ciencias. Por tal motivo, es importante implementar este proyecto y observar el impacto disciplinar y didáctico que se genera en los estudiantes de Licenciatura Química de la Universidad Pedagógica Nacional y dar cuenta de la eficacia que tiene el alineamiento constructivo bajo el modelo 3P para la enseñanza

1.5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿De qué manera al implementar la estrategia didáctica para la enseñanza del concepto de fotocatalisis heterogénea basada en el modelo 3P del alineamiento constructivo se fortalece el enfoque de aprendizaje profundo del concepto de fotocatalisis heterogénea en un grupo de estudiantes de la licenciatura en química de la UPN?

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar los enfoques de aprendizaje que adoptan los estudiantes al momento de implementar una estrategia didáctica diseñada bajo el modelo 3P del alineamiento constructivo, mediante módulos de aprendizaje, para la enseñanza del concepto de

fotocatálisis heterogénea, y sí favorece el aprendizaje con un enfoque profundo de este concepto en un grupo de estudiantes de Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional.

1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Diseñar una estrategia didáctica mediante tres módulos estructurados bajo el modelo 3P, los cuales contribuyan al aprendizaje del concepto de fotocatalisis heterogénea.
- II. Evaluar las actividades de aprendizaje elaboradas por los estudiantes, con el fin de identificar el enfoque de aprendizaje que prevalece para cada uno de los módulos, diseñados mediante el modelo 3P del alineamiento constructivo.
- III. Caracterizar el proceso de aprendizaje de los estudiantes de Licenciatura en Química a partir de la taxonomía SOLO, dependiendo del nivel de complejidad y el enfoque de aprendizaje en torno a la construcción del conocimiento del concepto de fotocatalisis heterogénea.

CAPÍTULO 2. REFERENTES CONCEPTUALES

2.1. ALINEAMIENTO CONSTRUCTIVO

Desde la década de los 90 del siglo XX los problemas relacionados con la enseñanza y el aprendizaje de ciencias han desencadenado una búsqueda de nuevos enfoques de enseñanza (Campanario y Moya, 1999), los cuales pretenden generar a partir de diversas investigaciones e innovaciones un proceso de adquisición y desarrollo de los conocimientos teóricos y prácticos, que requieren ser experimentados y evaluados continuamente (Carrascosa y Domínguez, 2017). De esta manera, surge la necesidad de reforzar la enseñanza, a partir de un alineamiento de objetivos, métodos y evaluación, para que el estudiante adquiera la habilidad de construir y manifestar su propio aprendizaje (Biggs, 2006). Es así como surge el alineamiento constructivo, el cual pretende construir el aprendizaje alineando la enseñanza, es decir, el aprendizaje resulta de una construcción continua de constructos, que se generan a partir de una adecuada enseñanza, enfocada en la forma en cómo aprenden los estudiantes. De tal forma, Biggs (2006) propone que los métodos de enseñanza y evaluación sean orientados por los objetivos, que establecen un adecuado proceso de enseñanza-aprendizaje de carácter constructivo.

A partir del alineamiento constructivo surge una pregunta ¿Cómo aprenden los estudiantes? teniendo en cuenta, que el aprendizaje no se impone ni se transmite directamente por la enseñanza (Biggs, 2006). De modo que, para responder dicha pregunta, es necesario estructurar el conocimiento para que no sea una recopilación

de información, sino una forma de generar un cambio conceptual, es decir, que los estudiantes logren un aprendizaje profundo que lo motiven a actuar competentemente frente a diversas situaciones que involucren un conocimiento específico. Esto hace referencia a los enfoques de aprendizaje superficial y profundo, que se observan en la Tabla 1. Los términos de aprendizaje profundo y superficial surgen de diversas investigaciones que relacionan tres factores importantes en el proceso de enseñanza aprendizaje: quien aprende, la naturaleza del proceso académico y el contexto en el que se da el proceso (Soler, Cárdenas, Hernández, 2018).

Tabla 1.
Enfoques de aprendizaje superficial y profundo

Aprendizaje superficial	Aprendizaje profundo
Estrategia de aprendizaje donde el estudiante retiene y/o memoriza la información de forma momentánea sin conexión con experiencias previas o con el contexto general, con el fin de aprobar la evaluación.	Estrategia de aprendizaje donde el estudiante logra un análisis crítico de nuevas ideas, las cuales son incorporadas con conocimientos previos y aplicadas para solucionar problemas a corto y largo plazo.
En el aprendizaje superficial solo se requiere un nivel bajo de habilidad cognitiva, en el cual solo surge el “conocer” sin aprender.	El aprendizaje profundo requiere altos niveles de habilidades cognitivas como: ANÁLISIS: (comparar y contrastar). SÍNTESIS: (integrar el conocimiento previo con el adquirido).

Nota. Fuente: Adaptado de (Fasce, 2007, P.7)

El proceso de aprendizaje – enseñanza desde el punto de vista constructivo de Biggs (2006) desarrolla un modelo metodológico lineal para fomentar la construcción del aprendizaje que implica tres puntos temporales donde se sitúa el aprendizaje: pronóstico, antes de que se produzca el aprendizaje: proceso, durante el aprendizaje y producto, resultado del aprendizaje, denominado modelo 3P. El cual orienta el trabajo de enseñanza de la fotocatalisis heterogénea de esta investigación. No obstante, todo proceso de enseñanza-aprendizaje tiene como finalidad una evaluación, que implica la construcción de conocimientos y estructuras que conforman una competencia cognitiva (Cabrera, 2005), las cuales relacionan el carácter actitudinal y aptitudinal de los estudiantes.

2.2. ENFOQUE SUPERFICIAL Y PROFUNDO

La manera de evidenciar el aprendizaje se refleja en la forma que emplean los estudiantes sus habilidades cognitivas para transmitir o abordar el conocimiento, además de la intención del estudiante al aprender y la manera cómo aprende. Por lo tanto, los enfoques de aprendizaje permiten analizar las estrategias cognitivas desarrolladas por cada individuo para su propio aprendizaje. Según Biggs (2006) existen dos enfoques de aprendizaje: superficial y profundo (Figura 1) los cuales permiten percibir el proceso enseñanza-aprendizaje.

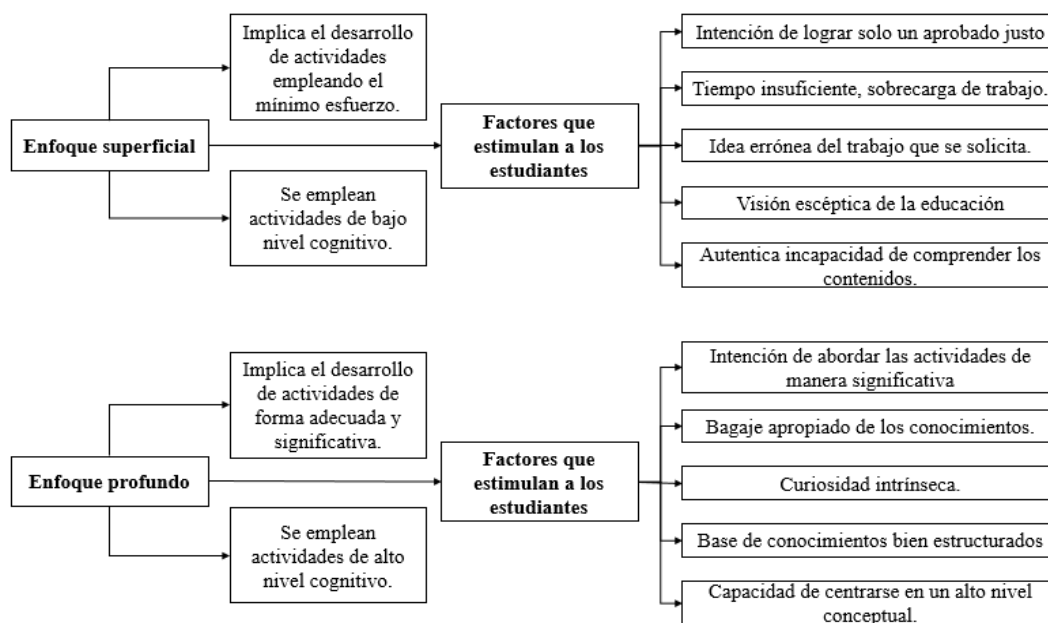


Figura 1. Enfoque de aprendizaje superficial y profundo

Nota. Fuente: adaptado de (Biggs, 2006, P.32)

2.3. MODELO 3P

El aprendizaje es un proceso dinámico que implica la construcción de nuevos conocimientos con niveles de complejidad diferentes, teniendo en cuenta las habilidades y actitudes que desarrolle cada individuo. No obstante, se requiere el uso de conocimientos previos con el fin de afianzar la información y darle un sentido al aprendizaje, es decir, el estudiante aprende cuando es capaz de atribuirle un significado al concepto aprendido y profundizar en el (Rosario, Núñez, González, Almeida, Soares, Rubio, 2005). De manera tal, que la enseñanza debe ir orientada hacia la construcción del conocimiento, teniendo en cuenta los saberes previos del estudiante y el proceso enseñanza-aprendizaje que se desarrolle durante la intervención didáctica, con el objetivo de relacionar los aspectos contextuales

previos del estudiante con la actividad educativa para obtener un producto final, que es el aprendizaje (Rosario, et al., 2005), desde un enfoque profundo. Con esta iniciativa surge el modelo 3P, adoptado por John Biggs, en 1993 (Sarzoza, 2013), hace referencia a tres fases en el proceso de enseñanza-aprendizaje: presagio, proceso y producto, que se observan en la Tabla 2.

Tabla 2.
Construcción de las tres fases del modelo 3P

Etapas	Descripción
Presagio	Se construye a partir de la relación de las características propias de los estudiantes; como competencias cognitivas, conocimientos previos, expectativas entre otros, y, variables contextuales de la enseñanza; como contenidos de estudio, métodos de enseñanza y evaluación, entre otros. (Rosario, et al. 2005).
Proceso	Se construye a partir de las variables mediadoras entre el estudiante y el resultado de aprendizaje (Sarzoza, 2013), es decir, la dinámica de enseñanza-aprendizaje que se lleva a cabo para la construcción del conocimiento.
Producto	Se construye a partir de las características propias del estudiante, las variables contextuales de la enseñanza y las variables mediadoras (Sarzoza, 2013), que tienen como finalidad el aprendizaje.

Nota. Fuente: elaboración propia.

2.4. TAXONOMÍA SOLO

Para llevar a cabo el proceso evaluativo, se opta por implementar la taxonomía SOLO (*Structure of the Observed Learning Outcome / Estructura del resultado observado del aprendizaje*) con el fin de jerarquizar al aprendizaje en cinco niveles de complejidad de manera ascendente y estructural, estos niveles se denominan: pre-estructural, uni-estructural, multi-estructural, relacional y abstracto; los cuales describen cómo se logra procesar y comunicar la información (Difabio, 2010) a

dquirida durante el proceso de enseñanza–aprendizaje (Figura 2) desde un nivel bajo (pre-estructural) hasta un nivel superior (abstracto/amplio). De esta manera, se pueden clasificar y evaluar los resultados de las actividades de aprendizaje propuestas (Rodríguez, Fernández, 2018).

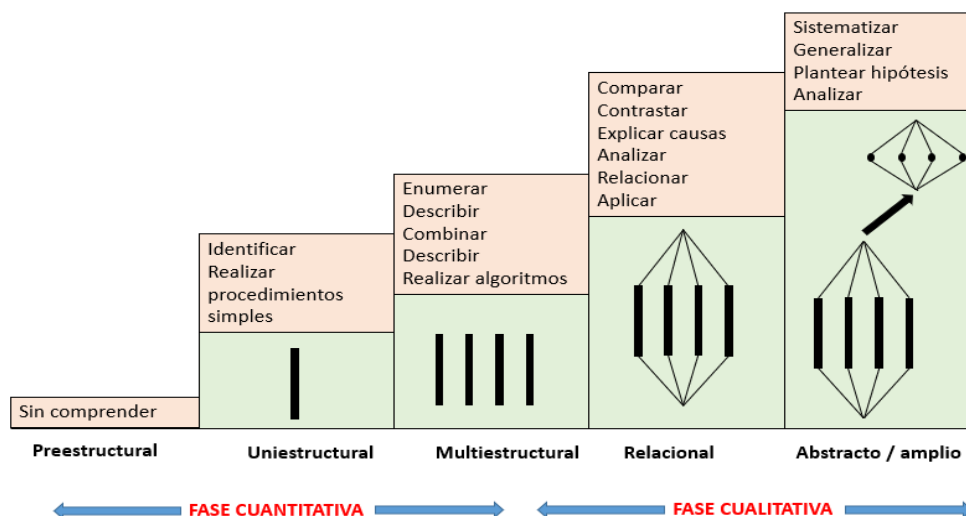


Figura 2. Verbos asociados a los niveles de complejidad de la taxonomía SOLO

Nota. Fuente: (Biggs, 2006, P.71).

En la Tabla 3. se presenta cada nivel de aprendizaje con su respectivo propósito y/o competencia que el estudiante adquiere al momento de presentar sus respuestas, esto con el fin de clasificar y evaluar el alcance de cada estudiante.

Tabla 3.

Alcance de los niveles de complejidad de aprendizaje según la taxonomía SOLO.

Niveles de aprendizaje	Alcance
Pre-estructural.	Las respuestas presentadas son erróneas o evasivas, dado que se toma en cuenta información irrelevante.
Uni-estructural.	Las respuestas presentadas solo se centran en un aspecto determinado y además son tomadas de los enunciados propuestos, por ende, son respuestas obvias.
Multi-estructural.	Las respuestas presentadas se centran en varios aspectos relevantes, sin embargo, estos aspectos no se relacionan entre sí, dado que se analizan por separado.

Relacional.	En las respuestas se logra evidenciar que el estudiante extrae y analiza información relevante, identificando aspectos importantes, relacionándolos entre sí.
Abstracto / amplio.	En este nivel el estudiante cumple con todo lo anterior y además logra relacionar la información citada con aspectos ajenos a la actividad, es decir, conceptos adicionales.

Nota. Fuente: Adaptado de (Rodríguez y Fernández, 2018, P.107).

Por otra parte, la taxonomía SOLO implica un aumento creciente de habilidades de pensamiento, es decir, a medida que el estudiante aprende, los resultados de su aprendizaje muestran aumentos similares a una creciente de complejidad estructural, por eso las figuras rectangulares en la parte verde de la Figura 2 indican dicho aumento. Este aumento creciente de niveles contiene dos cambios principales:

- I. Cuantitativos: fase que ocurre primero, a medida que aumenta la cantidad de detalles, es decir, la adquisición de nuevos conceptos, como bases del aprendizaje (Biggs,2006)
- II. Cualitativos: fase que ocurre después, a medida que los detalles se integran en un modelo estructural (Biggs,2006).

2.6. FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA

La fotocatalisis heterogénea es una técnica catalítica que permite remover sustancias contaminantes del agua, como los colorantes naturales y sintéticos. La cual consiste en la oxidación de contaminantes orgánicos mediante la absorción de energía radiante por un sólido semiconductor de banda ancha, que acelera la fotorreacción y permite la formación de radicales hidroxilo y superóxido, los cuales posteriormente tendrán un efecto oxidante sobre los contaminantes orgánicos (Ibhadon, Fitzpatrick, 2013).

Uno de los catalizadores más empleados para la oxidación de contaminantes orgánicos es el TiO_2 , el cual es activado por la absorción de fotones de luz, acelerando así el proceso de fotocatalisis mediante la excitación de electrones (Carbajo, 2013). Esto se debe a que el TiO_2 posee una red cristalina con solapamiento de orbitales atómicos que se extienden por toda la red, formando una configuración de estados deslocalizados muy próximos entre sí, que forman bandas energéticas, las cuales surgen del solapamiento de los niveles atómicos de los electrones de valencia; siendo los ocupados más altos los del orbital molecular ocupado de mayor energía (HOMO) y los desocupados más bajos los del orbital

molecular desocupado de menor energía (LUMO), (Figura 3) denominándose banda de valencia (BV) a la de menor energía y banda de conducción (BC) la de mayor energía, (Madriz, Parra, Vargas, Scharifker, Núñez, Carvajal, 2016).

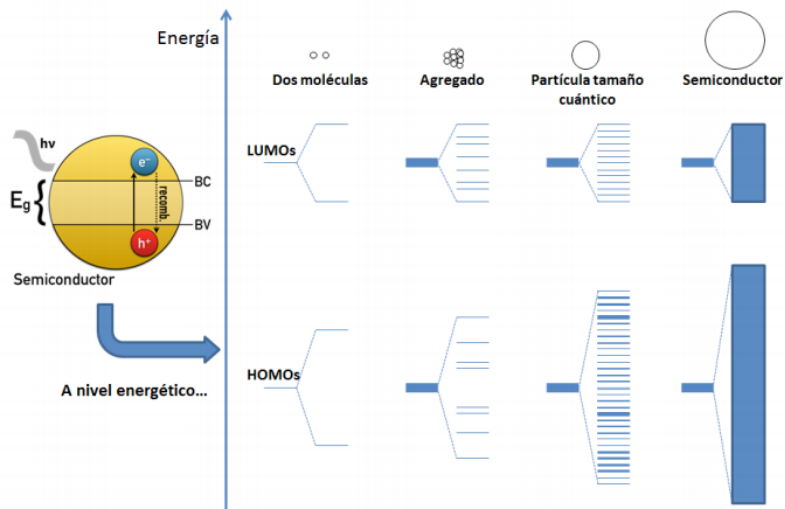


Figura 3. Orbitales moleculares en la conformación de las bandas de valencia y conducción.

Nota. Fuente: (Madriz, et al., 2016, P.15).

Cuando la molécula de TiO_2 (catalizador de tipo semiconductor) es irradiada con luz ultravioleta mayor o igual a la energía de la banda prohibida (aproximadamente 400 nm) los electrones del semiconductor, se excitan y son transferidos de la banda de valencia a la banda de conducción, generando un hueco en la banda de valencia, de este modo se crean pares electrón – hueco ($e^- - h^+$), como se observa en la Figura 4, los huecos (h^+) que se generaron en la banda de valencia dan lugar a la formación de radicales hidroxilo (OH^*) que posteriormente oxidan y/o degradan la materia orgánica; además los electrones (e^-) que fueron transferidos a la banda de conducción migran a la superficie del catalizador (Nora, 2015), en donde reaccionan con el oxígeno presente, dando lugar a la formación del radical superóxido (O_2^*), que posteriormente al entrar en contacto con el agua forman el radical hidroxilo el cual se encargará de oxidar y/o degradar el colorante (Figura 5)

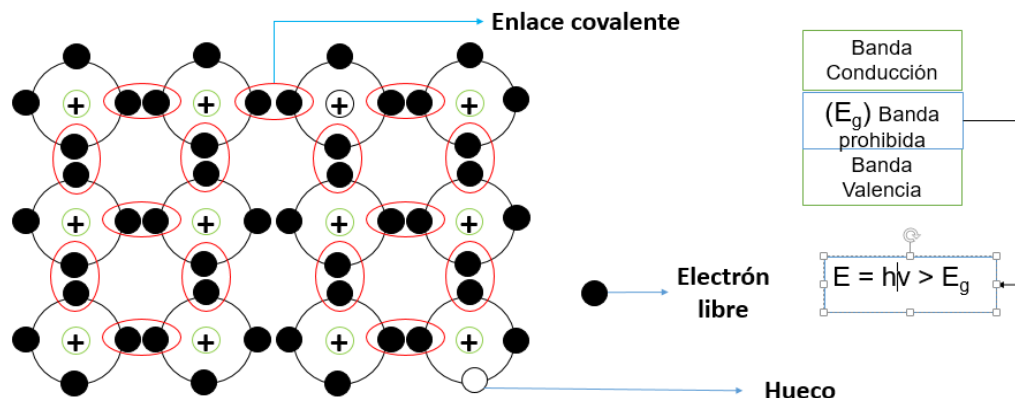


Figura 4. Formación de pares electrón-hueco en la red cristalina del semiconductor.

Nota. Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, también pueden generarse procesos de recombinación, cuando uno de los pares ($e^- - h^+$) no logra separarse en el volumen de la fase del catalizador, se recombinan nuevamente y la energía es disipada en forma de calor (Madriz, et al., 2016) disminuyendo la eficacia de la reacción catalítica, de manera que es importante que el sistema cuente con un exceso de oxígeno, para que el electrón logre formar el radical superóxido y evitar la recombinación. Además, es importante resaltar que el catalizador no sufre ninguna alteración, debido a que, a medida que el catalizador acepta los electrones de la especie oxidable (contaminante) estos ocupan los huecos, por tal motivo el flujo neto de los electrones será nulo (Guarín, Mera, 2011).

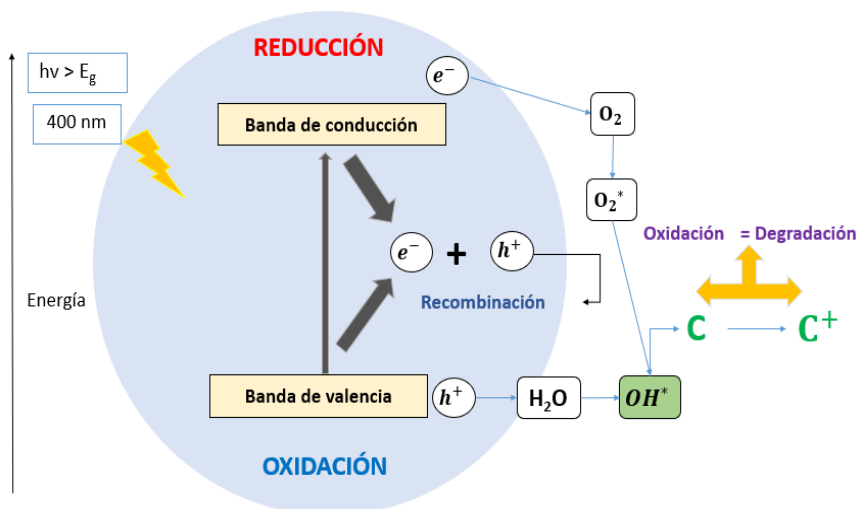


Figura 5. Esquema del proceso fotocatalítico en presencia de semiconductores.

