



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energéticos mediante la aplicación de tratamientos fotocatalíticos:

Revisión sistemática

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
Ingeniera Ambiental

AUTORAS:

Chavez Celiz, Jacqueline Lucia (ORCID: 0000-0002-8993-5288)

Falcon Romaina, Isnarda (ORCID: 0000-0002-3761-4503)

ASESOR:

Dr. Lozano Sulca, Yimi Tom (ORCID: 0000-0002-0803-1261)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

Esta investigación se la dedicamos a Dios por ser nuestro creador y por darnos fortaleza y sabiduría.

A nuestras familias quienes son el soporte fundamental y la razón para cumplir todas nuestras metas, fomentando el deseo de superación y de triunfo en cada una de nosotras para lograr con éxito nuestra vida universitaria.

Agradecimiento

Agradecer a Dios por iluminar nuestro camino.

A nuestras familias por brindarnos su apoyo incondicional a lo largo de nuestros estudios, transmitiéndonos el ejemplo de perseverancia y humildad.

A mi asesor Dr. Lozano Sulca, Yimi Tom por su apoyo y asesoramiento constante a lo largo del proceso de desarrollo de esta investigación y a todas las personas que indirectamente aportaron de alguna manera u otra a la mejora de este escrito.

Índice del contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras.....	vi
Índice de gráficos	vii
Índice de abreviaturas	viii
Resumen.....	ix
Abstract	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	14
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	14
3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización	14
3.3. Escenario de estudio	16
3.4. Participantes	16
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	16
3.6. Procedimiento	16
3.7. Rigor científico.....	18
3.8. Método de análisis de información	19
3.9. Aspectos éticos	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
V. CONCLUSIONES.....	29
VI. RECOMENDACIONES.....	30
REFERENCIAS	31
ANEXOS	

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Matriz de Categorización Apriorística</i>	15
<i>Tabla 2. Características y rendimiento de los fotocatalizadores usados para la conversión de monóxido de carbono</i>	20
<i>Tabla 3. Eficiencia presentada en la conversión del monóxido de carbono</i>	23
<i>Tabla 4. Formas de energía usadas en la conversión de monóxido de carbono</i>	26

Índice de figuras

<i>Figura 1. Diagrama esquemático de los daños multiorgánicos inducidos por la intoxicación monóxido de carbono (COP)</i> -----	10
<i>Figura 2. Eliminación fotocatalítica del CO y utilización del CO para la producción de combustible</i> -----	12

Índice de gráficos

<i>Gráfico 1. Procedimiento de Selección de Investigaciones</i>	17
<i>Gráfico 2. Porcentaje de catalizadores más usados</i>	22

Índice de abreviaturas

COHb	: Carboxihemoglobina
CO	: Monóxido de carbono
OMS	: Organización Mundial de la Salud
AQG	: Guía de calidad del aire
WGS	: Reacción fotocatalítica de cambio de gas a agua
LMIC	: Países de bajos y medianos ingresos

Resumen

El presente estudio tiene como metodología un tipo de investigación básica de diseño revisión sistemático, teniendo como objetivo analizar las características y rendimiento de los fotocatalizadores usados para la conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energéticos:

Mediante los resultados se tiene que, los catalizadores más usados son los catalizadores cargados de metales presentando un 73% de estudios que lo confirman, seguido de los semiconductores puros con un 27%. Ello debido a que la deposición de catalizadores metálicos se ha utilizado ampliamente para ampliar la región de absorción de luz del TiO_2 puro y para reforzar la capacidad de adsorción de los reactivos. La eficiencia presentada en la conversión del monóxido de carbono en combustible energético es mayor al 80% con luz UV a diferencia que sin luz UV; siendo ello corroborado por el 100% de los investigadores que realizaron la comparación. Por último, las formas de energía usadas es la luz solar UV y la luz solar visible y en menor cantidad a luz solar fototérmica. Ello debido a los beneficios económicos de los procesos fotoasistidos; ya que, normalmente, los equipos de radiación UV artificial consumen grandes cantidades de electricidad, lo que limita su aplicación industrial.

Palabras clave: Conversión, monóxido de carbono, energéticos, tratamientos, fotocatalíticos.

