

**PROPUESTA DE UNA RUTA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES
MEDIANTE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL A PARTIR DE LA CAPTURA DE
DIÓXIDO DE CARBONO PRESENTE EN EL MUNICIPIO DE PASTO**

(Resumen Analítico)

**PROPOSAL OF A ROUTE FOR THE PRODUCTION OF BIOFUELS THROUGH
ARTIFICIAL PHOTOSYNTHESIS FROM CARBON DIOXIDE CAPTURE IN THE
MUNICIPALITY OF PASTO.**

(Analytical Summary)

Autores (Authors): DAVILA PAREDES SARA CAMILA

Facultad (Faculty): de INGENIERIA

Programa (Program): INGENIERIA AMBIENTAL

Asesor (Support): MAG. LUIS GABRIEL LAFAURIE PONCE

Fecha de terminación del estudio (End of the research): MAYO 2024

Modalidad de Investigación (Kind of research): MONOGRAFIA

PALABRAS CLAVE

FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL

BIOCOMBUSTIBLES

CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO

FOTOCATÁLISIS

ENERGÍAS RENOVABLES

KEY WORDS

ARTIFICIAL PHOTOSYNTHESIS

BIOFUELS

CARBON DIOXIDE CAPTURE

PHOTOCATALYSIS

RENEWABLE ENERGY

RESUMEN: La fotosíntesis artificial es un proceso que imita la conversión de la luz solar en energía química, con una aplicación destacada en la producción de biocombustibles a partir de la captura de dióxido de carbono (CO_2). Esta técnica ofrece una solución sostenible para reducir las emisiones de CO_2 y generar energía renovable, siendo una alternativa a los combustibles fósiles. A pesar de sus beneficios, la fotosíntesis artificial enfrenta desafíos técnicos y económicos, como el diseño de materiales eficaces, el desarrollo de catalizadores para reducir el CO_2 y la integración de componentes en sistemas funcionales y escalables, que requieren investigación e innovación continua.

La selección de artículos relevantes se realizó mediante minería de datos, extrayendo información útil de una gran cantidad de documentos. Tras utilizar plataformas académicas como Web of Science y ACS catalysis, se identificaron 64 artículos de alta calidad y relevancia. Estos artículos se agruparon según criterios bibliométricos, centrándose en la intensidad solar como parámetro clave. El análisis de los datos de cada cluster permitió comparar diferentes técnicas de fotosíntesis artificial, con el objetivo de identificar el método más adecuado para la producción de biocombustibles a partir de la captura de dióxido de carbono, priorizando el uso de materiales semiconductores bajo la influencia de luz visible.

De igual manera, se analizó el comportamiento de materiales fotocatalíticos dopados con materiales como cromo, con el fin de mejorar su eficiencia en la conversión de energía solar en biocombustible. Se emplea una metodología multidisciplinaria para analizar diferentes técnicas de síntesis de materiales, caracterización estructural y modelado computacional para comprender los procesos de excitación y transporte de cargas en la superficie de los catalizadores. Los resultados obtenidos no solo amplían el conocimiento científico en esta área, sino que también tienen el potencial de aplicarse en la generación de energía limpia y la mitigación de impactos ambientales.

ABSTRACT: *Artificial photosynthesis is a process that mimics the conversion of sunlight into chemical energy, with an outstanding application in the production of biofuels from the capture of carbon dioxide (CO_2). This technique offers a sustainable solution to reduce CO_2 emissions and generate renewable energy, being an alternative to fossil fuels. Despite its benefits, artificial photosynthesis faces technical and economic challenges, such as the*

design of efficient materials, the development of catalysts to reduce CO₂ and the integration of components into functional and scalable systems, which require continuous research and innovation.

The selection of relevant articles was performed by data mining, extracting useful information from a large number of papers. After using academic platforms such as Web of Science and ACS catalysis, 64 high quality and relevant articles were identified. These articles were clustered according to bibliometric criteria, focusing on solar intensity as a key parameter. The analysis of the data from each cluster allowed comparing different artificial photosynthesis techniques, with the objective of identifying the most suitable method for the production of biofuels from carbon dioxide capture, prioritizing the use of semiconductor materials under the influence of visible light.

Likewise, the behavior of photocatalytic materials doped with materials such as chromium was analyzed in order to improve their efficiency in the conversion of solar energy into biofuel. A multidisciplinary methodology is used to analyze different techniques of material synthesis, structural characterization and computational modeling to understand the processes of excitation and charge transport on the surface of the catalysts. The results obtained not only broaden scientific knowledge in this area, but also have the potential to be applied in the generation of clean energy and the mitigation of environmental impacts.