Nota. Fuente: Adaptado de (Izquierdo, 2016, P.9)

Por otra parte, en la Tabla 4. se presentan las reacciones involucradas en el proceso de fotocátalisis heterogénea. El catalizador (TiO₂) cuando absorbe luz ultravioleta forma pares (e⁻ - h⁺) en su red cristalina (Ec. 1). a partir de la radiación UV que, puesto que los huecos (h⁺) formados van a reaccionar con especies dadoras de electrones, como lo son las moléculas de agua adsorbidas, generando así radicales hidroxilo [•]OH (Ec. 2) que son altamente reactivos, mientras que los electrones pueden reaccionar con especies aceptoras de electrones, como lo son las moléculas de oxígeno (Izquierdo, 2016), generando radicales superóxido O₂^{•-} (Ec. 3) el cual actúa de forma indirecta, debido a que el radical superóxido genera radicales hidroxilo (Ec. 4) y este es el encargado de romper los enlaces covalentes en las moléculas orgánicas.

Tabla 4.
Ecuaciones para la formación de radicales libres

Ecuación	Formación	Reacción
Ecuación 1	Formación de pares electrón-hueco a partir de la energía radiante	$\text{TiO}_2 + h\nu \rightarrow e^-_{\text{BC}} + h^+_{\text{BV}}$ <p><i>El electrón migra a la banda de conducción (BC) y el hueco se forma en la banda de valencia (BV)</i></p>
Ecuación 2	Formación del radical hidroxilo, a partir del hueco.	$\text{H}_2\text{O} + h\nu \rightarrow \text{OH}^\cdot + \text{H}^+$ $h^+_{\text{BV}} + \text{OH}^- \rightarrow \text{OH}^\cdot$
Ecuación 3	Formación del radical superóxido, a partir del electrón.	$e^-_{\text{BC}} + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2^{\cdot-}$
Ecuación 4	Formación del radical hidroxilo, a partir del radical superóxido.	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{O}_2^{\cdot-} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{OH}^- + \text{O}_2$

Nota. Fuente: Adaptado de (Garcés, Mejía, Santamaría, 2016, P.87)

CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO

En este tercer capítulo se presenta la metodología que se lleva a cabo, tanto para la investigación, con la cual se pretende evaluar el aprendizaje de los estudiantes del énfasis disciplinar I de la Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica

Nacional, que relaciona la calidad, el uso y el cuidado del agua desde un enfoque disciplinar. Inicialmente se define la metodología de investigación y se describen cada una de las fases involucradas en este proceso; además, se presentan algunos aspectos del modelo 3P que orientan la enseñanza de la fotocatalisis heterogénea y con la cual se pretende fomentar el aprendizaje profundo en los estudiantes.

3.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Para desarrollar el presente trabajo de investigación se tiene en cuenta un enfoque de investigación cualitativa, debido que permite: registrar observaciones de una forma adecuada y dejar al descubierto los significados que los sujetos ofrecen de sus propias experiencias y conocimientos. Este enfoque indaga en las expresiones escritas y verbales de los significados dados por los propios sujetos estudiados. Así, la investigación puede adentrarse en el interior de los procesos que se están generando a la hora de enseñanza de un concepto en cada sujeto (Monje, 2011).

3.2. FASES DE LA INVESTIGACIÓN

Para tener un buen direccionamiento de la presente investigación se optó por el modelo que propone Monje (2011), el cual explica 4 fases que se dan en una investigación cualitativa las cuales son: *Diagnóstico, Diseño, Implementación y Evaluación*. La Tabla 5. da cuenta de las cuatro fases que conlleva esta investigación de acuerdo con la planeación que se tuvo en el presente trabajo.

Tabla 5.
Fases de la investigación cualitativa.

Fase	Descripción
Diagnóstico	Se aplica un test de introducción, con el fin de identificar los conocimientos previos que poseen los estudiantes frente a la fotocatalisis heterogénea, dado que es parte fundamental para planificar la estrategia didáctica, puesto que permiten evidenciar las dificultades que presentan los estudiantes
Diseño	Se diseñan tres módulos de aprendizaje en donde cada módulo contiene unos logros estipulados que orientan el proceso de aprendizaje del estudiante. Adicionalmente, se establecen los objetivos del currículo, con cuales se orienta el diseño de las actividades de aprendizaje, que posteriormente serán evaluadas con tres rúbricas de evaluación diseñadas mediante la taxonomía SOLO, esto con el fin de caracterizar el proceso de aprendizaje de los

estudiantes.

Implementación	<p>Primera comunicación con los sujetos de estudio, informándoles cual es el objetivo de la investigación, la metodología de trabajo con el grupo, las intervenciones, las actividades que deben realizar y los tiempos de entrega. Para este primer acercamiento se realiza un test introductorio, para así, identificar posibles problemas en el aprendizaje del concepto a enseñar.</p> <p>Implementación de las actividades diseñadas, las cuales permiten obtener significados, relaciones, perspectivas sobre el concepto a tratar en el transcurso de la intervención y evaluarlos por medio de la taxonomía SOLO para posterior análisis.</p>
Evaluación del aprendizaje	<p>Análisis de los datos obtenidos mediante la taxonomía SOLO, caracterizando los enfoques de aprendizaje que adoptan los estudiantes, de acuerdo con los diferentes niveles de aprendizaje propuestos por Biggs (2006) según las respuestas que estos hayan presentado en las actividades.</p>

Nota. Fuente: elaboración propia

El propósito de la investigación es analizar si existe un cambio significativo en el enfoque de aprendizaje de los estudiantes al implementar una estrategia didáctica basada en el modelo 3P del alineamiento constructivo para la enseñanza de la fotocatalisis heterogénea, mediante la implementación de tres módulos consignados en una página web y evaluados con la taxonomía SOLO.

3.3. DESCRIPCIÓN DE LAS FASES DE INVESTIGACIÓN

Para el diseño de la estrategia didáctica se empleó el modelo planteado por Biggs (2006) llamado modelo 3P, evidenciado en la Figura 6 para la enseñanza del concepto de fotocatalisis heterogénea. En esta propuesta adaptada de Biggs, se manejan tres fases las cuales son Presagio, Proceso y Producto, con las cuales se orienta el proceso enseñanza - aprendizaje, teniendo en cuenta el diseño de instrumentos y el desarrollo de actividades propuestas en los módulos de aprendizaje, para finalmente llevar a cabo la recolección de información, con el cual se caracterizan los enfoques de aprendizaje teniendo en cuentas los niveles de complejidad postulados por Biggs (2006).

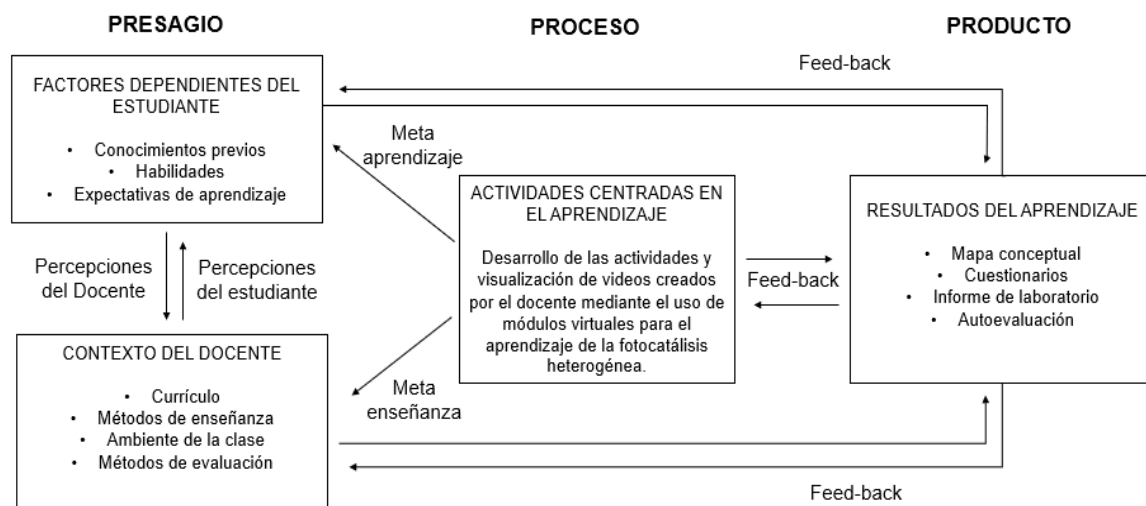


Figura 6. Modelo 3P para la enseñanza del concepto de fotocatalisis heterogenea.

Nota. Fuente: Adaptado de (Biggs, 2006, P.38)

En la primera fase, se aplicó un test de introducción de carácter memorístico orientado hacia la comprensión de conceptos claves, que hacen parte de la fotocatalisis heterogenea, dado que cuando la memoria se emplea para comprender y construir conocimientos, se favorece el enfoque profundo de aprendizaje. Para la fase dos se realizó el diseño de los tres módulos de aprendizaje que iban a ser utilizados para la enseñanza-aprendizaje del concepto de fotocatalisis heterogenea en los cuales se estipulan unos logros de aprendizaje los cuales iban a orientar el proceso, además se realizaron unas rúbricas de evaluación diseñadas bajo la taxonomía solo las cuales van a permitir que se pueda caracterizar el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

El módulo 1, permitió una introducción al concepto de fotocatalisis heterogenea, en la cual el estudiante era partícipe de la construcción de su conocimiento, es decir, que el estudiante debía desarrollar una actividad sin intervención del docente, con el fin de evidenciar las habilidades cognitivas que empleaba el estudiante para manifestar su conocimiento.

El módulo 2 estaba orientado hacia la construcción del conocimiento; objetivo de la comprensión (Biggs, 2006), teniendo en cuenta el conocimiento declarativo, es decir, el saber las cosas o saber a los que refieren ciertos conceptos, para ello se diseñó una actividad de aprendizaje orientada por los objetivos del currículo, con el fin de evaluar el nivel de rendimiento del estudiante a partir de una rúbrica elaborada mediante la taxonomía SOLO (Anexo 6. Rúbrica de evaluación según taxonomía SOLO módulo 2.). Para posteriormente en el módulo 3, fortalecer el conocimiento funcional, es decir, el poner en marcha el conocimiento declarativo. De esta manera, el módulo 3 se orientó hacia la aplicación del conocimiento adquirido durante la

realización de los otros dos módulos, en un taller de “práctica experimental” el cual tenía la finalidad de que los estudiantes tuvieran una aproximación por medio de herramientas digitales a cómo se desarrolla experimentalmente la técnica de fotocátalisis heterogénea, y que pudieran llegar a una aproximación del manejo de un montaje fotocatalítico.

3.4. POBLACIÓN

En el desarrollo de esta propuesta se tomó un grupo de 14 estudiantes con edades aproximadas entre 20 y 27 años pertenecientes a la Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia, partícipes del espacio académico énfasis disciplinar I (Calidad de aguas) del período académico 2020-1, dirigido por la profesora Dra. Dora Luz Gómez.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Esta investigación resalta la importancia de la construcción de un conocimiento con enfoque de aprendizaje profundo, en donde el estudiante sea partícipe de su propio aprendizaje de manera autónoma, reflexiva y constructiva. De esta manera, es importante tener en cuenta que la enseñanza es eficaz cuando se apoya de actividades adecuadas para alcanzar los objetivos deseados; por tanto, el aprendizaje es el resultado de una actividad constructiva entre el docente, el estudiante y el espacio académico.

Biggs (2006), menciona que para generar un aprendizaje constructivo se requiere de un buen sistema de enseñanza donde el método y la evaluación de la enseñanza estén alineados con las actividades propuestas para el estudiante establecidas con los objetivos y/o logros, donde prevalezca el aprendizaje y el alineamiento de la enseñanza. Por tanto, surgió la iniciativa de diseñar e implementar una estrategia didáctica, la cual se caracteriza por generar un espacio de aprendizaje autónomo. La estrategia consiste en el diseño e implementación de tres módulos orientados hacia la introducción, conceptualización y aplicación del concepto de fotocátalisis heterogénea; cada módulo cuenta con las herramientas necesarias para la comprensión de las temáticas, además de actividades evaluativas que permiten identificar y caracterizar el nivel de complejidad de aprendizaje en el que se encuentra cada estudiante según la Taxonomía SOLO.

4.1. ESTRUCTURA DE LA ESTRATEGIA DIDÁCTICA

Para el diseño de la estrategia didáctica se plantearon tres módulos de trabajo remoto estipulados en una página web, para orientar el proceso formativo, con el fin de que los estudiantes cuenten con las herramientas necesarias para su aprendizaje. Es así como para el diseño de la estrategia didáctica se establecen

objetivos de enseñanza (Figura 7) con los cuales se pretende orientar el proceso de enseñanza-aprendizaje del concepto de fotocatalisis heterogénea.

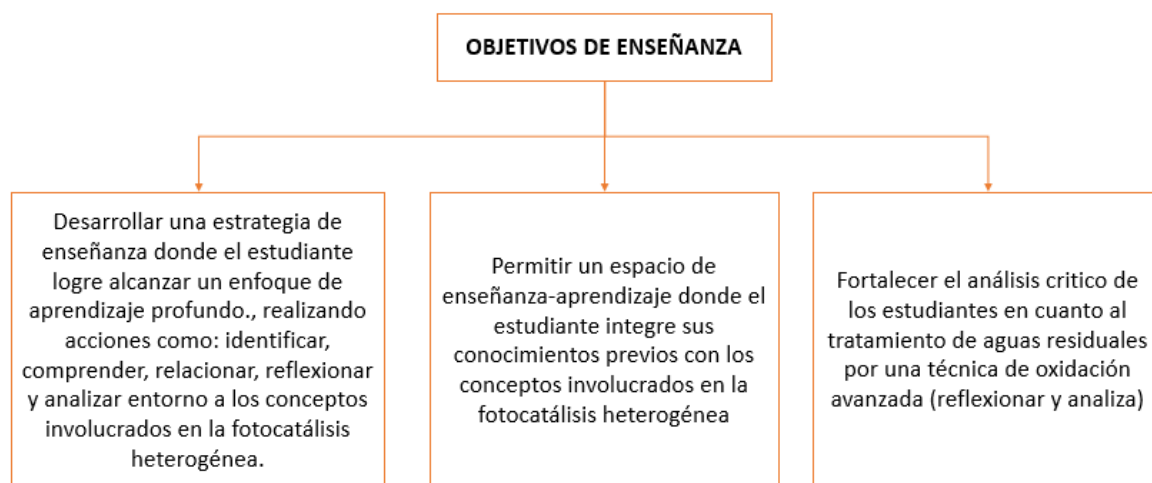


Figura 7. Objetivos de enseñanza

Nota. Fuente: elaboración propia

De manera tal, que el trabajo remoto hace parte de la estrategia didáctica diseñada para la enseñanza del concepto de fotocatalisis heterogénea, como técnica de oxidación avanzada para la remoción de contaminantes orgánicos en agua residual. para ello, la página web (Anexo 1. Página web) consta de tres módulos de formación que comprenden núcleos problémicos que se presentan en la Tabla 6. los cuales se encargan de orientar el proceso de enseñanza. además, con el fin de hacer un seguimiento en torno a los niveles de aprendizaje que adoptan los estudiantes, se lleva a cabo una actividad evaluativa por cada módulo de formación mediante la taxonomía solo, con la cual se caracteriza el enfoque de aprendizaje de cada estudiante en un nivel superficial o profundo, dependiendo de los niveles de complejidad propuestos por biggs (2006).

Tabla 6.

Núcleos problémicos de los módulos de aprendizaje diseñados.

Módulo	Temática	Preguntas orientadoras
(1)	Introducción a la fotocatalisis heterogénea.	¿Qué es la fotocatalisis? ¿Qué es la fotocatalisis heterogénea?

		¿Tipos de agua residual?
		¿Cuál es la importancia de la fotocátalisis heterogénea?
		¿Qué tipo de contaminantes se puede remover por fotocátalisis heterogénea?
		¿Cuáles son los principales elementos que hacen posible el proceso de fotocátalisis heterogénea?
(2)	Conceptualización Fotocatálisis Heterogénea	¿Cuál es el mecanismo de reacción en el proceso fotocatalítico? ¿Qué conceptos permiten explicar el fundamento fisicoquímico de la fotocátalisis heterogénea?
		¿Qué instrumentos y/o materiales se emplean para el proceso de fotocátalisis heterogénea? Y ¿En qué consiste un fotocatalizador?
(3)	Práctica experimental "remoción de colorantes"	¿Cómo se lleva a cabo la remoción de colorantes artificiales presentes en aguas residuales? ¿De qué manera se puede evidenciar el porcentaje de remoción del colorante presente en aguas residuales?

Nota. Fuente: *Elaboración propia.*

4.1.1. EVALUACIÓN

La comprensión es un proceso que se va desarrollando con el tiempo, el cual se va estructurando y articulando cada vez mejor; de manera tal, que al ser la comprensión un proceso, se evidencia por medio de niveles de precisión y complejidad, (Biggs, 2006), por lo que, la taxonomía SOLO es una forma sistemática de describir las acciones que pueden ser realizadas por los estudiantes para evidenciar cómo aumenta la complejidad de la actuación de un aprendiz conforme realiza actividades o tareas (Biggs, 2006), para ello, se deben clarificar los niveles de comprensión y convertirlos en logros de aprendizaje. Por consiguiente, en el presente trabajo, se diseñaron tres rúbricas de evaluación independientes (Ver Anexo 5. Rúbrica de evaluación según taxonomía SOLO módulo 1.) (Ver Anexo 6.

Rúbrica de evaluación según taxonomía SOLO módulo 2.) (Ver Anexo 7. Rúbrica de evaluación según taxonomía SOLO módulo 3.) que contiene ciertos criterios de evaluación encaminados a cumplir los logros de aprendizaje. Es así, que de acuerdo al proceso de enseñanza - aprendizaje y a las formas de cómo se evalúa este proceso se puede determinar en qué medida se han logrado los objetivos de aprendizaje (Foronda y Foronda, 2007), teniendo en cuenta los niveles de comprensión que se evidencia, para posteriormente identificar el enfoque de aprendizaje que adopta el estudiante al momento de realizar una actividad.

Por otra parte, el alineamiento constructivo es un sistema de enseñanza que concibe el aprendizaje como el resultado de una actividad constructiva, que se apoya en las actividades de aprendizaje, para alcanzar los objetivos curriculares, estimulando al estudiante a optar por un enfoque de aprendizaje profundo (Biggs, 2006). Cabe resaltar que el constructo de enfoque de aprendizaje que hace Soler, Cárdenas y Hernández (2018) indica la ruta preferente que sigue un individuo al momento de enfrentar una demanda académica en el ámbito educativo. Sin embargo, a lo largo del tiempo, la evaluación se ha convertido en un desasosiego para los estudiantes, y, su aprendizaje está determinado y/o limitado por una calificación numérica y no por los objetivos de enseñanza-aprendizaje, lo cual en muchas ocasiones genera repercusiones negativas para los estudiantes (Biggs,2006); puesto que, como se observa en la Figura 8, la perspectiva de la evaluación difiere entre estudiante y el profesor. Por tanto, es necesario implementar un sistema de enseñanza que esté orientado hacia los objetivos, como el alineamiento constructivo que permite una vinculación entre los objetivos, las actividades de enseñanza-aprendizaje y la evaluación.

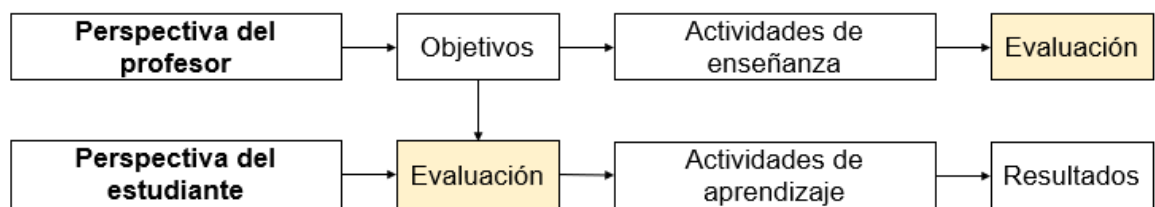


Figura 8. Perspectivas del profesor y del estudiante sobre la evaluación.

Nota. Fuente: Biggs (2006)., P. 178

Por consiguiente, se evaluaron las actividades de aprendizaje para determinar los niveles de comprensión, teniendo en cuenta los aspectos cuantitativos y cualitativos, los primeros hacen referencia a la transmisión de datos principales y la evaluación determina la capacidad que tienen los estudiantes de exponerlos (nivel uni y multiestructural); los segundos suponen ayudar a los estudiantes a estructurar los datos, más que acumular datos (nivel relacional y abstracto). Por tanto, se

caracterizó el proceso de aprendizaje de los estudiantes en los cuatro niveles de complejidad uni-estructural, multi- estructural, relacional y abstracto. Teniendo en cuenta las aptitudes y habilidades desarrolladas en la fase cuantitativa y en la fase cualitativa.

La caracterización se realizó a partir de las actividades propuestas para cada uno de los módulos de aprendizaje, según el modelo 3P definido por Biggs (2006) que consta de tres fases de aprendizaje las cuales son presagio, proceso y producto. Para evaluar cada etapa se aplicó una serie de instrumentos y/o actividades que se describen a continuación:

- Presagio: actividad de introducción (mapa conceptual y párrafo descriptivo) en el módulo 1.
- Proceso: taller conceptual con preguntas abiertas en el módulo 2
- Producto: taller “Práctica de laboratorio” desde la problemática del río Medellín en Colombia. Módulo 3.