Abstract

The present study has as its methodology a type of basic research of systematic review design, with the objective of analyzing the characteristics and performance of the photocatalysts used for the conversion of concentrated carbon monoxide into energy fuels:

Through the results we have that, the most used catalysts are metal loaded catalysts presenting 73% of studies confirming this, followed by pure semiconductors with 27%. This is because the deposition of metal catalysts has been widely used to broaden the light absorption region of pure TiO_2 and to enhance the adsorption capacity of the reagents. The efficiency presented in the conversion of carbon monoxide into energetic fuel is higher than 80% with UV light as opposed to without UV light; being this corroborated by 100% of the researchers who carried out the comparison. Finally, the forms of energy used are UV sunlight and visible sunlight, and to a lesser extent photothermal sunlight. This is due to the economic benefits of photoassisted processes, since artificial UV radiation equipment normally consumes large amounts of electricity, which limits its industrial application.

Keywords: Conversion, carbon monoxide, energetics, treatments, photocatalytic.

I. INTRODUCCIÓN

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro, inodoro y no irritante que se produce principalmente a través de la combustión incompleta de materia orgánica y representa numerosos casos de envenenamiento por CO cada año debido a una variedad de fuentes de combustión incompleta de hidrocarburos (Chenoweth JA. et al., 2021, p.1).

También, es la principal causa de muerte por intoxicación en muchos países, por ejemplo, en Japón anualmente, el envenenamiento por CO se cobra entre 2000 y 5000 vidas, lo que representa más de la mitad del número total de muertes por envenenamiento (Kinoshita H. et al., 2020, p.1).

Igualmente, en Estados Unidos la toxicidad por CO ocurre cuando hay una combustión incompleta de material que contiene carbono, como carbón, madera, gas natural, queroseno, gasolina, carbón vegetal, aceite combustible, telas y plásticos (Ran T. et al., 2018, p1).

El CO generalmente se encuentra en los humos producidos cada vez que se quema combustibles en automóviles o camiones, motores pequeños, las centrales eléctricas, los incineradores de desechos, las calderas de gas domésticas, parrillas, chimeneas, estufas de gas u hornos (Vakkilainen E. et al., 2017, p.50)

Además, el envenenamiento por monóxido de carbono (CO) se presenta particularmente durante el invierno como consecuencia de la fuga de una estufa o calentador de agua, o como consecuencia de la inhalación durante un incendio; aunque la mayoría ocurre accidentalmente, como el CO es una sustancia que no es visible y no tiene sabor ni olor y, por lo tanto, es difícil de detectar, el gas puede ser un "asesino silencioso" (Gozubuyuk A. et al., 2017, p.1).

Por lo tanto, una vez que se inhala CO, se une a la hemoglobina para formar carboxihemoglobina (COHb) con una afinidad 200 veces mayor que el oxígeno, lo que provoca una disminución de la capacidad de transporte de oxígeno y una disminución de la liberación de oxígeno a los tejidos, lo que conduce a la hipoxia tisular (Hampson N. et al., 2018, p.1).

Teniendo como indicadores más comunes de intoxicación por CO, son el dolor de cabeza, mareos, debilidad, dolor de pecho, malestar estomacal, vómitos y confusión;

los cuales se describen con frecuencia como "similares a la gripe" (Kubba S. et al., 2017, p.353).

Por lo contrario, en concentraciones ambientales, los experimentos no han demostrado que el CO produzca ningún efecto nocivo en la vida vegetal y se ha descubierto que es un participante menor en las reacciones fotoquímicas, lo que conduce a la formación de ozono (Miller B. et al., 2017, p.105).

En la actualidad, la fotocatalisis como tecnología verde es esencial para limpiar el agua y la desintoxicación ambiental a través de la fotocatalisis inducida por luz visible y tiene varias aplicaciones, como CO reducción, degradación de contaminantes orgánicos, eliminación de iones tóxicos e iones de metales pesados, división del agua, antibacteriano, autolimpieza, etc (Moradi Z. et al., 2021, p.557).

Así es como la activación del oxígeno molecular (O_2) es un paso crítico en la oxidación catalítica a baja temperatura del monóxido de carbono (CO) donde la fotocatalisis es una forma fácil de activar O_2 a radicales superóxido en condiciones suaves (Dong. C et al., 2021, p.1)

Ante ello, la catálisis fototérmica, que integra la fotocatalisis de semiconductores y la termocatálisis de metales nobles, ha surgido como una estrategia atractiva para lograr la oxidación catalítica a baja temperatura (dey S. et al., 2019, p.1).