CONCLUSIONES: La investigación sobre la fotocatalisis del dióxido de carbono para la producción de biocombustibles es un área emergente que intenta emular la fotosíntesis natural utilizando materiales y dispositivos que capturan la luz solar. Este estudio ha seleccionado un método basado en la fotosíntesis artificial para la producción de biocombustibles a partir de CO₂ utilizando un algoritmo de minería de datos. Se ha realizado una revisión sistemática de la literatura en bases de datos científicas especializadas, como Sciencedirect y ACS catalysis, que proporcionan artículos relevantes y actualizados. Mediante el uso de técnicas bibliométricas en el software VOSviewer, se han analizado estos artículos, creando redes o mapas que representan la coocurrencia y la relevancia de los términos clave. Estos mapas permiten visualizar las tendencias, los avances y los desafíos en la investigación de la fotocatalisis del dióxido de carbono, destacando especialmente los factores ambientales, los materiales y los dispositivos implicados en el proceso de conversión de la energía solar en biocombustibles.

La ruta que se utilizó en el proceso de fotosíntesis artificial a partir de la minería de datos demostró que la producción de biocombustibles (metano y metanol) mediante fotosíntesis artificial a partir de la captura de CO₂, reveló el potencial de esta tecnología para contribuir a la sostenibilidad ambiental y la generación de energía limpia. Los estudios revisados resaltan la importancia de la interacción del CO₂ en el proceso de fotocatalisis, demostrando cómo la captura eficiente de este gas de efecto invernadero puede conducir a la producción de compuestos orgánicos, como el hidrógeno, esencial para la obtención de biocombustibles.

La utilización de fotocatalizadores y materiales híbridos ha demostrado ser efectiva en la conversión de CO₂ en combustibles limpios y sostenibles, destacando la relevancia de considerar el CO₂ como un componente clave en la fotosíntesis artificial para la producción de biocombustibles respetuosos con el medio ambiente.

El modelo presentado en este documento ofrece una perspectiva innovadora y prometedora para mejorar la eficiencia de la fotocatálisis en aplicaciones ambientales. Al reducir el gap de energía necesario para la activación del proceso, se logra una mayor utilización de la energía solar incidente, lo que resulta en una descomposición más efectiva de contaminantes en el aire y el agua. Este enfoque no solo tiene el potencial de mejorar la calidad ambiental, sino que también destaca la importancia de la investigación en semiconductores dopados para aplicaciones prácticas y sostenibles.

En el desarrollo de la propuesta, se ha demostrado la importancia del modelo de absorbancia en la evaluación de las propiedades ópticas de los semiconductores dopados. La utilización de ecuaciones que relacionan la absorbancia lineal y no lineal con parámetros como la densidad electrónica, el índice de refracción y la intensidad óptica incidente ha permitido calcular de manera precisa la capacidad de absorción de radiación electromagnética por parte de los materiales estudiados. Además, la optimización del modelo ha revelado la influencia significativa del gap de energía y la capacidad de absorción en la eficiencia de la fotosíntesis artificial. Estos resultados resaltan la relevancia de considerar aspectos ópticos en el diseño de sistemas fotocatalíticos para la producción sostenible de biocombustibles.

La determinación del material objetivo para fotosíntesis artificial ha sido un proceso fundamental en la propuesta de una ruta para la producción de biocombustibles a partir de la captura de CO₂, dado que se encontró ese punto de optimización. A través de la evaluación de diferentes semiconductores dopados con metales de transición, se ha identificado que el dopado con Zinc y Escandio presenta ventajas significativas en términos de gap de energía y capacidad de absorción de radiación en el espectro visible. Estos hallazgos sugieren que los materiales dopados con Escandio son los más adecuados para generar pares electrón-hueco con alto rendimiento en procesos de fotosíntesis artificial. La combinación de un gap de energía reducido y una alta absorbancia de luz solar posiciona a estos materiales como candidatos prometedores para impulsar la producción de biocombustibles de manera eficiente y sostenible.

CONCLUSIONS: *Research on photocatalysis of carbon dioxide for biofuel production is an emerging area that attempts to emulate natural photosynthesis using materials and devices that capture sunlight. This study has selected a method based on artificial photosynthesis for the production of biofuels from CO₂ using a data mining algorithm. A systematic literature review has been performed in specialized scientific databases, such as Scimedirect and ACS catalysis, which provide relevant and updated articles. Using bibliometric techniques in VOSviewer software, these articles have been analyzed, creating networks or maps representing the co-occurrence and relevance of key terms. These maps allow visualizing trends, advances and challenges in carbon dioxide photocatalysis research, especially*

highlighting environmental factors, materials and devices involved in the process of converting solar energy into biofuels.

The pathway used in the artificial photosynthesis process from data mining demonstrated that the production of biofuels (methane and methanol) by artificial photosynthesis from CO₂ capture revealed the potential of this technology to contribute to environmental sustainability and clean energy generation. The studies reviewed highlight the importance of CO₂ interaction in the photocatalysis process, demonstrating how the efficient capture of this greenhouse gas can lead to the production of organic compounds, such as hydrogen, essential for obtaining biofuels. The use of photocatalysts and hybrid materials has proven to be effective in the conversion of CO₂ into clean and sustainable fuels, highlighting the relevance of considering CO₂ as a key component in artificial photosynthesis for the production of environmentally friendly biofuels.