4.1.2. ALINEACIÓN DE LA ESTRATEGIA DIDÀCTICA

Como indica el alineamiento constructivo, es indispensable proponer un esquema alineado que permita obtener buenos resultados los cuales puedan generar un enfoque profundo de aprendizaje en los estudiantes. Por tanto, en la Figura 9, se puede evidenciar que los objetivos de enseñanza planteados para el diseño de la estrategia didáctica (Figura 7) están relacionados de manera directa con los logros de aprendizaje destinados para cada uno de los módulos desarrollados, y, así mismo se relaciona con la evaluación empleada mediante la taxonomía SOLO, con el fin de determinar si hubo un cambio de enfoque de aprendizaje superficial a profundo en los estudiantes conforme se daba el desarrollo de la estrategia didáctica en la implementación de los 3 módulos de trabajo.

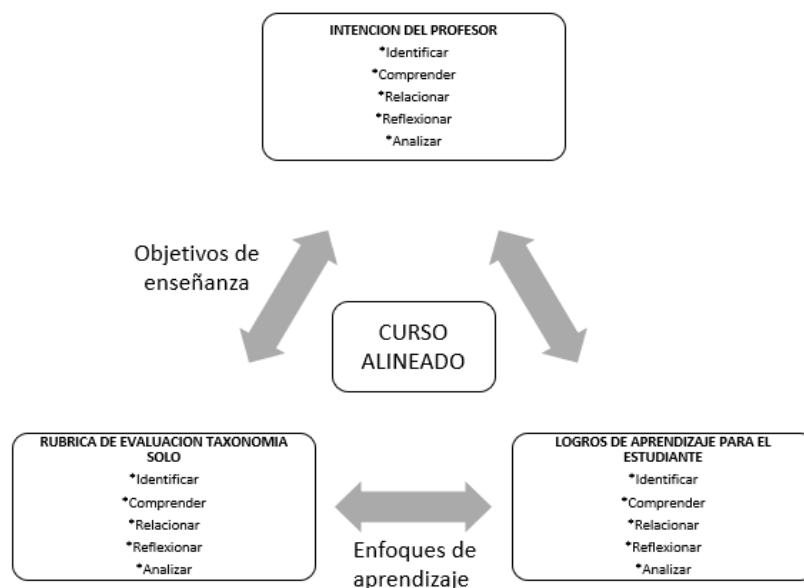


Figura 9. Estructura organizacional del diseño de la estrategia didáctica bajo el alineamiento constructivo.

Nota. Fuente: Adaptado de (Soler 2015, P.78)

4.2. PRESAGIO

4.2.1. TEST INTRODUCTORIO

Para llevar a cabo la primera etapa de la estrategia didáctica basada en el Modelo 3P propuesto por Biggs (Presagio) se aplicó un test introductorio que cuenta con 8 preguntas de selección múltiple (Anexo 2. Test de introductorio.) en 14 estudiantes del énfasis disciplinar I de la licenciatura en química de la Universidad Pedagógica Nacional, el cual, es un instrumento diseñado por los investigadores con el fin de identificar la claridad que tenían los estudiantes ante algunos conceptos que son claves a la hora de abordar el concepto de fotocatalisis heterogénea. El test aplicado fue de carácter memorístico (el objetivo de cada pregunta se puede observar en la

Tabla 7. debido a que los conceptos a indagar ya se debieron haber abordado en el transcurso de la carrera, puesto que el espacio académico en el que se realizó la presente investigación, según la malla curricular del departamento de química de la Universidad Pedagógica Nacional, se debe cursar en noveno semestre.

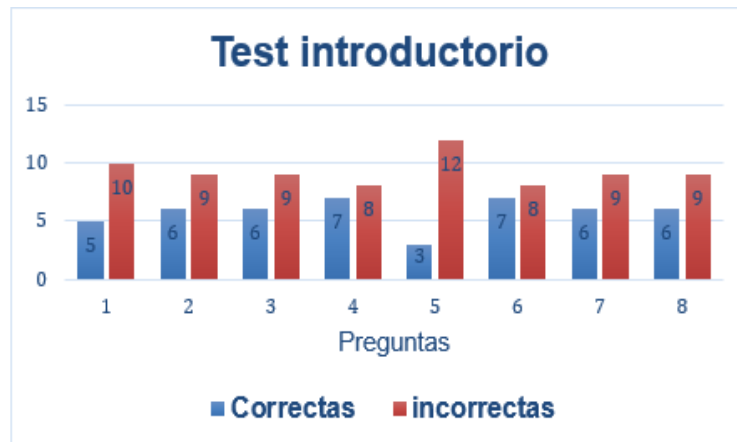
Tabla 7.

Preguntas estipuladas en el test introductorio.

Pregunta	Descripción
1	Se basa en el fundamento de cómo se lleva a cabo una reacción química teniendo en cuenta factores como: el cambio energético en los reactantes, la energía de activación de una reacción y la participación de sustancias catalizadoras.
2	Se basa en explicar cómo se lleva a cabo el proceso de oxidación avanzada, cuál es su finalidad e importancia como técnica de remoción de contaminantes en agua.
3	Pretende explicar el fundamento químico de un radical libre
4	Pretende explicar que es una reacción de oxidación y cómo se produce.
5	Tiene como objetivo entender el fenómeno de conductividad eléctrica a partir de la teoría de bandas.
6	Pretende explicar cómo es el comportamiento eléctrico de un material semiconductor.
7	Tiene como objetivo explicar las características de la radiación UV para llevar a cabo el proceso de fotocátalisis heterogénea.
8	Pretende identificar las diferencias entre agua residual doméstica y agua residual industrial y su impacto en el ambiente.

Nota. Fuente: *Elaboración propia*

A partir de este instrumento, se realizó el ordenamiento de datos, con el fin de identificar la tendencia que presentan los estudiantes entorno a las respuestas; correctas e incorrectas. Por tanto, en la Gráfica 1, se logró evidenciar que la mayoría de los estudiantes presentan fallas conceptuales en el fundamento de cada uno de los conceptos a trabajar y que están implícitos en el desarrollo de la enseñanza y el aprendizaje de la fotocátalisis heterogénea, por tanto, fue necesario reforzar estos conceptos en el desarrollo de los módulos de aprendizaje.



Gráfica 1. Resultado de tendencia de respuesta de los estudiantes en el test introductorio.

Nota. Fuente: elaboración propia.

4.2.2. MÓDULO 1

El primer módulo consistió en la introducción del concepto de fotocatalisis heterogénea como técnica avanzada de tratamiento de aguas residuales a partir de una lectura titulada “*La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales*” (Garcés, Mejía y Santamaría, 2004) y tres videos sobre: aguas residuales, contaminación del agua y cuidado del agua. Adicionalmente, se propusieron dos actividades en donde los estudiantes debían relacionar los conceptos adquiridos mediante la lectura y la visualización de los videos en la construcción de un mapa conceptual y explicar mediante un párrafo el impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales contaminadas con colorantes (módulo 1). En este primer módulo, se esperaba que el estudiante logrará analizar la información, relacionarla y reflexionar respecto a la importancia, y el tratamiento del agua residual contaminada con colorantes, mediante el uso de técnicas avanzadas, además, de comprender algunos aspectos fisicoquímicos de la fotocatalisis heterogénea. Por lo tanto, se establecieron cuatro logros de aprendizaje para el módulo 1 (Figura 10) los cuales orientaron el proceso de enseñanza - aprendizaje. Este módulo fue evaluado mediante la taxonomía SOLO la cual es una rúbrica de evaluación que permite caracterizar al estudiante según el nivel de complejidad propuesto por Biggs (2006) (Anexo 5. Rúbrica de evaluación según taxonomía SOLO módulo 1.)

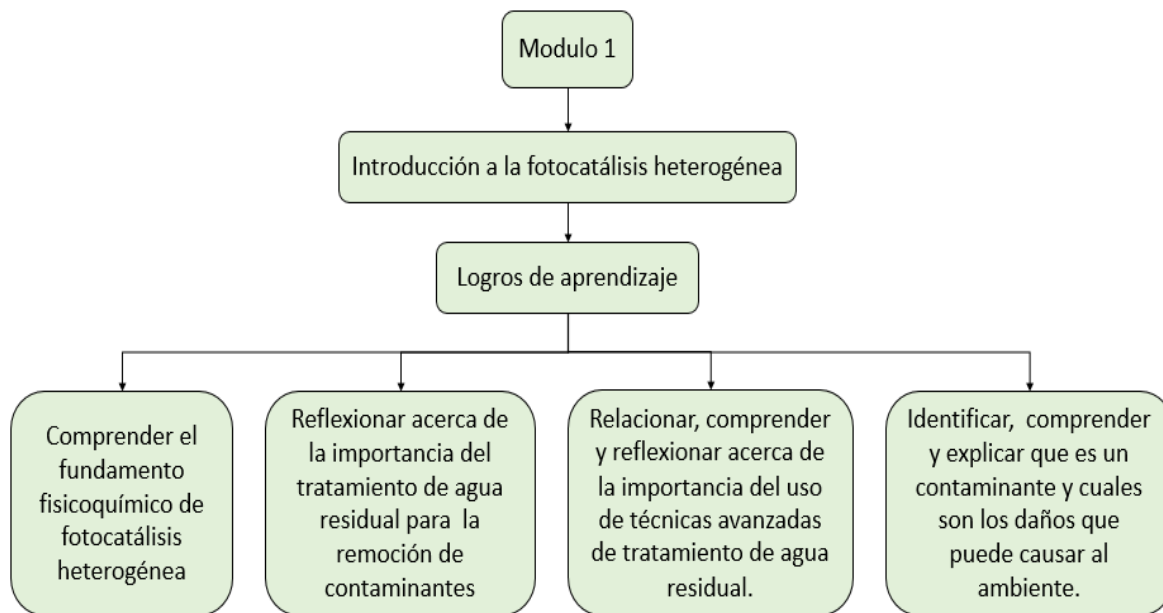
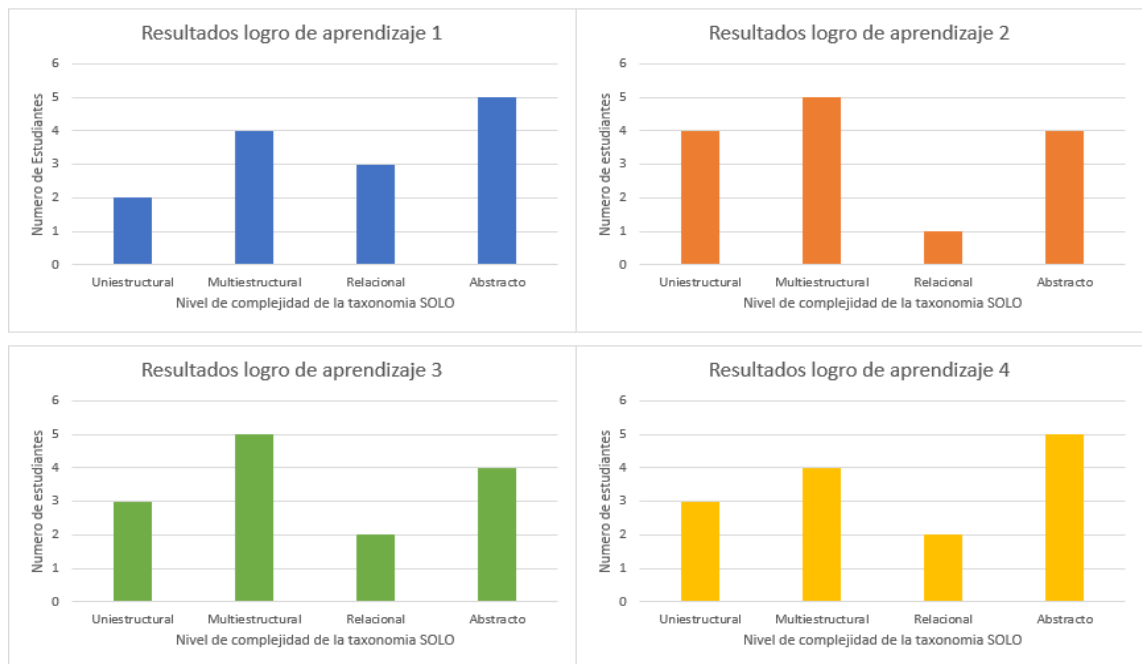


Figura 10. Logros de aprendizaje estipulados para el módulo 1.

Nota. Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, teniendo en cuenta los resultados de la Gráfica 2, se observa un comportamiento diferente por parte de los estudiantes en cuanto a los logros de aprendizaje. En el logro de aprendizaje N°1 se evidencia que existe una alta tendencia de los estudiantes respecto al nivel de complejidad multi-estructural, debido a que los estudiantes no relacionan el concepto de semiconductor con la formación de radicales hidroxilos, los cuales oxidan la materia orgánica, sino que definen los conceptos de manera simplificada e independiente. No obstante, la tendencia mayoritaria es el nivel abstracto, por lo que algunos estudiantes logran relacionar los conceptos abordados y trascender para reflexionar en cuanto a la importancia del uso de técnicas avanzadas para el tratamiento de agua residual. Por otro lado, en el logro de aprendizaje N°2 predomina una tendencia en el nivel multi-estructural, lo que conlleva a deducir que no todos los estudiantes logran analizar la importancia del tratamiento de aguas residuales y la relación con el uso de técnicas oxidativas está desligada. Además, se evidencia que en el logro de aprendizaje 3 y 4, la mayoría de los estudiantes también se encuentran en el nivel multi-estructural confirmando lo mencionado anteriormente.



Gráfica 2. Resultados de los logros de aprendizaje trabajados en el módulo 1.
Nota. Fuente: Elaboración propia.

Por consiguiente, en la Figura 11 y Figura 12 se presenta el diseño de los mapas conceptuales elaborados por dos estudiantes y el nivel de complejidad en el que se encuentra cada uno, teniendo en cuenta los parámetros que se evaluaron en la taxonomía SOLO (Anexo 5. Rúbrica de evaluación según taxonomía SOLO módulo 1.), de acuerdo con las relaciones que construye cada estudiante con la información que se le brinda en el módulo 1.

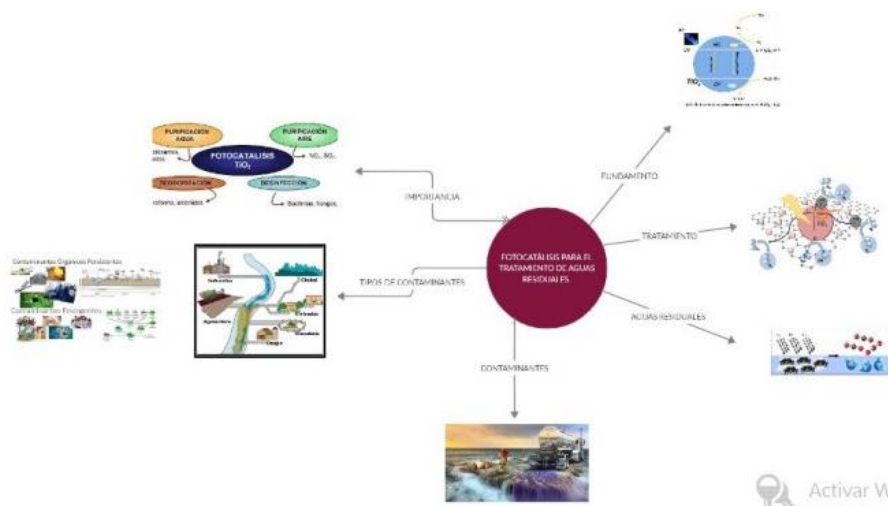
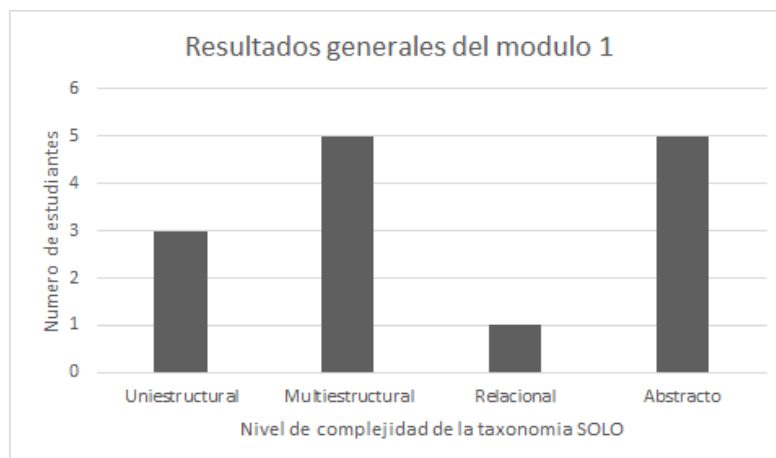


Figura 11. Mapa conceptual del módulo 1 elaborado por el estudiante 12: Clasificación multi-estructural.



Gráfica 3. Resultados generales del módulo 1.

Nota. Fuente: elaboración propia

4.3. PROCESO

4.3.1. MÓDULO 2

En el segundo módulo, se realizó una profundización en el concepto de fotocatalisis heterogénea por medio de la intervención de los investigadores, con el fin de afianzar algunos conceptos fisicoquímicos, necesarios para comprender el fundamento teórico del mismo, así como los conceptos que se establecieron en el test introductorio. Por lo tanto, en este módulo se esperó que el estudiante lograra comprender e interpretar los fundamentos teóricos de la fotocatalisis heterogénea, identificando los procesos que están involucrados en esta técnica oxidativa para la remoción de contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales. De manera tal, que en el módulo 2 se trabajaron algunos conceptos importantes mediante tres videos diseñados por los autores (Anexo 3. Taller propuesto para el módulo 2.) además, en la Tabla 8. se encuentran los núcleos problémicos de cada video.

Para el desarrollo de este módulo, en primera medida se realizó una intervención en el aula por parte de los investigadores mediante una presentación en Power Point en donde se desarrollaron cada uno de los núcleos problémicos expuestos en la Tabla 6. (Temáticas del núcleo 2). Esta intervención se realizó de manera virtual en el espacio académico de la licenciatura en química denominado énfasis disciplinar I de calidad de aguas. Posterior a dicha intervención, los estudiantes realizaron un cuestionario que contiene preguntas enfocadas en las temáticas trabajadas en el desarrollo de la clase (Anexo 3. Taller propuesto para el módulo 2.) Además, el

módulo 2 cuenta con tres vídeos diseñados por los autores, los cuales pretendían dar un refuerzo en la enseñanza de las temáticas expuestas en la intervención con el objetivo de que los estudiantes lograran una mayor apropiación de los conceptos y la temática trabajada.

Tabla 8.
Contenido de los videos diseñados por los autores para el módulo 2.

Video	Núcleos problemáticos
(1)	<p>Conceptualización de Fotocatálisis heterogénea y su diferencia con fotocatalisis homogénea.</p> <p>Fundamento de catálisis e importancia de los catalizadores.</p> <p>Fundamento de radicales libres OH, reacción de oxidación reducción.</p>
(2)	<p>Fundamento de la teoría de bandas: banda de valencia y banda de conducción.</p> <p>Conductividad eléctrica: conductores, semiconductores y aislantes.</p> <p>Mecanismo de reacción en el proceso fotocatalítico mediante el semiconductor.</p>
(3)	<p>Reacciones involucradas en el proceso de fotocatalisis.</p> <p>Dióxido de titanio como catalizador en el proceso fotocatalítico y uso de luz ultravioleta.</p> <p>Ventajas de las técnicas avanzadas de remoción de contaminantes.</p>

Nota. Fuente: *Elaboración propia*

En ese sentido, la estructura del módulo 2 comprende tres logros de aprendizaje que buscaron promover el aprendizaje de los fundamentos conceptuales de la fotocatalisis heterogénea, con las herramientas necesarias que favorezcan la indagación y comprensión de un sistema fotocatalítico para el tratamiento de aguas

residuales contaminadas con colorantes. Así, de esta manera el estudiante puede lograr apropiarse del conocimiento y generar un aprendizaje profundo, teniendo en cuenta los niveles de complejidad estipulados por Biggs (2006). De esta manera, el análisis de los registros centra su interés en el cumplimiento de los logros de aprendizaje (Figura 13).

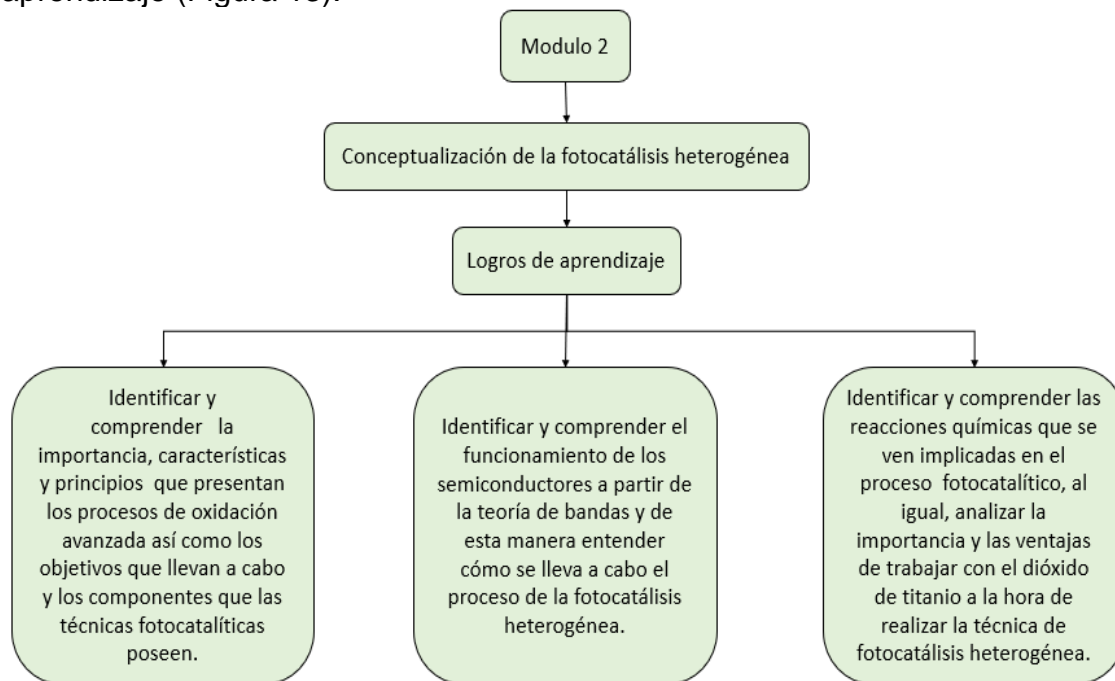


Figura 13. Logros de aprendizaje estipulados para el módulo 2.