En este contexto, el presente estudio tuvo como problema general plantear: ¿Cuáles son las características y rendimiento de los fotocatalizadores usados para la conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energéticos?

PE1: ¿Cuáles son los catalizadores más usados para la conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energéticos?

PE2: ¿Cuál es la eficiencia presentada en la conversión del monóxido de carbono en combustibles energéticos usando catalizadores?

PE3: ¿Cuáles son las formas de energía usadas en la conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energéticos mediante la aplicación de tratamientos fotocatalíticos?

A causa de ello se genera el problema de estudio, Analizar las características y rendimiento de los fotocatalizadores usados para la conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energéticos; y como objetivos específicos:

OE1: Clasificar cuáles son los catalizadores más usados para la conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energéticos.

OE2: Describir cuál es la eficiencia presentada en la conversión del monóxido de carbono en combustible energéticos usando catalizadores.

OE3: Definir cuáles son las formas de energía usadas en la conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energéticos mediante la aplicación de tratamientos fotocatalíticos.

Este estudio presenta una descripción general de los avances recientes en la conversión fotocatalítica de CO; para lo cual se realiza la búsqueda y análisis de diversos estudios actualizados a nivel mundial; siendo así que el presente estudio presenta una justificación teórica; debido a que en la búsqueda se analizará sistemáticamente a la conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energéticos; buscando dar a conocer la importancia de los tratamientos fotocatalíticos, con la finalidad de brindar un aporte teórico de estudios actualizados a nivel mundial. Siendo el aporte del presente trabajo de investigación estimular a la aplicación práctica de la fotocatalisis para la conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energéticos.

II. MARCO TEÓRICO

La conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energéticos ha venido siendo estudiado por diversos investigadores a nivel mundial, pero a continuación se presentará los estudios más actuales a nivel mundial de aquellos que lo realicen mediante la aplicación de tratamientos fotocatalíticos:

Selishchev et al., (2018), en su estudio, se sintetizaron catalizadores cargados con 0,1–4% en peso de Pd mediante la descomposición térmica de acetilacetato de paladio (II) ($\text{Pd}(\text{acac})_2$) a 210 - 310°C o su fotodescomposición bajo irradiación UV-LED usando anatasa TiO_2 como soporte. Los catalizadores se caracterizaron mediante análisis de fluorescencia de rayos X, AAS, TEM, XPS y quimisorción de CO y se probaron para la oxidación de CO a temperatura ambiente en un reactor por lotes tanto en ausencia como en presencia de radiación UV-LED. Donde, la descomposición de $\text{Pd}(\text{acac})_2$ da como resultado la deposición de Pd^0 y PdO en la superficie de TiO_2 ; la tasa de oxidación de CO aumenta monótonamente a medida que el contenido de Pd aumenta hasta un 4% en peso.

Kolobov S. et al., (2017); en su estudio los catalizadores de TiO_2 soportados con 0,01–4% en peso de Pt, Pd o Au se prepararon mediante la reducción química de precursores inorgánicos con NaBH_4 o su fotorreducción en una solución de agua y etanol bajo radiación UV. Las muestras se caracterizaron por medio de fluorescencia de rayos X, adsorción de N_2 , espectroscopía TEM, XPS y UV-Vis y se investigaron en los procesos de oxidación catalítica oscura y fotocatalítica UV-LED de monóxido de carbono a temperatura ambiente. La irradiación UV-LED de todos los catalizadores sintetizados dio como resultado un aumento en la tasa de oxidación de CO en comparación con la oxidación sin UV. Los resultados muestran que la dependencia en forma de cúpula de la tasa de oxidación fotocatalítica en el contenido de metal se observó para todos los catalizadores depositados de metal y tuvo un máximo de 1% en peso para Pt y 0,05% en peso para Pd y Au. La actividad del catalizador de Pt/ TiO_2 al 1% en peso fue 7 y 11 veces mayor que la de las muestras cargadas con Pd al 0,05% en peso y Au, respectivamente.