The model presented in this paper offers an innovative and promising perspective to improve the efficiency of photocatalysis in environmental applications. By reducing the energy gap required for process activation, greater utilization of incident solar energy is achieved, resulting in more effective decomposition of pollutants in air and water. This approach not only has the potential to improve environmental quality, but also highlights the importance of doped semiconductor research for practical and sustainable applications.

In the development of the proposal, the importance of the absorbance model in the evaluation of the optical properties of doped semiconductors has been demonstrated. The use of equations relating linear and nonlinear absorbance to parameters such as electron density, refractive index and incident optical intensity has allowed the precise calculation of the electromagnetic radiation absorption capacity of the materials studied. Furthermore, the optimization of the model has revealed the significant influence of the energy gap and the absorption capacity on the efficiency of artificial photosynthesis. These results highlight the relevance of considering optical aspects in the design of photocatalytic systems for the sustainable production of biofuels.

The determination of the target material for artificial photosynthesis has been a fundamental process in the proposal of a route for the production of biofuels from CO₂ capture, since this optimization point was found. Through the evaluation of different semiconductors doped with transition metals, it has been identified that the doping with Zinc and Scandium presents significant advantages in terms of energy gap and radiation absorption capacity in the visible spectrum. These findings suggest that Scandium doped materials are best suited to generate electron-hole pairs with high performance in artificial photosynthesis processes. The combination of reduced energy gap and high sunlight absorbance positions these materials as promising candidates to drive biofuel production in an efficient and sustainable manner.

RECOMENDACIONES: Este estudio muestra la relevancia de emplear diversas fuentes de búsqueda y herramientas de análisis para obtener una perspectiva integral y actualizada sobre el estado de la investigación en el ámbito de la fotocatalisis de dióxido de carbono para la

producción de biocombustibles. Asimismo, se resalta la utilidad del software VOSviewer para visualizar y analizar las relaciones entre los términos clave de los documentos obtenidos, lo que puede ofrecer información valiosa para la toma de decisiones en la investigación y el desarrollo de nuevas estrategias en este campo.

Basándose en los hallazgos de esta investigación, se recomienda continuar explorando y desarrollando nanocompuestos fotocatalíticos con propiedades óptimas para la conversión de la energía solar en hidrógeno. Es crucial seguir investigando y aplicando técnicas avanzadas de caracterización de materiales para comprender a fondo las propiedades estructurales y electrónicas de estos nanocompuestos. Además, se sugiere enfocar los esfuerzos en la síntesis de materiales semiconductores que puedan absorber la luz visible de manera más eficiente, lo que ampliaría significativamente las aplicaciones de la fotocatalisis en la producción de energía limpia. Asimismo, se insta a los investigadores a explorar la posibilidad de utilizar diferentes semiconductores o tipos de dopado para ampliar el rango de longitudes de onda que los materiales pueden absorber, lo que podría abrir nuevas oportunidades en el campo de la fotosíntesis artificial.

Se recomienda continuar investigando y desarrollando modelos que exploren la dopación de semiconductores para mejorar la eficiencia de la fotocatalisis. Es importante complementar los modelos teóricos con experimentos a escala piloto para validar su eficacia en condiciones reales. Esto permitirá verificar la viabilidad y eficiencia de las propuestas teóricas. Es fundamental considerar la escalabilidad y la viabilidad económica de los modelos propuestos para garantizar su implementación práctica a gran escala. Se deben evaluar los costos y beneficios de manera integral.

RECOMMENDATIONS: *This study shows the relevance of using various search sources and analysis tools to obtain a comprehensive and up-to-date perspective on the state of research in the field of carbon dioxide photocatalysis for biofuel production. It also highlights the usefulness of the VOSviewer software for visualizing and analyzing the relationships between key terms in the retrieved papers, which can provide valuable information for research decision-making and the development of new strategies in this field.*

Based on the findings of this research, it is recommended to continue to explore and develop photocatalytic nanocomposites with optimal properties for the conversion of solar energy into hydrogen. It is crucial to further investigate and apply advanced material characterization techniques to thoroughly understand the structural and electronic properties of these nanocomposites. In addition, it is suggested to focus efforts on the synthesis of semiconductor materials that can absorb visible light more efficiently, which would significantly broaden the applications of photocatalysis in clean energy production. Researchers are also encouraged to explore the possibility of using different semiconductors or types of doping to extend the range of wavelengths that materials can absorb, which could open up new opportunities in the field of artificial photosynthesis.

Further research and development of models exploring semiconductor doping to improve the efficiency of photocatalysis is recommended. It is important to complement theoretical models with pilot scale experiments to validate their efficiency under real conditions. This will allow verification of the feasibility and efficiency of the theoretical proposals. It is essential to consider the scalability and economic viability of the proposed models to ensure their practical implementation on a large scale. Costs and benefits must be evaluated in a comprehensive manner.