Nota. Fuente: *Elaboración propia*

El cuestionario aplicado para este módulo (Anexo 3. Taller propuesto para el módulo 2.) fue evaluado por la taxonomía SOLO adaptada a los niveles de complejidad estipulados por Biggs (2006) (Anexo 6. Rúbrica de evaluación según taxonomía SOLO módulo 2.). En la Gráfica 4, Gráfica 5 y Gráfica 6 se puede evidenciar que prevalece el nivel relacional y abstracto para los tres logros de aprendizaje, es decir, los estudiantes emplean procesos cognitivos de manera significativa, realizando un bagaje estructurado de los conocimientos que ahondan el fundamento de la fotocatalisis heterogenea desde una visión disciplinar para el módulo 2.

Las primeras 5 preguntas iban orientadas al primer logro de aprendizaje (Figura 13) el cual era identificar y comprender la importancia, características y principios que presentan los procesos de oxidación avanzada, así como los objetivos que se llevan a cabo y los componentes que poseen las técnicas fotocatalíticas. Como se puede observar en la Gráfica 4, los estudiantes se encuentran en niveles de orden superior (relacional y abstracto), en donde la mayoría de los estudiantes se posicionó en un nivel relacional de aprendizaje, por lo que respuestas como:

“Aunque la técnica de carbón activado es un método fisicoquímico muy eficiente para la remoción de contaminantes. El carbón debe tener características como el tamaño del poro, capacidad de absorción y tener en cuenta su estructura química en interacciones polares y no polares. Además, la rentabilidad de usar carbón activado en el proceso depende de encontrar fuentes baratas y fácilmente disponibles. Teniendo en cuenta lo anterior y los datos de la tabla 1 la técnica a elegir es la fotocatalisis heterogénea ya que el porcentaje de remoción de la muestra también es significativo, eficiente y no necesita más tiempo de postratamiento. Aunque la fotocatalisis no se realiza a gran escala es una alternativa para el tratamiento de aguas de bajo costo que ayuda a la eliminación de todo tipo de contaminantes orgánicos e inorgánicos que se degradan fácilmente y no generan subproductos tóxicos.” (Estudiante N.º 13)

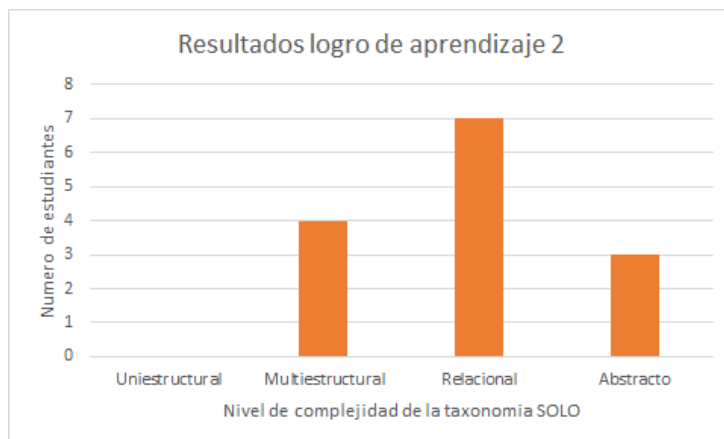
evidencian que el estudiante compara, relaciona, explica y crea redes conceptuales complejas con sus conocimientos frente a una situación problemática, teniendo en cuenta algunas variables para dar solución y poder escoger la mejor técnica de tratamiento entre las dos que plantea la pregunta problema N°2 (Anexo 3. Taller propuesto para el módulo 2.) respecto a las ventajas y desventajas que presenta la fotocatalisis heterogénea. Por lo que el estudiante se vuelve un sujeto crítico, que se desempeña en una situación externa y puede aplicar los conocimientos adquiridos.



Gráfica 4. Resultados del logro de aprendizaje N° 1 para el módulo 2.
Nota. Fuente: elaboración propia

Las cinco preguntas posteriores estaban orientadas hacia el aprendizaje del fundamento físico y químico de un semiconductor; que actúa como catalizador en la fotocatalisis (logro No. 2, Figura 13). Por tanto, en la Gráfica 5 se puede observar que el nivel de complejidad que prevalece es el relacional, dado que los estudiantes identifican y comprenden el funcionamiento de un semiconductor desde la formación de pares electrón-hueco, los cuales actúan frente a la formación del

radical hidroxilo (OH^*): radical encargado de oxidar la materia orgánica presente en aguas residuales. Por tanto, se evidencia que además de adquirir un conocimiento declarativo, en el cual explican y analizan el concepto de formación de pares electrón-hueco, también se adquiere un conocimiento funcional, donde aplican la información para elucidar el fundamento de la fotocatalisis heterogénea en el tratamiento de aguas residuales.



Gráfica 5. Resultados del logro de aprendizaje N.º 2 para el módulo 2.

Nota. Fuente: elaboración propia.

Un ejemplo claro que permite observar el nivel de complejidad relacional es el observado en la Figura 14, en la cual el estudiante logra relacionar todos los conceptos adquiridos que permiten explicar el mecanismo de la fotocatalisis heterogénea, lo cual posibilita identificar la intención del estudiante por realizar una explicación de manera significativa y adecuada formando respuestas de un nivel de aprendizaje profundo.

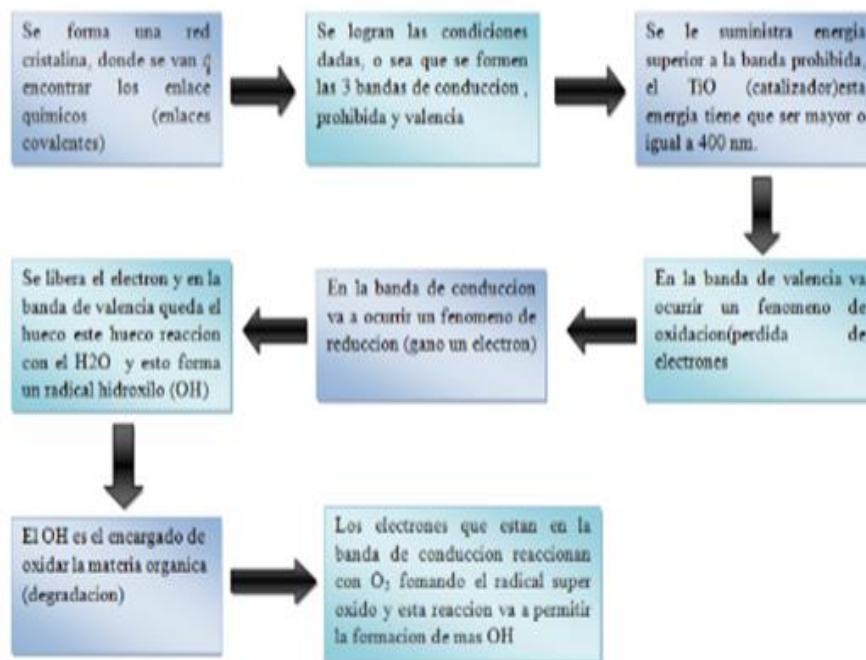
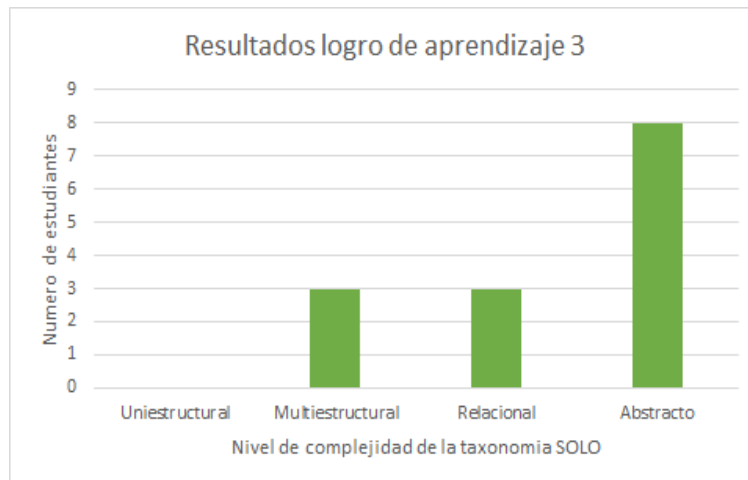


Figura 14. Diagrama del segundo módulo elaborado por el estudiante 5.

Nota. Fuente: estudiante No. 5.

Por último, las cinco preguntas finales estaban orientadas hacia el tercer logro (Figura 13), en el cual, la finalidad es generar un aprendizaje mediante la identificación y la comprensión de las reacciones químicas que se ven implicadas en el proceso fotocatalítico, así mismo el análisis y la importancia del uso del dióxido de titanio en la técnica de fotocatalisis heterogénea. Es así que, en la Gráfica 6, la tendencia del aprendizaje en los estudiantes frente al logro N.º 3 conlleva a caracterizarlos en un nivel abstracto, lo que corresponde a la evidencia de un aprendizaje profundo, donde el estudiante puede realizar una interrelación de los conceptos introductorios y el conocimiento adquirido para dar respuesta con un nivel profundo de aprendizaje tal y como se puede observar en la Figura 15 en la cual el estudiante maneja redes conceptuales amplias y de conocimiento abstracto respecto al logro de aprendizaje que se está evaluando.



Gráfica 6. Resultados del logro de aprendizaje N.º 3 para el módulo 2.
Nota. Fuente: elaboración propia

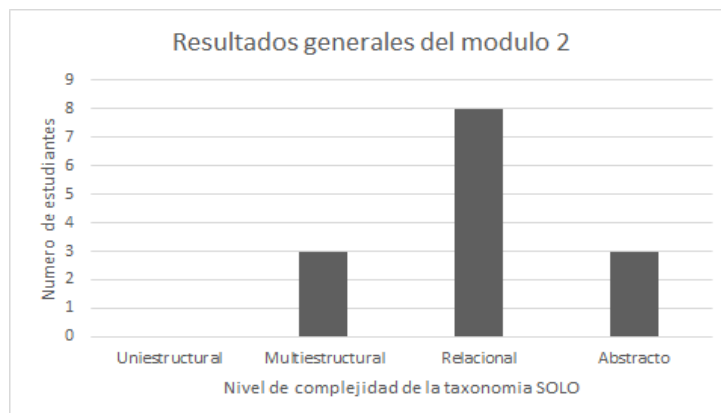


Figura 15. Mapa conceptual elaborado por el estudiante 11 para responder la pregunta 13 en el cuestionario del módulo 2.

Nota. Fuente: estudiante N° 11.

Finalmente, en la Gráfica 7 se puede evidenciar un cambio de enfoque; de superficial a profundo, gracias a la intervención en el aula que hicieron los investigadores y los videos de apoyo de la página web, lo cual permitió mejorar la apropiación de conocimientos en los estudiantes, para que realizaran procesos en los cuales la adquisición de su conocimiento fuera significativo. Por tanto, en el módulo 1, el 57% de los estudiantes se centraron en los “signos de aprendizaje”, es decir, los conceptos involucrados en la fotocatalisis fueron definidos de forma

aislada sin una correlación coherente y apropiada. No obstante, en el módulo 2, el 79% de los estudiantes se encontraron en un nivel relacional y abstracto, donde se observa la construcción de un fundamento sólido de conocimiento.



Gráfica 7. Resultados generales del módulo 2.

Nota. Fuente: elaboración propia.

Asimismo, como se mencionó anteriormente este módulo corresponde a la etapa de proceso del modelo 3P de Biggs (2006), observándose un incremento de aprendizaje profundo de los estudiantes en comparación al módulo 1; estableciendo una interacción entre el contenido (módulo 2) y su relación con los conocimientos previos (módulo 1). Por tanto, la información entregada es relevante y se interrelaciona con los conocimientos, donde las respuestas van más allá de la descripción llegando a la explicación (Sepúlveda & Delgado, 2007).

4.4. PRODUCTO

4.4.1. MÓDULO 3

En primera medida, se realizó una intervención por medio de una clase virtual en la cual se diseñó una práctica de laboratorio hipotética con el fin de explicarle a los estudiantes el procedimiento de cuantificación y evaluación que se debe llevar a cabo para hacer el tratamiento de una muestra de agua residual con presencia de algún colorante (contaminante) para así dar respuesta al taller “práctica de laboratorio” propuesto para el módulo tres (Anexo 4. Taller práctico propuesto para el módulo 3.) Adicionalmente el módulo 3 cuenta con herramientas tales como:

- I. Video explicando el funcionamiento de un fotocatalizador.
- II. Lectura de profundización sobre la remoción de colorantes presentes en aguas residuales.

III. Taller, practica de laboratorio.

De igual forma, en este módulo se proponen dos logros de aprendizaje (Figura 16) para orientar el proceso de enseñanza-aprendizaje, los cuales fueron evaluados a partir de un taller denominado “práctica de laboratorio”, diseñado como actividad final del proceso de enseñanza-aprendizaje de la fotocatalisis heterogénea del modelo 3P, este taller consta de una situación problemática específica de la contaminación del río Medellín generada por vertimiento de aguas residuales de tipo industrial con presencia de colorante. El objetivo de la práctica fue generar un pensamiento crítico en los estudiantes, es decir, que se puedan desenvolver en un contexto con una situación problémica y puedan dar una respuesta coherente de acuerdo con el conocimiento que han adquirido durante todo el proceso.

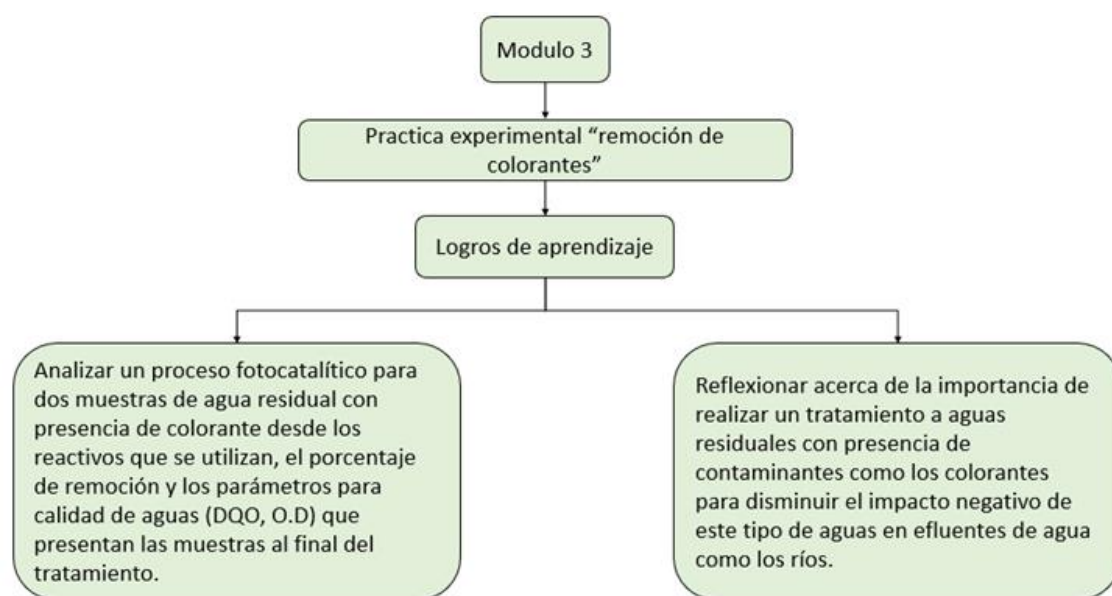
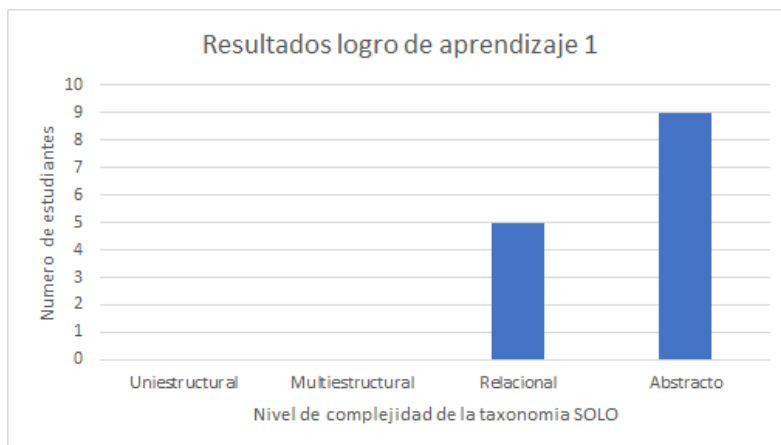


Figura 16. Logros de aprendizaje estipulados para el módulo 3.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Es así como, de acuerdo con el taller experimental (Anexo 4. Taller práctico propuesto para el módulo 3.) se procede a determinar el nivel de complejidad en el cual se encuentran los estudiantes por medio de la taxonomía SOLO adaptada a los niveles propuestos por Biggs (2006) (Anexo 7. Rúbrica de evaluación según taxonomía SOLO módulo 3.) Teniendo en cuenta los dos logros de aprendizaje planteados previamente (Figura 16) con el fin de enlazar la evaluación y los objetivos de enseñanza.

El logro de aprendizaje 1 (Figura 16) estaba orientado hacia análisis e interpretación de la problemática del río Medellín en Colombia, desde una perspectiva ambiental y disciplinar, en la cual se pretende que el estudiante realice un proceso de tratamiento de agua, desde la fotocatalisis heterogénea, teniendo en cuenta dos parámetros de calidad de agua, oxígeno disuelto y demanda química de oxígeno. En este sentido, en la Gráfica 8 se observa que el 36% de los estudiantes se encuentran en un nivel relacional y el 64% en un nivel abstracto, por tanto, se evidencia un cambio de complejidad cognitiva, dado que los estudiantes trascienden de una etapa cualitativa (módulo 1 y 2) a una cuantitativa, a medida que aumentan los detalles que integran en su modelo estructural, es decir, adoptan un conocimiento declarativo (comprender un concepto) y funcional (comprender cómo aplicar un concepto) (Biggs, 2006) propio del nivel relacional y además, construyen relaciones de un principio existente, como lo es la fotocatalisis heterogénea para abordar la problemática de contaminación del Río Medellín; característica principal del nivel abstracto (Biggs, 2006).



Gráfica 8. Resultados del logro de aprendizaje 1 del módulo 3.

Nota. Fuente: elaboración propia.

Lo mencionado anteriormente, se puede evidenciar en los diagramas diseñados por los estudiantes, donde relacionan el conocimiento declarativo y funcional para dar respuesta a la problemática allí planteada. En la Figura 17 se observa cómo el estudiante logra relacionar el concepto de semiconductor (dióxido de titanio TiO_2) desde la formación de pares electrón-hueco, la formación de radical hidroxilo (OH^*) hasta la degradación de materia orgánica presente en aguas residuales, lo que implica un nivel de complejidad relacional del aprendizaje profundo. El análisis que el estudiante realiza es el siguiente:

“En el diagrama A, los electrones de valencia al ser sometidos a radiación UV, pasan a la banda de conductividad dejando un hueco en la banda de valencia, la cual, en interacción con el agua, genera radicales -OH quienes reaccionan con el material orgánico presente en el agua y lo desintegran, además los electrones en la banda de conducción interactúan con el oxígeno disuelto generando radicales peróxidos O_2^- , que contribuyen en la oxidación del material orgánico. En el diagrama B, sucede el proceso de formación de radicales hidroxilo y peróxido de manera similar que en el diagrama B, sin embargo, la adición de H_2O_2 proporciona un agente oxidante que colabora en el proceso de oxidación avanzada potenciando y favoreciendo la desintegración de material orgánico en mayor proporción”. (Estudiante N° 11).

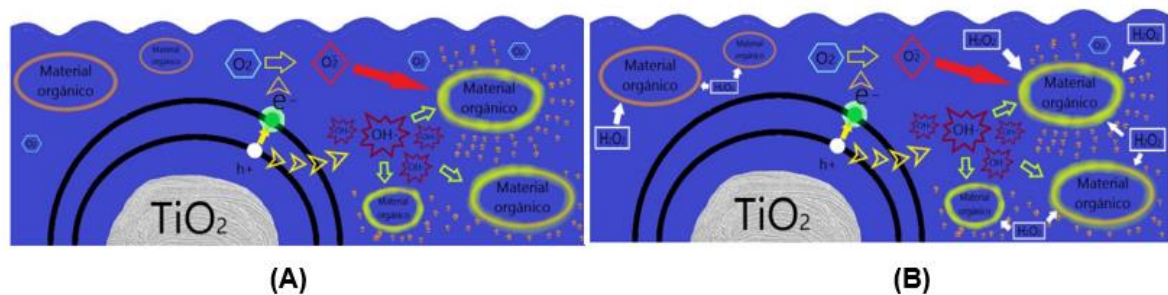


Figura 17. Proceso de fotocatalisis heterogénea sin peróxido de hidrógeno (A) y con peróxido de hidrógeno (B) elaborado por el estudiante 11.

Nota. Fuente: estudiante 11

Por otro lado, en la Figura 18, se puede observar un nivel de complejidad abstracto del aprendizaje profundo, dado que el estudiante N° 8 además de relacionar el conocimiento declarativo y funcional, reflexiona acerca de la implicación ambiental que conlleva el oxígeno disuelto y la demanda química de oxígeno en el agua residual, teniendo en cuenta el antes y el después del tratamiento.