Zhang T. et al., (2016), en su trabajo preparó un fotocatalizador de TiO_2 cargado con aleación de Pt-Ru(RP-AH) con un rendimiento fotocatalítico superior. En primer lugar, el fotocatalizador ternario $\text{RuO}_2/\text{TiO}_2/\text{Pt}$ (RP) se calcina en el aire para esparcir

epitaxialmente nanoclusters de RuO₂ en la superficie de TiO₂(RP-A), lo que asegura el estrecho contacto de RuO₂ con las nanopartículas de Pt cercanas. Luego, el RuO₂ se reduce a Ru metálico para formar una aleación de Pt-Ru mediante la calcinación en un H₂ atmósfera. Se aplican XRD, TEM, XPS y CV para verificar la formación de nanopartículas de aleación de Pt-Ru, mientras que las gráficas de fotocorriente y Mott-Schottky sugieren que RP-AH es un semiconductor de tipo p. El catalizador RP-AH muestra una actividad fotocatalítica superior a la de RP, RP-A y RP-H (Ru/TiO₂/Pt) en la oxidación de CO bajo radiación UV. El CO de una concentración de 1000 ppm fue completamente oxidado fotocatalíticamente en CO₂ con RP-AH en 120 min. Tanto la aleación de Pt-Ru como la propiedad de semiconductor de tipo p de RP-AH desempeñan un papel eficaz en la mejora del rendimiento fotocatalítico de RP-AH.

Deng Xiao Qing et al., (2016), empleó plasmas fríos de oxígeno (OP) y argón (ArP) a presión atmosférica para activar las muestras de recubrimiento de Au/TiO₂ sobre sustrato de vidrio y se compararon con la calcinación convencional. Las muestras activadas se evaluaron en un reactor de oxidación fotocatalítica (PCO) de flujo continuo bajo luz visible ($\lambda > 420$ nm) para la eliminación de CO del aire sintético y se caracterizaron mediante microscopía electrónica de transmisión (TEM), espectroscopía fotoelectrónica de rayos X (XPS), Espectroscopia UV-vis, quimisorción de CO y resonancia paramagnética de electrones (EPR). Aunque las nanopartículas de Au(NP) de las tres muestras de activación con un promedio de alrededor de 4 nm por TEM, las muestras OP y ArP exhibieron la actividad PCO más alta y más baja, respectivamente; además, la muestra activada con plasma de oxígeno exhibe la mayor actividad de luz visible.

Moretti Elisa et al., (2018), en su estudio, investigó por primera vez el comportamiento de la fotorrespuesta de los sistemas Au/TiO₂ en la oxidación preferencial de CO en una corriente rica en H₂(CO-PROX) bajo irradiación de luz solar simulada a temperatura ambiente y presión atmosférica. Se precipitaron, depositaron nanopartículas de oro, con un tamaño promedio de 2-5 nm, sobre un TiO₂ mesoporoso, previamente sintetizado por un procedimiento tipo sol-gel y tratado térmicamente a diferentes temperaturas para obtener fases mixtas de anatasa/rutilo. Todas las muestras, que contenían una cantidad muy baja de metal noble (0,5% en peso), resultaron muy activas en el CO-PROX fotocatalítico en condiciones ambientales, alcanzando valores muy altos de conversión de CO y selectividad de CO₂.

Rodríguez Aguado et al., (2019), en su artículo científico estudió las nanopartículas de oro depositadas sobre nanoestructuras de titanía (1,0% en peso de carga nominal) en la oxidación preferencial de CO en exceso de H₂ a temperatura ambiente y presión atmosférica, tanto en la oscuridad como bajo irradiación de luz solar simulada. Los soportes de titanía se sintetizaron mediante dos métodos hidrotermales marcadamente ácido y básico, dando lugar a estructuras de nanorods de rutilo y nanorods deformados anatasa, respectivamente. Se obtuvieron estructuras de nanobarras de rutilo bien definidas a partir del tratamiento ácido que permitieron una distribución regular de las nanopartículas de oro y resultaron bastante activas en la reacción CO-PROX. En particular, la muestra del método de síntesis ácida calcinada a 700°C mostró los mejores resultados, ya que era altamente selectiva para el CO₂ bajo irradiación de luz solar simulada y en la oscuridad.

Yang Kai et al., (2016), en su estudio presenta como objetivo principal identificar la decoración de óxido de cobre como un promotor eficiente; por lo tanto, como resultado sináctico de su relación de banda prohibida única, su propiedad electrónica única y su efecto morfológico, el nuevo CuO modificó al TiO₂. El soporte no solo mejora la microtensión en sí misma en la estabilización del tamaño de las nanopartículas de Au, sino que, lo que es más importante, también refuerza la interacción electrónica entre el soporte y los sitios de Au. Concluyendo que los electrones confinados de CuO y TiO₂ son beneficiosos para la activación de O₂.

Yang Kai et al., (2016), en el presente estudio, utilizó un método simple, que implica la precipitación y una síntesis hidrotermal posterior, para preparar un catalizador de oro soportado en TiO₂-C₃N₄, que posteriormente se evaluó en cuanto a su rendimiento para la oxidación preferencial de CO en presencia de H₂. Se encontró que el catalizador de oro soportado en la nano-hetero-arquitectura TiO₂-C₃N₄ tenía una actividad catalítica más alta que en la contraparte TiO₂ o C₃N₄ solo bajo irradiación de luz visible y sin irradiación de luz visible. Se observó claramente un mejor contacto entre la disposición de los átomos de oro y el soporte heteroestructurado mediante microscopía electrónica de transmisión (TEM), que sugirió como base física para la transferencia de electrones altamente eficiente.

Yoshida Y. et al., (2016), en su estudio optimizó la purificación fotocatalítica de hidrógeno utilizando la oxidación preferencial (PROX) de impurezas de CO entre ZnO en forma de disco, esférico y en forma de barra a nanoescala promovida por iones

de Cu adsorbidos. En la metodología examinaron cuatro factores clave: (1) la longitud de difusión a la superficie de los electrones separados y los huecos inducidos por la luz; (2) la cara cristalina donde se formó formiato a partir de CO y su estabilidad; (3) la cara cristalina donde los iones de Cu se adsorbieron para atrapar electrones y reducir el O₂; y (4) el factor de frecuencia de “recombinación de carga como cationes y aniones” derivados de huecos y electrones fotogenerados, respectivamente, en el límite de las caras cristalinas. Se determinó que el fotocatalizador óptimo para la purificación de hidrógeno (CO PROX) era Cu-ZnO esférico; además, se obtuvo un ciclo fotocatalítico eficiente aumentando el factor de frecuencia entre el formiato no identificado inestable en la cara (000 $\bar{1}$) y los iones de Cu adsorbidos en las caras vecinas insaturadas.

Lee Si woo et al., (2018), mostró la mejora catalítica inducida por plasmones superficiales mediante el peculiar diseño de nanocatalizadores de nanocristales de Au (NC) hexoédricos (HOH) con grupos de Cu₂O. Como metodología experimental se preparó dos tipos de catalizadores inversos, Cu₂O en los sitios de vértice de HOH Au NC (sitio de vértice de Cu₂O/Au) y una estructura de núcleo-carcasa de HOH Au NC–Cu₂O (HOH Au–Cu₂O), para probar el efecto estructural en los plasmones de superficie. Bajo iluminación de luz de banda ancha, el catalizador del sitio del vértice Cu₂O/Au mostró una actividad catalítica 30–90% más alta y el catalizador HOH Au–Cu₂O mostró una actividad catalítica 10–30% más alta que cuando estaba en la oscuridad. La incrustación de capas delgadas de SiO₂ entre los HOH Au NC y el Cu₂O verificó que el mecanismo dominante para la mejora catalítica es la transferencia directa de electrones calientes desde el HOH Au al Cu₂O.

De acuerdo a los trabajos previos presentados, se presentará la descripción de la realidad problemática. Mencionando que, en las últimas décadas, la contaminación del aire ha sido un importante peligro para la salud ambiental de la población en general (Burs J. et al., 2020, p.1). Los aumentos en la exposición al aire exterior afectan los resultados de salud de las personas, directa e indirectamente (Burs Jacob et al., 2019, p.1).

La contaminación del aire ambiental es una mezcla compleja de partículas y gases y sus concentraciones y composición varían de un lugar a otro, según las fuentes presentes, las condiciones climáticas y cómo se mezclan en la atmósfera (Hei Ihme, 2019, p.5).

Es así que, durante las últimas décadas, numerosos estudios han documentado asociaciones entre la contaminación del aire ambiental y la mortalidad y la morbilidad (Sun Z. y Zhu D., 2019, p.3). Donde el proyecto Global Burden of Disease ha identificado la contaminación del aire exterior como uno de los cinco principales factores de riesgo en todo el mundo, con aproximadamente 4 millones de muertes atribuibles a la contaminación del aire en 2016, especialmente en países de bajos y medianos ingresos (LMIC) (Manisalidis L. et al., 2020, p.2).