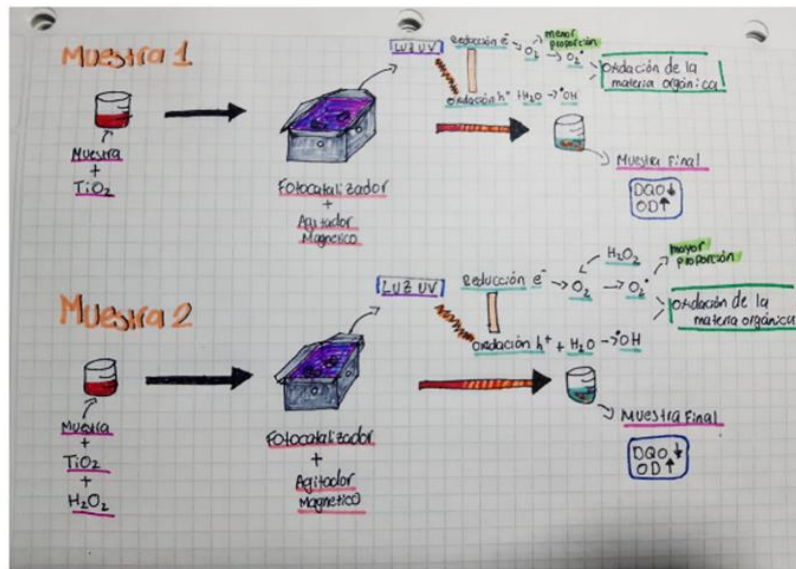
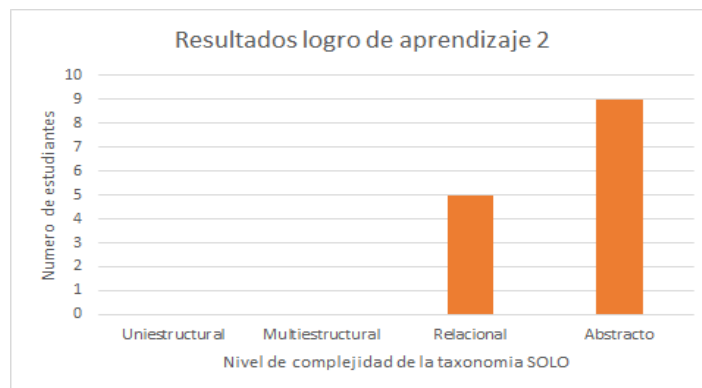


Figura 18. Proceso de la muestra 1 y 2 en la técnica de fotocatalisis heterogénea elaborado por el estudiante 7.

Nota. Fuente: Estudiante N 7

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el logro de aprendizaje 2 del módulo 3 (Figura 16) se puede evidenciar en la Gráfica 9 que los estudiantes se encuentran en un nivel de aprendizaje profundo específicamente en un nivel relacional y abstracto, teniendo una mayor tendencia el nivel de complejidad abstracto, en donde este determina que los estudiantes al finalizar el proceso de aprendizaje de la temática de fotocatalisis heterogénea son capaces de tener una comprensión más amplia del conocimiento, para poder relacionarlo y aplicarlo con otros contextos como el planteado en el taller “practica de laboratorio”.



Gráfica 9. Resultados del logro de aprendizaje 2 del módulo 3.

Nota. Fuente: elaboración propia.

Además, se evidencia que el 100 % de los estudiantes cumplen con el logro de aprendizaje estipulado para este módulo, en el cual, logran reflexionar acerca de la importancia de realizar tratamientos de aguas residuales, con técnicas como la fotocatalisis heterogénea, con el fin de disminuir el impacto negativo de aguas residuales contaminadas con colorantes. Por tanto, respuestas como:

“el proceso de fotocatalisis heterogénea ha demostrado por los resultados, en este y otros experimentos, que se consolida como un proceso efectivo y con muchas ventajas frente a otros procesos de tratamiento de aguas residuales. Está fotocatalisis es una de las recientes tecnologías y desarrollos surgidos en la necesidad creciente de que las actividades antrópicas impacten lo menos posible en el ya debilitado medio ambiente y por lo cual urge de medidas, políticas, tecnologías y desarrollos por parte de la sociedad humana para el desarrollo de esta con el menor impacto ambiental “(Estudiante N.º 10)

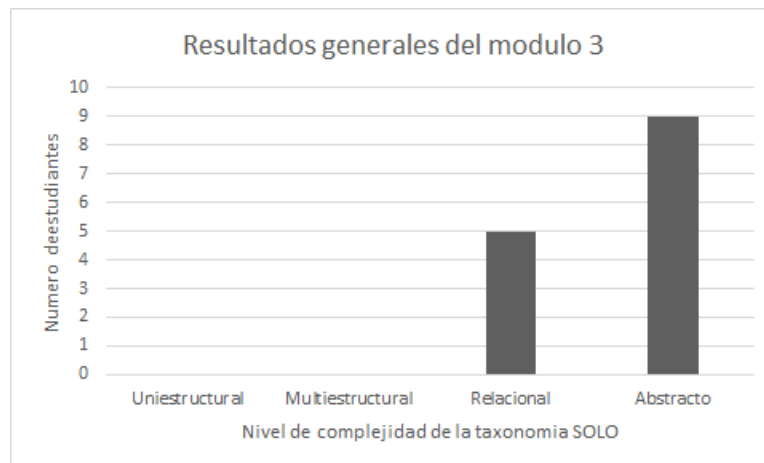
“la fotocatalisis heterogénea es una técnica no convencional para el tratamiento de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica, en donde la eficiencia a pequeña escala es óptima, permite reducir la presencia de colorantes orgánicos presentes en aguas residuales” (Estudiante N.º 7)

“Es bastante eficiente ya que, al llevar a cabo el tratamiento de aguas contaminadas con colorantes o pigmentos, se evidencia la baja concentración de estos, además se observó el aumento del OD (oxígeno disuelto) y disminución del DQO (Demanda química de oxígeno), que nos soporta la mejora de las características del agua postratamiento. También cabe mencionar que es eficiente respecto al uso del dióxido de titanio, que como se trató en el curso tiene unas propiedades bastante peculiares y que favorecen el proceso oxidativo del contaminante” (Estudiante N.º 4)

“La técnica de la fotocatalisis heterogénea es eficiente en la remoción de contaminantes ya que aguas contaminadas como las del río Medellín presentan porcentajes de remoción del 80% en donde se aumenta el oxígeno disuelto y disminuye la demanda química de oxígeno. Para obtener dichos resultados es necesario el control de variables como el pH, concentración del semiconductor (dióxido de titanio) y la concentración de peróxido de hidrógeno. Teniendo en cuenta las variables, los procesos oxidativos permiten la mineralización y degradación de contaminantes orgánicos” (Estudiante N.º 13)

atribuyen un buen cumplimiento del logro de aprendizaje N°2 y por ende una caracterización del estudiante en un nivel profundo de conocimiento como el nivel abstracto, ya que emplean conocimientos amplios en el análisis que realizan respecto a la problemática planteada y la importancia del uso de técnicas avanzada para el tratamiento de aguas contaminadas.

En la Gráfica 10, se evidencia que en la última fase del modelo 3P (Producto), todos los estudiantes hacen parte de un nivel abstracto y relacional, debido a que, relacionan el conocimiento declarativo y funcional, explican y solucionan problemas de manera correcta en un contexto, a lo que aplican su conocimiento disciplinar para dar solución a una problemática ambiental. Por tanto, la información relevante se interrelaciona y proporciona explicaciones a los fenómenos que ocurren en la problemática a solucionar, de manera que, el conocimiento ha tenido una trascendencia, al pasar de un aprendizaje superficial a un aprendizaje profundo. Es así como, la estrategia planteada desde los lineamientos del modelo 3P permite generar una relación entre el conocimiento declarativo y funcional, desarrollando un enfoque de aprendizaje profundo en los estudiantes.



Gráfica 10. Resultados generales del módulo 3

Nota. Fuente: elaboración propia.

4.5. RESULTADOS FINALES

Finalmente, la estrategia didáctica basada en el modelo 3P de Biggs (2006), permitió que los estudiantes hicieran una transición en los enfoques de aprendizaje, esto se pudo evidenciar puesto que en la primera fase (Presagio) se observaron niveles de baja complejidad como el uni-estructural y multi-estructural; en la segunda fase (proceso) incrementó el número de estudiantes en niveles de complejidad alta como los son el nivel relacional y abstracto y por último, en la

tercera fase (producto) todo el grupo de estudiantes se ubicó en los niveles superiores (relacional y abstracto). Sin embargo, como se observa en la Gráfica 11 no todos los estudiantes trascendieron de un enfoque superficial a profundo, es decir, algunos estudiantes inclusive bajaron su nivel cognitivo de aprendizaje, y otros se mantuvieron en un enfoque profundo, dichos casos se describen y se analizan en la Tabla 9.:

Tabla 9.

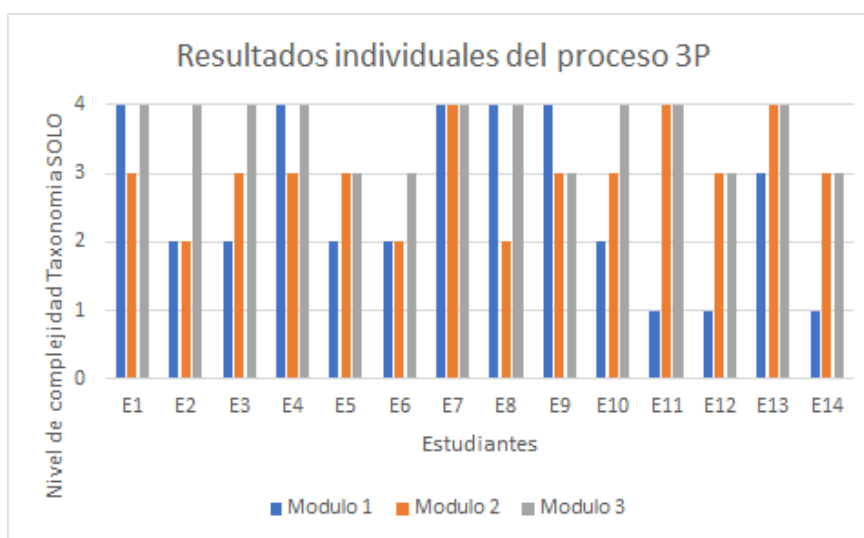
Análisis del cambio en los enfoques de aprendizaje de los estudiantes estipulados en la gráfica 11

Caso	Descripción
1	Se observa una transición de aprendizaje superficial a profundo en los estudiantes E2, E3, E10 y E11 quienes inicialmente se encontraban en un nivel uniestructural y multiestructural (módulo 1 y 2) y al finalizar el módulo 3 (producto) alcanzar un nivel abstracto, que fue el objetivo de la estrategia didáctica.
2	Se observa que los estudiantes E1 y E4 se encontraban para el módulo 1 en un nivel abstracto de aprendizaje sin embargo en el módulo 2 bajaron el nivel de complejidad a un nivel relacional y nuevamente en el módulo 3 adoptaron un enfoque abstracto. Por otro lado, el E8 se encontraba para el módulo 1 en un nivel abstracto de aprendizaje, sin embargo, en el módulo 2 bajó su nivel de aprendizaje a superficial, puesto que se centraba en aspectos concretos carentes de significado y en el módulo 3 volvió a un nivel abstracto. Esta tendencia indica, que el aprendizaje no solo depende del docente sino además de factores propios del estudiante; como el compromiso y la intención de cumplir con los requisitos para desarrollar de manera adecuada las actividades.
3	Se evidencia que los estudiantes E5, E6 y E12, a pesar de estar inicialmente (módulo 1 y 2) en un nivel superficial de aprendizaje, lograron alcanzar un nivel profundo para el módulo 3, sin embargo, sólo llegaron un nivel relacional, es decir que sus habilidades se centraron en comparar, relacionar y contrastar información, dejando de un lado la formulación y reflexión de posibles soluciones frente a problemáticas implícitas en la contaminación del recurso hídrico.
4	Se evidencia que el estudiante E9, bajo su nivel de aprendizaje, es decir, para el primer módulo se encontraba en un nivel de complejidad abstracto y para el módulo 3 bajo a relacional, lo cual indica que a pesar de que sus habilidades cognitivas tuvieron un descenso, el estudiante aún permanece en un nivel de aprendizaje profundo.

- 5 Se evidencia que los estudiantes E7 y E13, para los módulos 1,2 y 3 se mantuvieron en un nivel profundo de aprendizaje, donde prevalece el nivel relacional y abstracto. Lo cual indica, un nivel cognitivo alto desde el inicio de la estrategia didáctica.

Nota. Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 9. y la Gráfica 11 se deduce que una planeación que integra, los objetivos de enseñanza, los logros de aprendizaje y las tareas de evaluación de manera óptima, permiten desarrollar competencias de alto grado de complejidad (Soler, 2015), debido a que los estudiantes no solo describen el aspecto conceptual, de forma desordenada y prestando atención a una característica carente de interrelación, sino que contrastan la información en un contexto problemático. Al igual, la intervención virtual, los módulos de aprendizaje, el uso de herramientas didácticas como videos, lecturas y actividades; aportaron significativamente al aprendizaje, dado que generaron mayor atención, interés y apropiación del tema por parte de los estudiantes.



Gráfica 11. Resultados individuales de clasificación en cada uno de los módulos trabajados en las fases del modelo 3P

Nota. Fuente: elaboración propia

Por otra parte, en el esquema del modelo 3P (Figura 6) se evidencia que los factores que influyeron en este proceso fueron determinantes para generar un buen resultado en la implementación de la estrategia didáctica. Por tal motivo, en la fase de presagio, se tomaron en cuenta los factores dependientes del estudiante como los conocimientos previos que fueron identificados mediante la aplicación del test introductorio y los factores dependientes del docente, como el currículo, la

planeación de las actividades y los objetivos de enseñanza, así mismo, en el desarrollo del primer módulo se observaron las habilidades que presentaba cada estudiante respecto al desarrollo de la actividad propuesta al iniciar la primera etapa de la estrategia didáctica. Por otro lado, la incorporación de videos sobre el cuidado del medio ambiente incitó a que los estudiantes le dieran un sentido y una importancia a la temática, por lo que esto promovió el deseo de aprender el tema de fotocátalisis heterogénea ya que no se queda como un constructo teórico, sino que esto permitió otorgarle una aplicabilidad en este caso a una problemática ambiental.

En el caso del contexto del docente, se determinó el currículo a enseñar y se establecieron los logros de aprendizaje y la metodología de evaluación (Taxonomía SOLO, Figura 2) Posterior a esto, en el desarrollo del proceso (Módulo 2), las actividades se centraron en el estudiante con el propósito de generar una transición en los enfoques de aprendizaje de los estudiantes (de superficial a profundo). Por último, en la fase del producto se obtuvieron los resultados de aprendizaje debido a que los estudiantes pudieron aplicar el conocimiento adquirido a un contexto, con el fin de que además de identificar, comprender y relacionar los conceptos propios de la fotocátalisis heterogénea, pudieran reflexionar y analizar su importancia. Es importante resaltar que la evaluación mediante la taxonomía SOLO se realizó con la finalidad de proporcionar un mecanismo sistemático para describir cómo se incrementa la complejidad de la actuación de un estudiante al enfrentarse a diferentes tareas académicas (Soler, 2015), y además pudo ser empleada para plantear los objetivos de enseñanza y evaluar los logros de aprendizaje. Cabe resaltar de igual forma que durante todo el desarrollo de la estrategia didáctica, se llevó a cabo una retroalimentación con los estudiantes de acuerdo con qué aspectos podrían mejorar y cuáles fueron sus aciertos en el desarrollo de las actividades. Es así como, la estrategia didáctica basada en el alineamiento constructivo logró una relación de los objetivos de enseñanza del docente, los logros de aprendizaje estipulados para el estudiante y la evaluación del proceso.

6. CONCLUSIONES

El diseño de la estrategia didáctica a partir de tres módulos de aprendizaje basados en el modelo 3P del alineamiento constructivo de Biggs (2006), favoreció el aprendizaje de la fotocátalisis heterogénea, debido que al alinear los objetivos de enseñanza, las actividades a realizar y la evaluación, hizo que los estudiantes lograran un enfoque de aprendizaje profundo: esto es, el desarrollo del conocimiento declarativo, los cuales abordan la parte conceptual y disciplinar en química, y el conocimiento funcional, que le permitió a los estudiantes relacionar la técnica de fotocátalisis heterogénea con la importancia del tratamiento de aguas residuales; esto hizo que los estudiantes se apropiaran del conocimiento y lo aplicaran en un contexto. De otro lado, se evidencio la transición de los enfoques de aprendizaje

para cada estudiante durante el desarrollo de los módulos concluyendo que todos los estudiantes al finalizar la estrategia didáctica adoptaron un enfoque profundo de aprendizaje, sin embargo, se observaron algunos descensos en los niveles de complejidad: esto es de lo abstracto a lo relacional, por lo que el aprendizaje no solo depende del rol docente, sino que están inmersos factores propios del estudiante y del contexto del aula.

Por otra parte, se caracterizó el proceso de aprendizaje de los estudiantes de acuerdo con el nivel de complejidad de aprendizaje propuesto por Biggs (2006), por medio de la taxonomía SOLO; y a partir de las actividades elaboradas por cada estudiante se evidenció el nivel de aprendizaje adoptado. Esta forma de evaluación permitió observar la estructuración y articulación de las actividades presentadas por cada estudiante, a medida que transcurrían las fases del modelo 3P; donde al final de la estrategia didáctica (módulo 3) prevaleció el enfoque de aprendizaje profundo.

Finalmente, este trabajo incita a la investigación sobre la enseñanza de las técnicas avanzadas de tratamiento de aguas, dado que las investigaciones actuales sobre estas se enfocan en los aspectos disciplinar y tecnológico dejando de lado el aspecto didáctico, es decir la enseñanza. Por lo tanto, se deben generar investigaciones que den cuenta de nuevas formas de enseñanza en donde prevalezca los aspectos del estudiante como los conocimientos previos, estilos de aprendizaje, enfoques de aprendizaje y componentes socioemocionales; y los aspectos del docente como currículo, estilos de enseñanza, evaluación y planeación para fortalecer los procesos de enseñanza-aprendizaje en ciencias y ampliar la investigación respecto al diseño de estrategias de enseñanza en estas temáticas.

7. RECOMENDACIONES

Debido a la situación de contingencia de pandemia que se está viviendo actualmente por el Covid-19, las actividades se diseñaron de una forma remota por lo que se recomienda para próximas investigaciones tener una planeación curricular con un componente experimental debido a que esto permitiría un mayor aprendizaje en los estudiantes al aplicar el conocimiento que se desarrolla en las intervenciones en un aspecto práctico.

Al igual, temas como la fotocatalisis heterogénea deben ser implementadas en el currículo licenciatura en química ya que permite tener un abordaje más amplio respecto a temas de profundización en el área de química y de igual forma permite llevar el conocimiento a la práctica y al desarrollo de investigación.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Arango, L. F. & Barrera, N. W. (2017). Alineamiento constructivo para la enseñanza de las leyes de los gases por medio de la resolución de problemas. Enseñanza de las ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas, N.º Extra-0, (Ejemplar dedicado a: X Congreso Internacional sobre Investigación en Didácticas de las Ciencias (Sevilla, 5-8 de septiembre de 2017)), 3913-3918.
- Biggs, J. (2006). Calidad del aprendizaje universitario. Madrid, España: Narcea, S.A.
- Cabrera, C. (2005). Evaluación, constructivismo y metacognición. Aproximaciones teórico-prácticas. *Horizontes Educativos*. 10, 27-35. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/979/97917573003.pdf>
- Campanario, J., Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las ciencias*, 17(2), 179-192. Recuperado de <https://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/21572/21406>
- Carbajo, J. (2013). Aplicación de la fotocatalisis solar a la degradación de contaminantes orgánicos en fase acuosa con catalizadores nanoestructurados de TiO₂. (Tesis Doctoral). Instituto de Catálisis y Petroleoquímica. Madrid, España.
- Cárdenas, Fidel. A. (2006). Dificultades de aprendizaje en química: caracterización y búsqueda de alternativas para superarlas. *Ciencia & Educación (Bauru)*. 12(3), 333-346. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=251019510007>
- Carrascosa-Alís, J., y Domínguez-Sales, C. (2017). Problemas que dificultan una mejor utilización de la Didáctica de las Ciencias en la Formación del Profesorado y en la Enseñanza Secundaria. *Revista Científica*, 30 (3), 167-180. Doi: <https://doi.org/10.14483/23448350.12289>.
- Cinvestav y Rotoplas. (2019). Rotoplas y cinvestav-ipn ponen en marcha la primera planta de saneamiento para el canal de chalco. Recuperado de <https://www.notimx.mx/2019/10/rotoplas-y-cinvestav-ipn-ponen-en.html>
- Difabio, H. (2010). La Taxonomía SOLO en la evaluación de la producción escrita académica. Mendoza, Argentina: Centro de Investigaciones Cuyo, Conicet.
- Fasce, E. (2007). Aprendizaje profundo y superficial. *Revista Educación, Ciencia, Salud* 4 (1): 7-8. Recuperado de <http://www2.udec.cl/ofem/recs/anteriores/vol412007/esq41.htm>
- Foronda, J.M. y Foronda, C.L (2007). La evaluación en el proceso de aprendizaje. perspectivas, (19), 15-30.
- Frank, S.N. & Bard, A.J. (1977). Heterogeneous photocatalytic oxidation of cyanide ion in aqueous solutions at titanium dioxide powder. *Journal of the American Chemical Society*. 99 (1), 303-304.
- Fujishima, A. & Honda. (1972). TiO₂ photo electrochemistry and photocatalysis. Department of Applied Chemistry, School of Engineering, The University of Tokyo. Recuperado de <https://www.electrochem.org/dl/ma/203/pdfs/2729.pdf>

- Garcés, L; Mejía, E y Santamaría, J. (2004). La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de investigación*. 1(1), 83-92
- González, (2010). *Estrategia didáctica apoyada en el modelo de aprendizaje por investigación en relación con el concepto fotocatalisis* (tesis de pregrado). Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia.
- Guarín, C.Y., Mera, A.C. (2011). Fotocatalisis heterogénea con TiO_2 para el tratamiento de desechos líquidos con presencia del indicador verde de bromocresol. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 10 (19), 79-88. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/750/75022317007.pdf>
- Ibhadon, A.O., Fitzpatrick. P. (2013). Heterogeneous Photocatalysis: Recent Advances and Applications. *Journal catalysis*, 3(10), 189 – 2018. Recuperado de <https://www.mdpi.com/2073-4344/3/1/189>
- Izquierdo, M.F. (2016). Fotocatalisis: nanomateriales para combatir la contaminación y obtener energía *Bol. Grupo Español Carbón*. 41. Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (ICP- CSIC)
- Ljubas, D.; Smoljanić, G. & Juretić, H. (2015). Degradation of Methyl Orange and Congo Red dyes by using TiO_2 nanoparticles activated by the solar and the solar-like radiation. *Journal of Environmental Management*, 161, 83–91.
- Madriz, L., Parra, M., Vargas, R., Scharifker, B., Núñez, O., Carvajal, D. (2016). Fotocatalisis heterogénea bajo luz solar basada en TiO_2 y Bi_2WO_6 : Aplicaciones ambientales. *Revista de la Universidad del Zulia 3ª época Ciencias Exactas, Naturales y de la Salud*. 7(18), 11-54.
- Manrique, L; Laguna, E; Osorio, D; Serna, E; Torres, R. (2017). Tratamiento de aguas contaminadas con colorantes mediante fotocatalisis con TiO_2 usando luz artificial y solar. *Producción + limpia*. 12 (2), 50-60. Recuperado de <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/1542/1551>
- Martínez, R. (2010). La importancia de la educación ambiental ante la problemática actual *Revista Electrónica Educare*, 14(1), 97-11. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1941/194114419010.pdf>
- Monje, C. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa guía didáctica*. Neiva, Colombia.
- Neira, L., Nemequén, W y Soler, M. (2016). Alineamiento constructivo y cambio conceptual para la enseñanza de los estados de agregación de la materia. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis: TED*. Número Extraordinario. ISSN Impreso: 0121-3814.307-315.
- Nora, C.I. (2015). “Estudio de las propiedades del TiO_2 modificado como soporte de reacciones catalíticas. Tesis de doctor en ciencia y tecnología de los materiales,

- Argentina, Recuperado de:
http://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/123456789/2546/1/tesis_Morgade.pdf
- Rengifo, B., Quitiaquez, L., Mora, F. (2012). La educación ambiental una estrategia pedagógica que contribuye a la solución de la problemática ambiental en Colombia. XII Coloquio de Geocrítica. Recuperado de <http://www.ub.edu/geocrit/coloquio2012/actas/06-B-Rengifo.pdf>
- Resolución 631 (2015). Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Recuperado de https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MADS_0631_2015.pdf
- Rodríguez, W., Fernández, F. (2018). Uso de la taxonomía SOLO en situaciones de muestreo: un ejemplo de aplicación. *Didáctica de las matemáticas*. 98, 105-116.
- Rosario, P., Núñez, J.C., González, J.A., Almeida, L., Soares. S., Rubio, M. (2005). El aprendizaje escolar examinado desde la perspectiva del «Modelo 3P» de J. Biggs. *Psicothema* 17(1), 20-30.
- Rubiano, D y Quintero, V. (2016). Estrategia metodológica de enseñanza desde la historia y epistemología de la química de las propiedades periódicas, a través de la experimentación bajo el alineamiento constructivo. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis: TED*. Número Extraordinario. ISSN Impreso: 0121-3814. 372-381
- Sahel, K; Perol, N; Dappozze, F.; Bouhent, M.; Derriche, Z. & Guillard, C. (2010). Photocatalytic degradation of a mixture of two anionic dyes: Procion Red MX-5B and Remazol Black 5 (RB5). *Journal of Photochemistry and Photobiology A; Chemistry*, 212 (2-3). 107-112.
- Sarzoza, (2013). Aprendizaje desde la perspectiva del estudiante: Modelo Teórico de la Enseñanza y Aprendizaje 3P. *Acción Pedagógica*, (22). 114-121
- Segura, L.E. (2007). Estudio de antecedentes sobre la contaminación hídrica en Colombia. Escuela superior de administración pública ESAP. Bogotá D.C. Recuperado de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/estudio%20de%20antecedentes%20sobre%20la%20contaminaci%C3%B3n%20h%C3%ADdrica.pdf>
- Sepúlveda, A. y Delgado, H. (2007). Cuánto aprenden los estudiantes de colegios públicos y privados. *REXE Revista de Estudios y Experiencias en Educación*, (12), 73-90.
- Soler, M. G., Cárdenas F. A., Hernández, F. y Monroy, F. (2017). Enfoques de aprendizaje y enfoques de enseñanza: origen y evolución. *Educ*, 20(1), 65-88. DOI: 10.5294/edu.2017.20.1.4.
- Soler, M.; Cristancho, R y Serrano, J. (2016) Estudio de estructuras artificiales: actividad tecnológica escolar por resolución de problemas y alineamiento constructivo. Universidad nacional de la plata. *Revista Iberoamericana de Educación en Tecnología y Tecnología en Educación*.18, 60-70.

- Soler, M.G. (2014). El constructo enfoques de aprendizaje: un análisis bibliométrico de las publicaciones en español en los últimos 20 años. *Revista Colombiana de Educación*. 66, 127-148.
- Soler, M.G. (2015). Enfoques de enseñanza y enfoques de aprendizaje: posibles relaciones entre sí y con el logro académico de los estudiantes en evaluaciones externas (Tesis de Doctoral) Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia.
- Soler, M.G. (2016). La enseñanza de las ciencias desde los principios del alineamiento constructivo. Bogotá, Colombia. Biblioteca Central de la Universidad Pedagógica Nacional.
- Soler, M.G., Cardenas, F.A., Hernandez, F. (2018). Enfoques de enseñanza y enfoques de aprendizaje: perspectivas teóricas promisorias para el desarrollo de investigaciones en educación en ciencias. *Ciência & Educação*. 24 (4).
- Soler, M.G., Cárdenas, F.A., Hernández, F. (2018). Enfoques de enseñanza y enfoques de aprendizaje: perspectivas teóricas promisorias para el desarrollo de investigaciones en educación en ciencias. *Ciênc. Educ., Bauru*. 24 (4), 993-1012. Retomado de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132018000400993
- Universidad Politécnica de Madrid. (2019). Un tratamiento con impresión 3D para eliminar los contaminantes de las aguas residuales. Recuperado de <https://innovadores.larazon.es/es/not/un-nuevo-tratamiento-con-3d-para-eliminar-contaminantes-de-aguas-residuales>

9. ANEXOS

ANEXO 1. PÁGINA WEB

PÁGINA PRINCIPAL:

<https://fotocatalisis2020.wixsite.com/trabajodegrado>

The screenshot shows the homepage of a website titled "FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA" by Fernanda Arango, Nelson Barrera, and Catalina Cruz, dated 2020. The header features a navigation menu with links for "Página principal", "Módulo 1", "Módulo 2", "Módulo 3", "Presentaciones", and "More". Below the header, there is a "BIENVENIDOS" section with a small image of laboratory glassware and a text block. The text block contains a welcome message in Spanish, mentioning the author's participation in a national pedagogical work and the website's purpose as a resource for teaching and learning about heterogeneous photocatalysis. At the bottom right of the page, there is a button labeled "Guía del estudiante".

MODULO 1

<https://fotocatalisis2020.wixsite.com/trabajodegrado/modulo-1>

The screenshot shows the "Introducción" page of Module 1. It contains two paragraphs of text and a flowchart. The first paragraph explains the purpose of the module: to introduce the concept of heterogeneous photocatalysis as an advanced water treatment technique. The second paragraph discusses the importance of water quality and the role of photocatalysis in addressing environmental issues. The flowchart, titled "OXIDACIÓN FOTOCATALÍTICA", describes the process: it is an oxidative process for degrading organic contaminants, initiated by natural or artificial ultraviolet light. This leads to the excitation of electrons in a semiconductor catalyst, which then undergoes oxidation-reduction processes, forming electron-hole pairs. These pairs lead to the release of free hydroxyl radicals, which oxidize the contaminants.

Introducción

Con este módulo se pretende introducir el concepto de fotocatalisis heterogénea; como técnica avanzada de tratamiento de aguas, la cual permite remover diferentes contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en aguas residuales, los cuales serán mencionados en este módulo. Sin embargo, se profundizará en los colorantes artificiales que son vertidos en las fuentes hídricas y no son removidos fácilmente por tratamientos primarios o secundarios, debido a la alta solubilidad con el agua. Por tanto, es necesario resaltar la importancia de la fotocatalisis heterogénea en el tratamiento de aguas residuales.

Por otro lado, es importante introducir el concepto de agua residual doméstica e industrial, con el fin de conceptualizar a los estudiantes acerca de los tipos de agua que actualmente están siendo contaminadas con diferentes sustancias químicas, las cuales alteran negativamente las propiedades fisicoquímicas del agua y generan un impacto ambiental a la hidrosfera. Razón por la cual es necesario educar ambientalmente a los estudiantes, desde el conocimiento científico para así, proponer alternativas y/o soluciones a las problemáticas actuales que involucran la salud y la vida, generando una conciencia ambiental que fomenta el cuidado y la preservación del agua, como recurso indispensable para la vida.

Lectura inicial

OXIDACIÓN FOTOCATALÍTICA

Es un proceso oxidativo que permite la degradación de contaminantes y/o materia orgánica

NATURAL ← Acción de luz ultravioleta → ARTIFICIAL

Excitación de los electrones de un semiconductor, que actúa como catalizador

Procesos de oxido – reducción Formación pares electrón - hueco

Liberación radicales libres hidroxilo
R.L. oxidan los contaminantes

Actividad

1. A partir de la lectura inicial, propuesta anteriormente, realice un diagrama (mapa mental, mapa conceptual, etc) donde relacione los siguientes conceptos:

- Fotocatálisis heterogénea y su fundamento fisicoquímico.
- Tratamiento
- Aguas residuales
- Contaminantes
- Tipos de contaminantes
- Importancia de la fotocatálisis heterogénea

2. A partir del video de aguas residuales, explique cuál es el impacto del vertimiento de aguas residuales con presencia de colorantes a efluentes hídricos y relaciónelo con la importancia de realizar un tratamiento previo con una técnica avanzada de remoción de sustancias contaminantes como lo es la fotocatálisis heterogénea.

Nota: Ver videos para profundizar en las temáticas.

Videos de apoyo

Aguas residuales

Contaminación del agua

Cuidado del agua

MÓDULO 2

<https://fotocatalisis2020.wixsite.com/trabajodegrado/modulo-2>

Objetivo

En este módulo se espera que el estudiante logre analizar e interpretar los fundamentos teóricos de la fotocatálisis heterogénea identificando los procesos que están involucrados en esta técnica oxidativa para la remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en aguas residuales. Es así, que en el módulo N°2 se trabajarán los siguientes conceptos mediante tres videos.

VIDEO N° 1	VIDEO N° 2	VIDEO N° 3
<ul style="list-style-type: none"> • Conceptualización de Fotocatálisis heterogénea y su diferencia con fotocatálisis homogénea. • Fundamento de catálisis e importancia de los catalizadores. • Fundamento de radicales libres OH (Desde potenciales redox)-Reacción de oxidación reducción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Teoría de bandas • Banda de valencia y conducción • Conductividad • Semiconductores • Mecanismo de reacción en el proceso fotocatalítico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reacciones involucradas en el proceso de fotocatálisis. • Luz ultravioleta en la fotocatálisis. • Dióxido de titanio como catalizador en el proceso fotocatalítico. • Ventajas de las técnicas de remoción avanzada.
Video N° 1	Video N° 2	Video N° 3



Actividad

Realizar el taller y enviarlo al correo fotocatalisis2020@gmail.com

Taller Modulo N°2

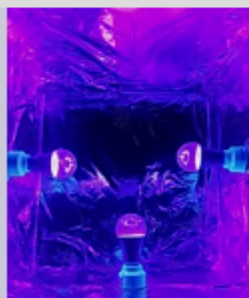
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL ECUADOR

MODULO 3

<https://fotocatalisis2020.wixsite.com/trabajodegrado/modulo-3>

Práctica experimental: remoción de colorantes

En el módulo 3 se llevara a cabo la etapa final de este proyecto. Se pretenden evaluar los conocimientos y habilidades que el estudiante adquirió durante este proceso de enseñanza-aprendizaje, donde se relaciona lo ambiental, disciplinar y social, teniendo en cuenta la capacidad de proponer soluciones a problemáticas actuales que afectan el medio ambiente y por tanto la vida. De esta manera, este módulo cuenta con las siguientes herramientas:



Un video con el cual se explica el funcionamiento de un fotocatalizador para llevar a cabo el proceso de remoción de colorantes y algunas generalidades de este.





Lectura para profundizar en la técnica de fotocatalisis heterogénea.



Guia de laboratorio con datos experimentales, para analizar la remoción del colorante.



Parámetros para la entrega del informe:

1. Realizar todos los cálculos pertinentes.
2. Realizar tablas para registrar los resultados.
3. Realizar gráficas.
5. Responder las preguntas.
5. Conclusiones.



OH

ANEXO 2. TEST DE INTRODUCTORIO.



Apreciados estudiantes del Énfasis Disciplinar I de la Universidad Pedagógica Nacional

Gracias por participar en el trabajo de grado titulado

“IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO 3P DEL ALINEAMIENTO CONSTRUCTIVO PARA LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA DESDE UN ENFOQUE AMBIENTAL”.

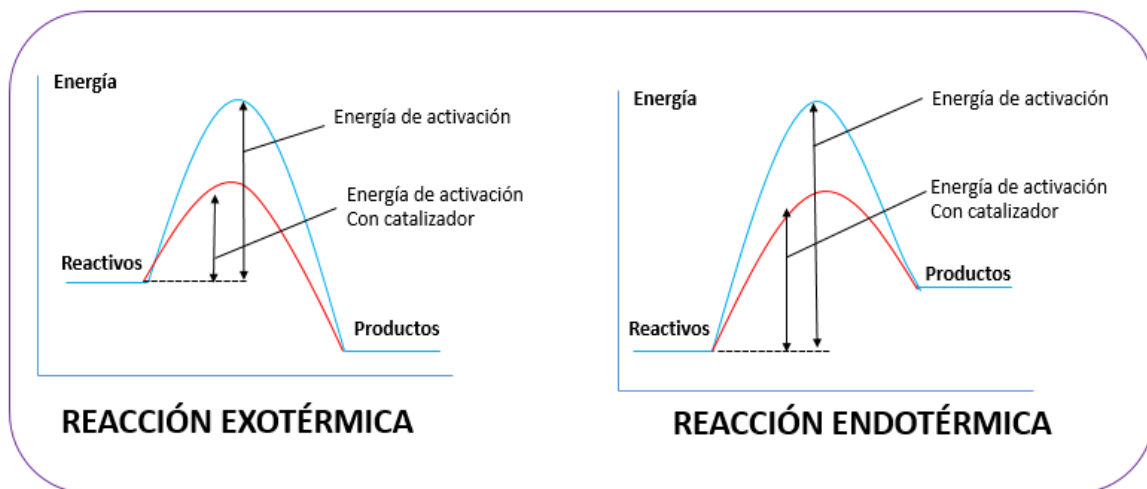
Lina Fernanda Arango, Nelson Barrera y Catalina cruz

Directora: Dora Luz Gómez

El presente test tiene como finalidad identificar qué conocimientos tiene usted como estudiante del Énfasis disciplinar I (período 2020-1) de la Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional frente a la temática de fotocatalisis heterogénea, por lo que a continuación se presentan una serie de preguntas con única respuesta. Los datos obtenidos serán usados con fines investigativos como aporte para el trabajo de grado. Por favor conteste a consciencia de acuerdo con los conocimientos que ha adquirido en el transcurso de la carrera. Muchas gracias por su colaboración.

PREGUNTAS

1. Para llevar a cabo una reacción química se requiere la participación de una o más sustancias denominadas reactantes, las cuales se someten a un proceso de transformación organizacional en sus átomos, debido a un cambio energético. Para que dicha organización se produzca, es necesario que se alcance un punto máximo de energía, denominado energía de activación (gráfica No. 1). Sin embargo, en algunas reacciones la energía de activación puede alcanzar rangos bajos o altos dependiendo de la naturaleza de los reactantes.



Gráfica No. 1. Energía de activación, Fuente: propia.

A partir de la información anterior y la gráfica No. 1 es claro afirmar que:

- A. Las reacciones químicas se llevan a cabo cuando los reactantes consiguen la energía suficiente para romper los enlaces ya preexistentes en estas sustancias (energía de activación). Cabe la posibilidad que la reacción sea exotérmica o endotérmica, para lo cual, la primera se da cuando la energía de los productos es mayor que la energía de los reactivos y se genera una liberación de ésta en forma de calor o luz
- B. Un catalizador es una sustancia que interviene en una reacción, modificando la energía de activación, la cual es la energía mínima que necesita un sistema para que se pueda generar una reacción química, dando paso así a la formación de nuevos enlaces y por tanto de productos. Los catalizadores aumentan esta energía de activación y así generar que la reacción se de en menor tiempo.
- C. Al representar una reacción química, la línea azul de la gráfica 1 pertenece a una reacción estándar, es decir, sin ningún tipo de sustancia o variable que afecte la energía de activación y la velocidad de reacción, por lo que la línea roja comprende que se adiciona un agente externo denominado catalizador, que modifica la energía de activación y por ende su velocidad de reacción; sin alterar la estructura de los productos

2. Los procesos de oxidación avanzada han surgido como una técnica con capacidad potencial para llevar a cabo una mineralización de los contaminantes orgánicos y oxidación de los compuestos inorgánicos presentes en aguas residuales hasta dióxido de carbono y iones (cloruros, nitratos) (Garcés, Mejía y Santamaría, 2004). Este método consiste en la oxidación de la materia orgánica por medio de radicales libres, los cuales se liberan por la acción de la luz ultravioleta (natural o artificial) y la presencia de un catalizador de tipo semiconductor; lo cual genera la mineralización del contaminante orgánico e inorgánico. Este proceso es conocido como fotocatalisis.

De lo anterior se puede definir la fotocatalisis como:

- A. Un proceso de oxidación avanzada que requiere radiación ultravioleta y catalizadores para producir de radicales libres los cuales se encargan de degradar los contaminantes del agua, produciendo dióxido de carbono.
- B. Un proceso de oxidación avanzada que a partir del dióxido de carbono y los iones cloruro y nitrato producen radicales libres, los cuales mineralizan la materia orgánica en presencia de radiación ultravioleta.
- C. Un proceso de oxidación avanzada que produce sustancias catalizadoras, las cuales se encargan de remover contaminantes orgánicos e inorgánicos del agua residual.

3. Los radicales libres son especies químicas, que son capaces de existir independientemente, es decir, que contienen en su capa electrónica más externa uno o más electrones no apareados, los cuales se encuentran solos en un orbital (Korc, Bidegain, Martell, 2000), estos se representan con un signo menos en la parte superior, indicando los electrones no apareados. Adicionalmente los radicales libres son muy reactivos y tienen una vida media corta, por lo que actúan cercano al sitio en que se forman con el propósito de aparear su electrón (Venéreo, 2002). Dada la información anterior, ¿Cuál de las siguientes sustancias son radicales libres?

- A. $[\text{OH}]^-$ dado que es muy reactivo, por tener un electrón apareado en su capa electrónica más externa, razón por la cual tiene una vida media corta.
- B. $[\text{OH}]^-$ dado que tiene un electrón no apareado, el cual se encuentra en su capa electrónica más externa, razón por la cual tiene una vida media corta.
- C. $[\text{OH}]^-$ dado que tiene un electrón no apareado, que se encuentra en su capa más externa, razón por la cual tiene una vida media alta.

4. La mayoría de los metales al estar en contacto con el oxígeno del aire a temperatura ambiente reaccionan produciendo un cambio químico. Esta reacción bajo las condiciones antes mencionadas es termodinámicamente favorable, solo inhibido por alguna sustancia o material que evite la corrosión del metal. (Askeland y Phulé 2004). Por ende, es correcto deducir que:

- A. La reacción que se presenta entre el oxígeno y los metales es una oxidación, en la cual se forman óxidos de cada metal dependiendo el número de electrones que pueda ceder el metal y las condiciones en las que se lleve a cabo la reacción.
- B. En un proceso oxidativo, el oxígeno gana electrones cuando se encuentra en contacto con el metal, produciendo así una reducción, donde el metal aumenta su número de oxidación y por ende se produce una reacción química.

C. La reacción que se presenta entre el oxígeno y los metales es una reducción, en la cual se forman óxidos y sales de cada metal dependiendo del número de electrones que puedan ser cedidos por el oxígeno.

5. La teoría de bandas permite entender el fenómeno de conductividad eléctrica y térmica de diferentes materiales. Para ello es importante tener claro que un átomo de tipo conductor, semiconductor o aislante posee una banda de valencia (BV) y banda de conducción (BC) como se observa en la gráfica No. 2; en la BV se encuentran los electrones en el nivel energético más externo y en la BC se encuentran los electrones que han sido excitados, es decir, promovidos de la BV a la BC, lo que da lugar a su mayor movilidad y facilitan la conducción (Hamza,2015). No obstante, es importante tener en cuenta que los conductores presentan mayor conducción dado que la BV y la BC están más próximas.