Los efectos adversos para la salud de la contaminación del aire ambiental se han observado en grupos vulnerables, incluidos niños y ancianos, así como en poblaciones sanas (Linares Cristina et al., 2020, p.3). Además, se ha estimado que el 92% de las personas en todo el mundo vive en áreas donde se superan los valores límite actuales de la Guía de calidad del aire (AQG) de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para varios contaminantes ambientales, establecidos en 2005 (Levy Richard J., 2016, p.1).

Ante ello, la industria química contemporánea depende en gran medida de los combustibles fósiles, cuya combustión incompleta provoca la emisión de CO (Chen Guangbo et al., 2019, p.1). El monóxido de carbono es un componente del escape de los vehículos motorizados, que contribuye con alrededor del 60% de todas las emisiones de CO en todo el país y son producidos por combustibles fósiles cuando la combustión es incompleta (Cohen Aaron J. et al., 2017, p.4).

Otras fuentes de emisiones de CO incluyen procesos industriales, combustión de combustibles no relacionados con el transporte y fuentes naturales como los incendios forestales (Borsdorf T. et al., 2018, p.3).

El monóxido de carbono en las aguas superficiales se produce principalmente a partir de la fotooxidación de la materia orgánica disuelta por la radiación ultravioleta (Reboul Cyril et al., 2017, p.2). Dado que las aguas de los estuarios se caracterizan por altos niveles de carbono orgánico disuelto, las aguas superficiales de los estuarios están muy sobresaturadas y son una fuerte fuente de CO a la atmósfera (Kotaki Kenjie t al., 2019, p.4).

El monóxido de carbono es indetectable para los humanos porque es un gas incoloro e inodoro y es muy estable y tiene una vida de dos a cuatro meses en la atmósfera (Wu Xuechen et al., 2021, p.3). Al igual que los compuestos orgánicos, se forma

cuando el combustible no se quema por completo y es un componente de los gases de escape de los vehículos motorizados, que aporta alrededor del 56% de todas las emisiones de CO₂ en todo el país, y los motores y vehículos fuera de carretera representan otro 22% (Zhu Y. et al., 2021, p.1).

Donde las altas concentraciones de CO ocurren en áreas con mucha congestión de tráfico, donde hasta el 95% de todas las emisiones de CO pueden provenir de los gases de escape de los automóviles (Lee Jiho et al., 2016, p.2). Otras fuentes incluyen procesos industriales, combustión de combustibles no relacionados con el transporte y fuentes naturales como los incendios forestales (Dey S. et al., 2018, p.2).

Además, el monóxido de carbono afecta a los gases de efecto invernadero que están estrechamente relacionados con el calentamiento global y el clima (Emberson Lisa D. et al., 2018, p.5). Esto debería conducir a un aumento de la temperatura del suelo y del agua, y pueden ocurrir condiciones climáticas extremas o tormentas (Hernández M. et al., 2020, p.2). Además, el CO no sólo es venenoso para muchas reacciones catalíticas importantes, sino que también es tóxico para los animales y seres humanos (Su Nana et al., 2021, p.1).

Debido a ello, el control de los gases nocivos es muy importante para la salud pública y la contaminación ambiental (Di Qian et al., 2017, p.1). El monóxido de carbono es uno de los contaminantes atmosféricos graves que tienen un efecto significativo en la salud humana (Pinault Lauren L. et al., 2017, p.1).