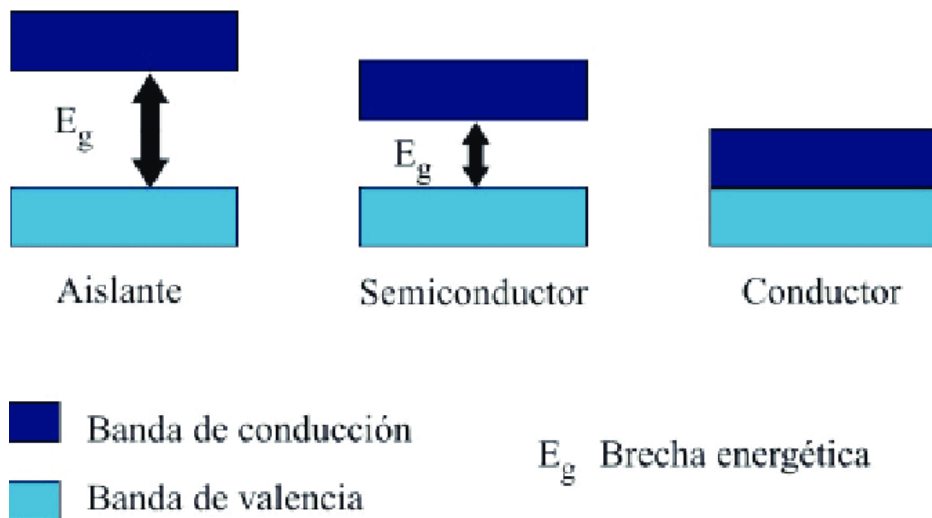


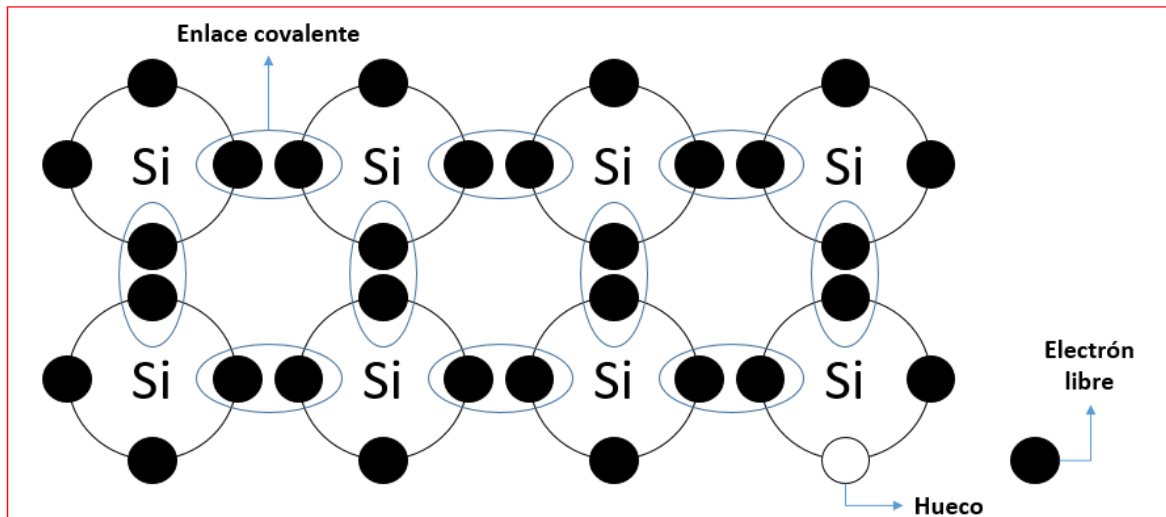
Gráfico No. 2. Banda de valencia y banda de conducción. Fuente: Arias (2007)

Con la información anterior y la gráfica es correcto afirmar que

- A. Entre más próximas se encuentren las bandas de conducción y de valencia, es más difícil que se exciten los electrones y pasen a la banda de conducción. Lo cual facilita la movilidad de electrones.
- B. Entre más próximas se encuentren las bandas de conducción y de valencia, es más fácil que se exciten los electrones y pasen a la banda de conducción. Lo cual dificulta la movilidad de electrones.
- C. Entre más próximas se encuentren las bandas de conducción y de valencia, es más fácil que se exciten los electrones y pasen a la banda de conducción. Lo cual facilita la movilidad de electrones.

6. El silicio (Si) es un material de tipo semiconductor, que en su orbital externo posee cuatro electrones de valencia, los cuales forman una red cristalina; en la que cada átomo comparte sus cuatro electrones de valencia con otros cuatro átomos

vecinos, formando enlaces covalentes. A temperatura ambiente, estos electrones de valencia absorben suficiente energía calorífica para librarse del enlace covalente y moverse a través de la red cristalina, convirtiéndose en electrones libres. Cuando un electrón libre abandona el átomo del cristal de silicio y se transfiere de la banda de valencia a la banda de conducción, deja en la red cristalina un hueco; lo que provocaría una carga positiva, dado que busca atraer otro electrón para ocupar dicho hueco (Gráfica No. 3) (Electrotecnia, 2001).



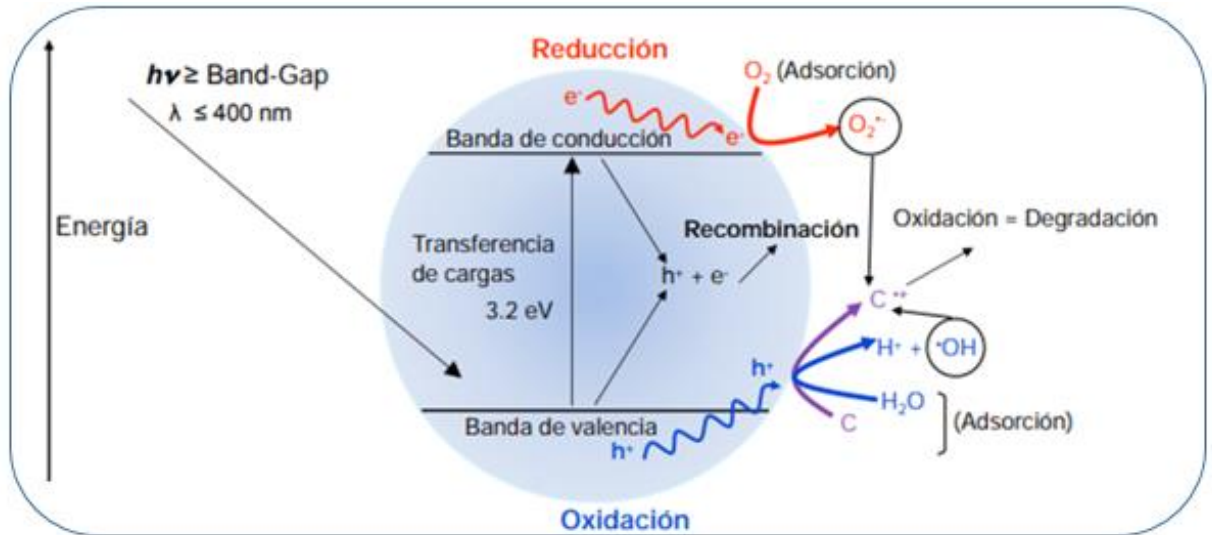
Gráfica No. 3. Formación de pares electrón - hueco. Fuente propia.

De la información anterior y la gráfica No. 3 se puede deducir que el comportamiento eléctrico de un semiconductor se caracteriza por:

- A. La formación de pares electrón - hueco, donde el electrón es transferido a la banda de conducción y además el hueco, con carga positiva queda en la red cristalina, buscando atraer un electrón que ocupe su espacio.
- B. La formación de pares electrón - hueco, donde el electrón es transferido a la banda de valencia y además el hueco, con carga positiva queda en la red cristalina, buscando atraer un electrón que ocupe su espacio.
- C. La formación de pares electrón - hueco, donde el electrón es transferido a la banda de conducción y además el hueco, con carga negativa queda en la red cristalina, buscando liberar el electrón que lo ocupa.

7. El sol emite tres tipos de radiación: radiación infrarroja (IR), luz visible (UVis) y radiación ultravioleta (UV); esta última posee una longitud de onda de aproximadamente 400 nanómetros (Cañarte, 2010) y es la encargada de llevar a cabo el proceso de fotocatalisis, que consiste en remover contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en agua.

Para llevar a cabo el proceso fotocatalítico, se debe adicionar un catalizador de tipo semiconductor, el cual absorbe suficiente radiación UV para liberar un electrón y formar un hueco (h^+) en su red cristalina. El hueco (h^+) se encarga de producir el radical hidroxilo $[OH]^-$ el cual degrada los contaminantes. En la gráfica No. 4 se puede observar el mecanismo.



Gráfica No. 4. Mecanismo de fotocatalisis heterogénea

A partir de la información y la gráfica No. 4 se puede deducir que:

- A. La energía proporcionada por la radiación UV deber ser mayor o igual a 400 nanómetros, para formar el hueco (h^+) y llevar a cabo la formación del radical hidroxilo $[OH]^-$, que es el encargado de oxidar los contaminantes presentes en el agua.
- B. La energía proporcionada por la radiación UV deber ser menor o igual a 400 nanómetros, para formar el hueco (h^+) y llevar a cabo la formación del radical hidroxilo $[OH]^-$, que es el encargado de oxidar los contaminantes presentes en el agua.
- C. La energía proporcionada por la radiación UV deber ser mayor o igual a 400 nanómetros, para liberar el (e^-), el cual es transferido a la banda de conducción y es el encargado de oxidar los contaminantes presentes en el agua.

8. El agua es un recurso natural indispensable para el desarrollo de la vida en la tierra, razón por la cual, es utilizada en diferentes actividades cotidianas. A causa de ello, en las últimas décadas, la calidad del agua se ha visto afectada negativamente por actividades antropogénicas, las cuales generan alta contaminación en el recurso más importante para la humanidad, considerándose así una problemática ambiental. Por tanto, de acuerdo con la procedencia de los contaminantes presentes en el agua, esta se puede clasificar como: agua residual

doméstica (aguas contaminadas con agentes orgánicos, especialmente materia orgánica, generados en hogares e industrias de tipo comercial) y aguas residuales industriales (aguas contaminadas con colorantes, metales pesados, plaguicidas, entre otros). Se puede afirmar que:

- I. La industria textil, comprende una de las mayores tasas de contaminación en aguas residuales, esto debido a que los colorantes poseen grupos funcionales que son altamente solubles en agua, lo que hace que su remoción sea difícil y costosa.
- II. Las aguas residuales domésticas poseen alto contenido de Sólidos Suspendidos totales, dado el uso de plaguicidas y detergentes en los hogares.
- III. Los metales pesados son contaminantes tóxicos, que se encuentran mayoritariamente en aguas residuales industriales.
- IV. En la industria del petróleo se generan contaminantes orgánicos e inorgánicos, incluyendo materia orgánica, lo cual genera agua residual de tipo doméstica.

Cuáles enunciados son correctos:

- A. I y II
- B. IV y III
- C. I y III

Bibliografía

- Arias, E. (2007). Relación estructura – luminiscencia en aductos de condensación aldólica. Ingenierías 34. Tomado de https://www.researchgate.net/figure/Bandas-de-valencia-y-de-conduccion_fig2_316552452
- Askeland D. R., Phulé P. P. (2004) Ciencia e ingeniería de los materiales. México. Internacional Thomson Editores S.A. de C.V.
- Benavidez. H. (2010). Información técnica sobre la radiación ultravioleta, el índice UV y su pronóstico. Documento técnico de respaldo a la información en la página web del IDEAM. Recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022454/NotatecnicalUVPaginaWEBfinal.pdf>
- Cañarte. K. (2010). Radiación ultravioleta y su efecto en la salud. Ciencia UNEMI.
- Electrotecnia (2001). Semiconductores. Recuperado de <http://www.etitudela.com/Electrotecnia/electronica/01d56993840f26d07/01d56994e30f40632/index.html>

- Garcés, L; Mejía, E y Santamaría, J. (2004). La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Revista Lasallista de investigación. 1(1), 83-92
- Hamza. M. (2015). Energy Band Theory & Classification of Solids. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/286862888_Energy_Band_Theory_Classification_of_Solids
- Icfes (2018). Cuadernillo de preguntas saber 11°, prueba de ciencias naturales.
- Korc. I, Bidegain. M, Martell. M. (2000). Radicales libres. bioquímica y sistemas antioxidantes, implicancia en la patología neonatal. Revista Médica del Uruguay 11(2), 121-135.
- Venéreo, J (2002). Daño Oxidativo, radicales libres y antioxidantes. Revista Cubana de Medicina Militar. 31(2), 126-133.

ANEXO 3. TALLER PROPUESTO PARA EL MÓDULO 2.



Apreciados estudiantes del Énfasis Disciplinar I de la Universidad Pedagógica Nacional

Gracias por participar en el trabajo de grado titulado

“IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO 3P DEL ALINEAMIENTO CONSTRUCTIVO PARA LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA DESDE UN ENFOQUE AMBIENTAL”.

Lina Fernanda Arango, Nelson Barrera y Catalina cruz

Directora: Dora Luz Gómez

TALLER MÓDULO N° 2

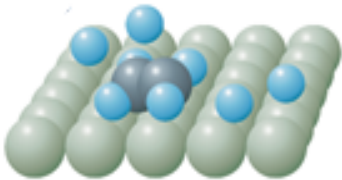


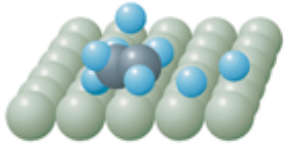
1. ¿Qué son los procesos de oxidación avanzada y en qué consisten dichos procesos?
2. Se tienen dos métodos para la descontaminación de aguas residuales: el primero es por medio de una fotocatalisis heterogénea, en el cual se ve que hay una remoción del 95% del contaminante, el segundo se realiza con carbón activado y se observa que el porcentaje de remoción para este tratamiento fue de 98% pero posteriormente se debe hacer un post tratamiento para obtener el contaminante de interés. Según la anterior información y la presente tabla.

Técnica	Porcentaje de remoción (%)	Tiempo de tratamiento (h)	Tiempo postratamiento (h)
Fotocatálisis heterogénea	95	1	0
Carbón activado	98	1	1

¿Cuál de las dos técnicas escogería para una planta de tratamiento de aguas residuales teniendo en cuenta el costo del proceso, el tiempo que requiere el proceso y el porcentaje de eficiencia?

3. Complete el siguiente cuadro, tenga en cuenta que son las fases de una catálisis heterogénea

a. Adsorción b. Activación c. Reacción d. Desorción

Ilustración	Descripción del proceso	Fase
		
		
		
		

Fuente de las imágenes: Joseleg, (2013). Catálisis heterogénea. Ciencia. Paperblog. <https://es.paperblog.com/catalisis-heterogenea-1926248/>

4. Existen varias sustancias que poseen un gran poder oxidante y pueden generar cambios químicos en la materia al agregar oxígeno en su estructura. Unos de los más utilizados en el laboratorio son el permanganato de potasio y el peróxido de hidrógeno. ¿Cuál de los dos es el agente oxidante más fuerte? Justifique su respuesta.
5. La fotocatalisis heterogénea es una técnica de tratamiento de aguas, la técnica se basa en la formación de radicales libres *OH por medio de la incidencia de luz UVA en un semiconductor que funciona como catalizador de la reacción, en este caso es el dióxido de titanio. El radical libre formado comienza un proceso de degradación de la materia orgánica hasta la mineralización de ésta, es decir, pasa de materia orgánica a materia inorgánica por una reacción de oxidación

¿Por qué el radical *OH puede generar la mineralización en la materia orgánica? Justifique su respuesta

6. En un párrafo de no más de 5 renglones defina que es un semiconductor relacionando los siguientes conceptos:
 - banda de valencia
 - banda de conducción
 - electrones de valencia
 - electrones de conducción
 - banda prohibida
7. Realice un cuadro comparativo donde relacione las diferencias entre un conductor, semiconductor y un aislante, teniendo en cuenta la teoría de bandas.
8. Para llevar a cabo la fotocatalisis heterogénea es necesario emplear un catalizador a partir del cual se genera un par electrón-hueco. Explique cómo un diagrama se genera el par electrón-hueco y cómo se relaciona con la fotocatalisis heterogénea.
9. En la fotocatalisis heterogénea se genera un proceso denominado recombinación. Indique si la recombinación favorece o no el proceso de oxidación de contaminantes y justifique su respuesta.
10. Indique en dónde se genera la oxidación y la reducción:

Banda	¿Oxidación o reducción?	Explicación
Banda de valencia		
Banda de conducción		

11. Explique cuáles son las reacciones que se ven involucradas en el proceso de fotocátalisis heterogénea.
12. Realice un mapa conceptual donde incluya los siguientes componentes:
 - Características químicas y foto catalíticas del dióxido de titanio
 - Diferencia entre una sustancia catalizadora y una sustancia foto catalizadora.
 - ¿Por qué se usa el dióxido de titanio en del proceso de fotocátalisis heterogénea?
13. Mencione cuáles son las partes de un sistema fotocatalítico y cuál es la función de cada una de ellas.
14. Para evaluar la eficiencia del proceso de fotocátalisis heterogénea existen varios métodos de cuantificación, mencione cuales son y explique uno de ellos.

15. Complete la siguiente tabla:

	Agua Residual doméstica	Agua residual industrial
Características		
Sustancias contaminantes presentes		

Bibliografía

- Guarín, C, Mera, A, (2011). Fotocatálisis heterogénea con TiO_2 para el tratamiento de desechos líquidos con presencia del indicador verde de bromocresol. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. 10, (19), 79-88.
- KienyKe. Río Medellín: colorantes que lo contaminan pueden dar cáncer. Recuperado el 16 de mayo del 2020 de <https://www.kienyke.com/historias/rio-medellin-colorantes-que-lo-contaminan-pueden-dar-cancer-0>
- Joseleg, (2013). Catálisis heterogénea. Ciencia. Paperblog. <https://es.paperblog.com/catalisis-heterogenea-1926248/>
- Manrique, L; Laguna, E; Osorio, E; Serna, E; Torres, R. (2017). Tratamiento de aguas contaminadas con colorantes mediante fotocátalisis con TiO_2 usando luz artificial y solar. Producción + limpia. 12 (2), 50-60. Recuperado de <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/1542/155>

ANEXO 4. TALLER PRÁCTICO PROPUESTO PARA EL MÓDULO 3.



UNIVERSIDAD PEDAGOGICA
NACIONAL

**Apreciados estudiantes del Énfasis Disciplinar I de la Universidad
Pedagógica Nacional**

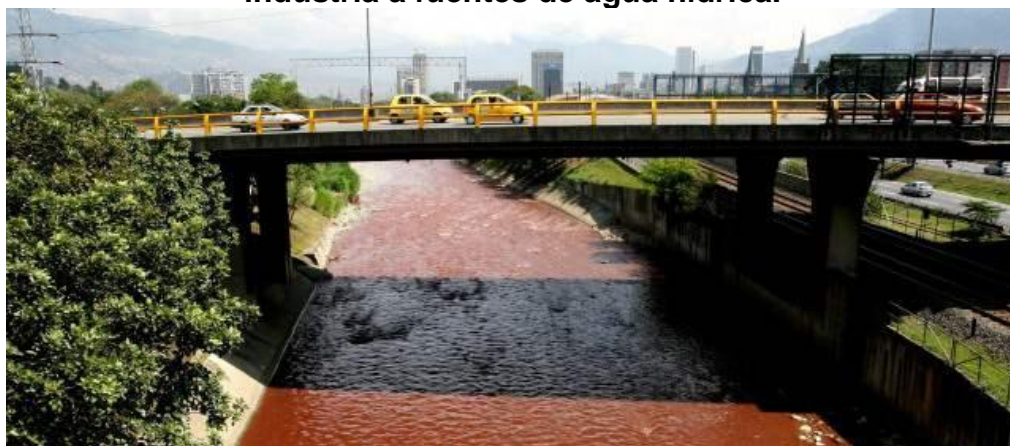
Gracias por participar en el trabajo de grado titulado
*“IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO 3P DEL ALINEAMIENTO CONSTRUCTIVO
PARA LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA
DESDE UN ENFOQUE AMBIENTAL”.*

Lina Fernanda Arango, Nelson Barrera y Catalina cruz

Directora: Dora Luz Gómez

PRÁCTICA DE LABORATORIO REMOCIÓN DE ROJO DE AZORRUBINA PRESENTE EN AGUA DEL RÍO MEDELLÍN

**Problemática ambiental del vertimiento de colorantes por parte de la
industria a fuentes de agua hídrica.**



Contaminación del Río Medellín por vertimiento de colorantes procedentes de industrias. Imagen Tomada de:

https://www.elcolombiano.com/historico/en_5_dias_van_tres_vertimientos_de_colorantes_al_rio_medellin-FCEC_255642

El río Medellín es un río colombiano que atraviesa la ciudad de Medellín y su área metropolitana de sur a norte, convirtiéndose en un eje integrador de la ciudad. Sin embargo, lamentablemente en los últimos años ha sufrido la coloración temporal de sus aguas y los responsables son los pequeños y grandes empresarios dedicados

a la producción de alimentos, textiles, curtiembres y tintas de impresoras, que vierten colorantes en esta importante fuente hídrica. En la actualidad, el río enfrenta un problema ambiental que incluso puede traer efectos negativos para la salud humana como el cáncer y defectos congénitos.

Es así como, la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (Corantioquia) explicó que la coloración en el río Medellín tiene dos orígenes: orgánico y químico. El orgánico es procedente de empresas que utilizan colorantes de origen vegetal para alimentos o colorantes biodegradables para otros sectores industriales, en este caso la afectación es baja sobre el recurso hídrico. La de origen químico es resultado de colorantes con metales pesados que se usan en empresas de textiles. Es importante resaltar que el tema del color no está regulado dentro de los parámetros de las normas de vertimiento (Decreto 1594 de 1984). No establece un valor máximo o mínimo para este parámetro. Las sustancias vertidas en el río Medellín pueden afectar su biodiversidad. También reducen el oxígeno disuelto, varían el pH (acidez y basicidad) y perjudican la supervivencia de los seres vivos que habitan en sus aguas.

Fuente: KienyKe.com <https://www.kienyke.com/historias/rio-medellin-colorantes-que-lo-contaminan-pueden-dar-cancer-0>

Investigadores han identificado que uno de los colorantes que las industrias han vertido al cuerpo de agua del río Medellín es el rojo de azorrubina o rojo 3, el cual al tener grupos sulfónicos en su estructura hace que tenga una buena afinidad con el agua y por tanto su tratamiento sea de alto costo y con una gran duración. Los investigadores plantean que una técnica avanzada de tratamiento de aguas residuales que puede ayudar a la eliminación del colorante en esta fuente hídrica es la fotocatalisis heterogénea, por lo que proponen un ensayo para identificar si la técnica es viable o no en la eliminación de este colorante en el agua.

Para el desarrollo de esta técnica se utilizó un montaje de sistema fotocatalítico que consiste en un sistema cerrado con tres lámparas ultravioleta la cual cada una emite una longitud de onda 395 nm. El sistema fotocatalítico en su interior tiene un cubrimiento de papel aluminio que funciona como espejo reflectante para permitir así que las radiaciones UV emitidas por la lámpara logran concentrarse con mayor intensidad en el interior del reactor y favorezcan los procesos de oxidación de la sustancia contaminante y por ende el desarrollo de la fotocatalisis.

Metodología

1. Tratamiento de la muestra problema

En la metodología de la investigación, se tomaron 50 mL (muestra problema) del río Medellín, con concentración desconocida, de la cual se tomó una alícuota de 5 mL y se aforó a un volumen de 50 mL. Adicionalmente, se tomaron 5 mL de esta solución intermedia y se llevó a un volumen final de 50 mL, se realizó este

procedimiento por duplicado (ilustración No. 1 especifica las diluciones que se hicieron para el tratamiento de la muestra de agua).

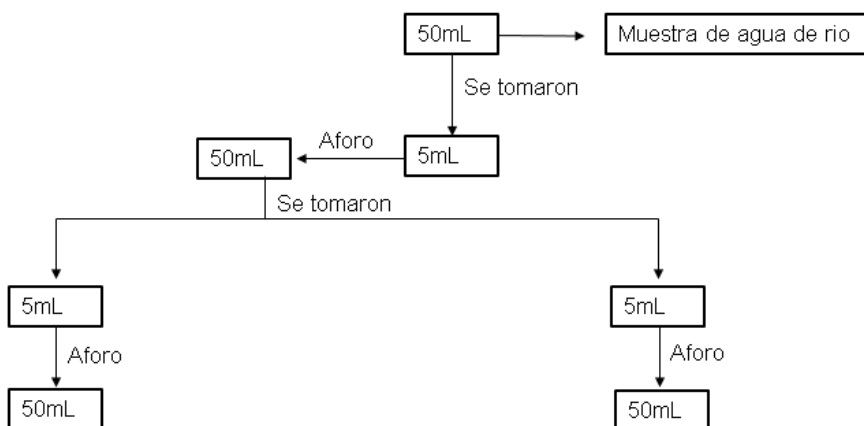


Ilustración No. 1. Diluciones de la muestra de agua residual.

Posterior a esto, se agregaron dos concentraciones diferentes de dióxido de titanio a cada solución con la diferencia que a una de estas se le agregó además una concentración de Peróxido de hidrógeno. Así, se procedió a llevarlos al sistema fotocatalítico y tuvo un tiempo de tratamiento de 3 horas. Finalizado el tratamiento, se midieron las absorbancias de las muestras antes y después del tratamiento, a una longitud de onda de 527 nm. (Ver Tabla N.º 1.)

Tabla No. 1. Datos de las muestras problemas N.º 1 y 2 para el tratamiento de fotocatalisis heterogénea.

Tratamiento de muestras de agua por fotocatalisis heterogénea				
Solución	Concentración TiO_2 (ppm)	Concentración H_2O_2 (% v/v)	Absorbancia Inicial	Absorbancia final
1	500	no se adiciono	1,07	0,257
2	100	20	1,03	0,154

2. Preparación de la solución Stock y los patrones de trabajo-

Para analizar las muestras después del proceso de fotocatalisis, los investigadores realizaron una solución stock de 200 ppm de rojo de azorrubina, con la cual se

prepararon 6 patrones con distintos volúmenes y todos fueron aforados en balones de 50 mL (Ver tabla N.º 2). Posteriormente, se midió la absorbancia de cada patrón a una longitud de onda de 527 nm, con el fin de obtener una curva de calibración.

Tabla N.º 2. Datos de los patrones de rojo de azorrubina (R3) para realizar la curva de calibración

Patrones utilizados de R.3. (Rojo de azorrubina) para la curva de calibración			
Patrón	Volumen R.3 (mL)	Volumen alícuota (mL)	Absorbancia
1	0,3	50	0,029
2	0,9	50	0,30
3	1,4	50	0,451
4	2,0	50	0,704
5	2,6	50	0,892
6	3,2	50	1,092

1. Resultados y análisis

Teniendo en cuenta la información anterior responda las siguientes preguntas:

1. Realizar la curva de calibración de los patrones utilizados de rojo de azorrubina.
2. Determinar las concentraciones antes y después del tratamiento de las soluciones de agua con presencia de rojo de azorrubina, para la muestra 1 y 2.
3. Determinar el porcentaje de remoción del colorante para las dos soluciones mediante el uso de la técnica de fotocatalisis heterogénea:

$$\%Remoción = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

C_i = Concentración inicial de la muestra

C_f = Concentración final de la muestra (Después del tratamiento)

4. ¿Cuál de los dos procedimientos presentó mejor porcentaje de remoción?, Explique ¿Por qué?
5. Teniendo en cuenta la siguiente tabla, explique qué ocurre con el DQO y el oxígeno disuelto antes y después del tratamiento. Especifique que implicaciones conlleva una concentración de oxígeno disuelto y el DQO alta y baja en el agua.

Muestra	Parámetro	Antes del tratamiento	Después del tratamiento
1	DQO	150 ppm	40 ppm
	OD	2,8 ppm	5,9 ppm
2	DQO	150 ppm	32 ppm
	OD	2,8 ppm	6,7 ppm

6. Mediante una ilustración explique el fenómeno de fotocátalisis heterogénea para los dos casos en el laboratorio.
7. De acuerdo con los datos obtenidos en el laboratorio, ¿Es eficiente la técnica de fotocátalisis heterogénea para el tratamiento de aguas contaminadas con colorantes? Justifique su respuesta.

Bibliografía:

- Duque, J. G. (2013). En 5 días van tres vertimientos de colorantes al río Medellín. Recuperado el 16 de mayo del 2020 de https://www.elcolombiano.com/historico/en_5_dias_van_tres_vertimientos_de_colorantes_al_rio_medellin-FCEC_255642
- Guarín. C, Mera. A, (2011). Fotocatálisis heterogénea con TiO_2 para el tratamiento de desechos líquidos con presencia del indicador verde de bromocresol. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. 10, (19), 79-88.
- KienyKe. Río Medellín: colorantes que lo contaminan pueden dar cáncer. Recuperado el 16 de mayo del 2020 de <https://www.kienyke.com/historias/rio-medellin-colorantes-que-lo-contaminan-pueden-dar-cancer-0>

Manrique, L; Laguna, E; Osorio, E; Serna, E; Torres, R. (2017). Tratamiento de aguas contaminadas con colorantes mediante fotocatalisis con TiO₂ usando luz artificial y solar. Producción + limpia. 12 (2), 50-60. Recuperado de <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/1542/155>
1

**ANEXO 5. RÚBRICA DE EVALUACIÓN SEGÚN TAXONOMÍA SOLO MÓDULO
1.**

Logro de aprendizaje	Criterio de evaluación			
	Uniestructural 1	Multiestructural 2	Relacional 3	Abstracto 4
1. Comprende el fundamento fisicoquímico de fotocátalisis heterogénea	El estudiante logra identificar algunas características propias de la fotocátalisis heterogénea pero no comprende su fundamento.	El estudiante identifica, describe y combina cada concepto relacionado con la fotocátalisis heterogénea para dar una explicación clara,	El estudiante logra comparar, relacionar, y analizar la información suministrada para explicar el concepto de fotocátalisis heterogénea.	El estudiante además de analizar la información logra generalizar y reflexionar para comprender claramente la fotocátalisis heterogénea.
2. Reflexiona acerca de la importancia del tratamiento de agua residual para la remoción de contaminantes	A partir de los videos y el material de lectura, el estudiante identifica que es tratamiento de aguas y que son las aguas residuales, pero no logra relacionarlo.	El estudiante enumera las ventajas de usar técnicas de tratamiento en aguas residuales, pero no interpreta la importancia a nivel ambiental	El estudiante analiza la importancia del tratamiento de aguas residuales para la remoción de sustancias contaminantes	El estudiante además de analizar y reflexionar argumenta la importancia del tratamiento de aguas residuales para la remoción de sustancias contaminantes.
3. Relaciona, comprende y reflexiona acerca de la importancia	El estudiante Identifica que es un tratamiento de agua residual, pero	El estudiante logra describir la importancia del tratamiento del agua residual y	El estudiante contrasta la información brindada y analiza desde un aspecto	El estudiante relaciona el conocimiento teórico y procedimental en la

del uso de técnicas avanzadas de tratamiento de agua residual como la fotocátalisis heterogénea	no logra comprender por cuál es su importancia.	combinar el conocimiento con el uso de técnicas avanzadas.	conceptual y procedimental la importancia de las técnicas avanzadas en el tratamiento de agua residual .	fotocatálisis para reflexionar acerca de la importancia del tratamiento y comprender su aplicabilidad.
4. Identifica, comprende y explica que es un contaminante y cuáles son los daños que puede causar al ambiente.	El estudiante reconoce que es un contaminante , pero no puede explicar cómo afecta el agua en sus propiedades químicas y físicas	El estudiante identifica que es un contaminante y como se presenta en el agua, puede evidenciar algunas afectaciones en el entorno	El estudiante identifica que es un contaminante, además comprende que este puede causar afectaciones en las propiedades físicas y químicas del agua	El estudiante identifica que es un contaminante, pero además comprende y explica las afectaciones que puede causar en las propiedades físicas y químicas del agua.

ANEXO 6. RÚBRICA DE EVALUACIÓN SEGÚN TAXONOMÍA SOLO MÓDULO 2.

Logros de aprendizaje:

1. Identificar y comprender la importancia, características y principios que presentan los procesos de oxidación avanzada, así como los objetivos que llevan a cabo y los componentes que las técnicas fotocatalíticas poseen.
2. Identificar y comprender el funcionamiento de los semiconductores a partir de la teoría de bandas y de esta manera entender cómo se lleva a cabo el proceso de la fotocatalisis heterogénea.
3. Identificar y comprender las reacciones químicas que se ven implicadas en el proceso fotocatalítico, al igual, analizar la importancia y las ventajas de trabajar con el dióxido de titanio a la hora de realizar la técnica de fotocatalisis heterogénea.

Preguntas	Criterio de evaluación			
	Uniestructural 1	Multiestructural 2	Relacional 3	Abstracto 4
1	El estudiante reconoce que los procesos de oxidación avanzada son técnicas para el tratamiento de aguas residuales.	El estudiante describe qué son los procesos de oxidación avanzada, teniendo en cuenta el objetivo de esta	El estudiante explica las características principales de los procesos de oxidación avanzada, además, relaciona la oxidación de la materia orgánica con la formación de radicales libres.	El estudiante comprende los procesos de oxidación avanzada desde la explicación de sus principales características, y relaciona los fundamentos de esta para el tratamiento de aguas residuales
2	El estudiante reconoce que la fotocatalisis es la técnica que prevalece frente al carbón activado, pero no tiene argumentos	El estudiante reconoce que la fotocatalisis es la técnica que prevalece frente al carbón activado, pero solo lo argumenta por medio del	El estudiante reconoce que la fotocatalisis es la técnica que prevalece frente al carbón activado por medio de la relación y explicación de	El estudiante reconoce que la fotocatalisis es la técnica que prevalece frente al carbón activado por medio de la relación, explicación y un

	con los cuales explicar el por qué.	tiempo de postratamiento	las 3 variables que se presentan en el problema	análisis crítico de las 3 variables que se presentan en el problema
3	El estudiante identifica 1 o 2 fases de una reacción catalítica heterogénea dando una pequeña descripción de que ocurre en cada fase	El estudiante identifica 3 fases de una reacción catalítica heterogénea describiendo que ocurre en cada fase	El estudiante identifica las 4 fases que ocurren en una reacción de catálisis heterogénea, además da una explicación clara de lo que sucede en cada fase	El estudiante identifica las 4 fases que ocurren en una reacción de catálisis heterogénea, además da una explicación clara de lo que sucede en cada fase y relaciona estas por medio de un ejemplo.
4	El estudiante identifica que el peróxido de hidrógeno es un agente oxidante más fuerte que el permanganato de potasio	El estudiante identifica que el peróxido de hidrógeno es un agente oxidante más fuerte que el permanganato de potasio y da una breve descripción del porque	El estudiante identifica que el peróxido de hidrógeno es un agente oxidante más fuerte que el permanganato de potasio y explica el porqué, por medio de los potenciales de oxido-reducción que presentan estas 2 sustancias	El estudiante identifica que el peróxido de hidrógeno es un agente oxidante más fuerte que el permanganato de potasio y explica por qué por medio de la comparación de los potenciales de oxido-reducción que presentan estas 2 sustancias
5	El estudiante reconoce que el radical libre OH es un agente	El estudiante describe que los radicales libres son sustancias que	El estudiante explica que el radical libre OH es un oxidante fuerte gracias a	El estudiante explica que el radical libre OH presenta un electrón

	oxidante y da cuenta que por esta razón degrada la materia orgánica	pueden afectar la materia gracias a su alto poder oxidante	que presenta un potencial de oxidación muy alto y así puede degradar la materia orgánica.	desapareado por lo que se convierte en una sustancia con poca estabilidad y muy reactiva, lo que hace que puede reaccionar con la mayoría de las sustancias. Además, relaciona lo anteriormente expuesto con los potenciales de oxidación-reducción
6	El estudiante identifica algunas características propias de los semiconductores.	El estudiante combina y enumera correctamente los conceptos propios para describir un semiconductor.	El estudiante analiza y contrasta cada concepto necesario para comprender qué es un semiconductor y los relaciona desde la teoría de bandas para definirlo.	El estudiante además de relacionar cada concepto logra generalizar y reflexionar acerca de la teoría de bandas para comprender que es un semiconductor.
7	El estudiante identifica las diferencias entre un conductor, semiconductor y aislante, desde la teoría de bandas.	El estudiante realiza una lista con la descripción de un conductor, semiconductor y aislante, teniendo en cuenta el conocimiento propio de la teoría de bandas.	El estudiante compara y contrasta un conductor, semiconductor y aislante, además los relaciona entre sí, proporcionando explicaciones coherentes.	El estudiante comprende la diferencia entre un conductor, semiconductor y aislante, y lo argumenta estableciendo generalidades de cada uno.

8	El estudiante reconoce el fundamento disciplinar del par-electrón hueco, sin embargo, no logra esquematizar correctamente para su explicación.	El estudiante describe a partir de un diagrama que es un par electrón-hueco, sin embargo, no logra relacionarlo con la fotocátalisis heterogénea.	El estudiante logra comprender el electrón y el hueco de un semiconductor analizando su fundamento teórico para explicar a partir de un diagrama y relacionarlo con la fotocátalisis heterogénea,	El estudiante analiza y reflexiona acerca de la importancia del par electrón-hueco para el proceso de fotocátalisis heterogénea y logra argumentar a partir de un diagrama.
9	El estudiante logra identificar que es el fenómeno de recombinación, pero no logra inferir como este interfiere con el proceso de fotocátalisis heterogénea.	El estudiante describe el fenómeno de recombinación y concreta la información con el proceso de fotocátalisis heterogénea.	El estudiante logra analizar el fenómeno de recombinación, comparándolo con el fenómeno de excitación para explicar por qué interfiere negativamente en el proceso de fotocátalisis heterogénea.	El estudiante analiza el fenómeno de recombinación y logra argumentar a partir de hipótesis formuladas acerca de cómo afecta este fenómeno al proceso de fotocátalisis heterogénea y formula soluciones para evitarlo.
10	El estudiante logra identificar los procesos de oxidoreducción en cada banda energética.	El estudiante describe el proceso de oxidoreducción teniendo en cuenta lo que ocurre en cada banda energética.	El estudiante relaciona el proceso de oxidoreducción con lo que ocurre en las bandas energéticas, logrando	El estudiante analiza y reflexiona acerca del proceso de oxidoreducción y sistematiza la información para argumentar sobre cómo este

			explicar cada fenómeno.	proceso se relaciona con las bandas energéticas.
11	El estudiante no identifica las reacciones implicadas en el proceso de fotocatalisis y por ende no logra una comprensión desde su fundamento químico.	El estudiante describe cuales son las reacciones que se ven involucradas en el proceso de fotocatalisis.	El estudiante analiza el fundamento químico de las reacciones involucradas en el proceso de fotocatalisis heterogénea.	El estudiante argumenta y analiza cómo se generan las reacciones químicas que se ven implicadas en el proceso de fotocatalisis y las relaciona con el fundamento de la técnica
12	El estudiante identifica que el dióxido de titanio es una sustancia fotocatalizadora, pero no comprende sus características químicas y fotocatalíticas y por ende no comprende la diferencia entre una sustancia y fotocatalíticas.	El estudiante describe algunas características químicas del dióxido de titanio y reconoce que esta sustancia tiene características fotocatalíticas	El estudiante relaciona las características química y fotocatalíticas del dióxido de titanio para comprender por qué es una sustancia fotocatalítica.	El estudiante analiza las características químicas y fotocatalíticas del dióxido de titanio para comprender el fundamento del uso de esta sustancia en la técnica de fotocatalisis heterogénea.
13	El estudiante identifica cuales son las partes de un sistema	El estudiante describe las partes del sistema fotocatalítico y	El estudiante comprende las partes y el funcionamiento	El estudiante además de comprender en funcionamiento de un sistema

	fotocatalítico, pero no comprende cuál es su funcionamiento.	enumera algunas características y funcionamiento de este montaje.	de un sistema fotocatalítico.	fotocatalítico, argumenta y analiza su relación con el fundamento de la técnica de fotocátalisis heterogénea.
14	El estudiante identifica algunos métodos de cuantificación para evaluar la eficiencia de la técnica, pero no comprende cómo aplicarlos.	El estudiante describe algunos métodos de cuantificación utilizados para evaluar la eficiencia del proceso fotocatalítico.	El estudiante analiza la importancia del fundamento de los métodos de cuantificación que se usan para evaluar la técnica de fotocátalisis heterogénea	El estudiante además de analizar comprende y argumenta la importancia de los métodos de cuantificación para realizar la evaluación y seguimiento del proceso de fotocátalisis heterogénea.
15	El estudiante identifica los dos tipos de agua residual pero no comprende su procedencia, sus características ni sus componentes contaminantes.	El estudiante describe alguna de las características de los tipos de agua residual.	El estudiante compara y analiza las diferencias de los tipos de agua residual y menciona algunas de sus características y sus componentes contaminantes.	El estudiante además de analizar y comparar relaciona las características de los tipos de agua residual, su procedencia y la composición de acuerdo con sustancias contaminantes.

ANEXO 7. RÚBRICA DE EVALUACIÓN SEGÚN TAXONOMÍA SOLO MÓDULO 3.

Logros de Aprendizaje:

1. Analizar un proceso fotocatalítico para dos muestras de agua residual con presencia de colorante, desde los reactivos que se utilizan, el porcentaje de remoción y los parámetros para calidad de agua (DQO,O.D) que presentan las muestras al final del tratamiento.
2. Reflexionar acerca de la importancia de realizar un tratamiento de aguas residuales con presencia de contaminantes como los colorantes para disminuir el impacto negativo de este tipo de aguas en afluentes de aguas como los ríos.

Pregunta	Criterio de evaluación			
	Uniestructural 1	Multiestructural 2	Relacional 3	Abstracto 4
4	El estudiante identifica cuál de los procesos foto catalíticos es más eficiente pero no logra explicar el porqué de este procedimiento	El estudiante identifica cuál de los procesos foto catalíticos es más eficiente y describe sus razones del porqué se da este resultado	El estudiante identifica cuál de los procesos foto catalíticos es más eficiente, además, explica que por las variables que presenta cada proceso se da el resultado	El estudiante identifica cuál de los procesos foto catalíticos es más eficiente, además, explica y analiza las variables que presenta cada proceso fotocatalítico, y que, de acuerdo con este criterio puede dar cuenta del resultado
5	El estudiante identifica que es la fotocatalisis heterogénea.	El estudiante identifica y relaciona la fotocatalisis heterogénea teniendo en cuenta el uso de peróxido de hidrógeno.	El estudiante identifica y relaciona la fotocatalisis heterogénea analizando la importancia del uso de peróxido de	El estudiante identifica y relaciona, analiza y reflexiona acerca de las propiedades oxidativas del peróxido de

			hidrógeno para aumentar la eficiencia del tratamiento	hidrógeno en la fotocatalisis heterogénea teniendo en cuenta eficiencia del tratamiento.
6	El estudiante identifica que la técnica es eficiente pero no da una explicación de acuerdo con los parámetros de calidad de agua	El estudiante identifica que la técnica es eficiente y da una descripción de la importancia de trabajar con esta técnica.	El estudiante identifica que la técnica es eficiente y da una explicación de acuerdo con los parámetros de calidad de agua	El estudiante analiza e identifica que la técnica es eficiente y dando una explicación de acuerdo con los parámetros de calidad de agua
7	El estudiante no reflexiona sobre la importancia de adoptar esta técnica en el tratamiento de aguas	El estudiante describe que la técnica es importante para la remediación del agua	El estudiante explica que la técnica de fotocatalisis heterogénea es importante para la remediación del agua como recurso vital para la vida	El estudiante analiza que es importante la remediación de las fuentes de agua y opta que la fotocatalisis heterogénea es una buena técnica para tratar aguas residuales debido a que estas pueden afectar otros afluentes