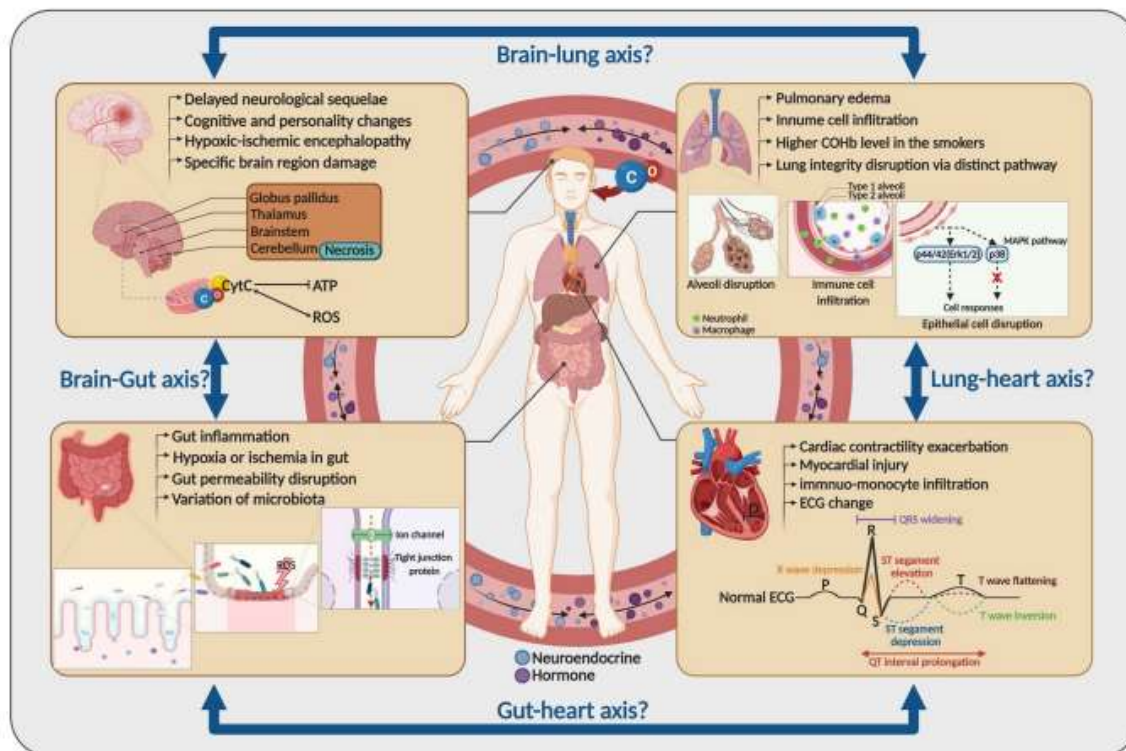
El monóxido de carbono tiene la capacidad de unirse a la hemoglobina, lo que reduce la capacidad de transporte de oxígeno de la hemoglobina y esta es la principal causa de la intoxicación por monóxido de carbono en los seres humanos (Li Na et al., 2020, p.3).

Así mismo, a altas concentraciones de CO pueden causar cambios fisiológicos y patológicos y, en última instancia, la muerte; ingresando al torrente sanguíneo a través de los pulmones y reduce el suministro de oxígeno a los órganos y tejidos del cuerpo (Chen Rong Jane et al., 2021, p.2).

La amenaza para la salud de los niveles más bajos de CO es más grave para quienes padecen enfermedades cardiovasculares, como la angina de pecho, a niveles mucho más altos de exposición, el CO puede ser venenoso e incluso las personas sanas

pueden verse afectadas (Cowen N. et al., 2018, p.1). La discapacidad visual, la capacidad de trabajo reducida, la destreza manual reducida, la capacidad de aprendizaje deficiente y la dificultad para realizar tareas complejas están todos asociados con la exposición a niveles elevados de CO. (Ver figura 1).

Figura N° 1: Diagrama esquemático de los daños multiorgánicos inducidos por la intoxicación monóxido de carbono (COP)



Fuente: Chen Rong Jane et al., (2021)

Como se muestra en la figura 1, varios órganos manifiestan déficits después de la COP. Los principales órganos diana de los que más se habla en la literatura actual son el cerebro, el corazón, el pulmón y el intestino (incluidos el intestino y el colon).

En el cerebro, el síndrome más común es el retraso de secuelas neurológicas que combinan trastornos cognitivos y de personalidad; estos pacientes también presentan necrosis y/o apoptosis en regiones cerebrales específicas, como el globo pálido, el tálamo, el tronco cerebral, el cerebelo y los ganglios basales (Penney D., 2019, p.101).

El daño por hipoxia-isquemia inducido por el COP causa encefalopatía (Rose Jason J. et al., 2017, p.2). El mecanismo implica la unión directa del CO al citocromo c en las mitocondrias, generando así ROS y reduciendo la producción de ATP (Sykes O. y Walker E., 2016, p.2).

Son menos los estudios que han evaluado el mecanismo molecular subyacente de los daños en el pulmón después de la EP (Dey Subhashish et al., 2019, p.2). No obstante, unos pocos informes de casos indicaron que los pacientes con EP presentan unos casos indican que los pacientes con EP presentan un edema cardiopulmonar agudo (Bleecker M., 2016, p.5).

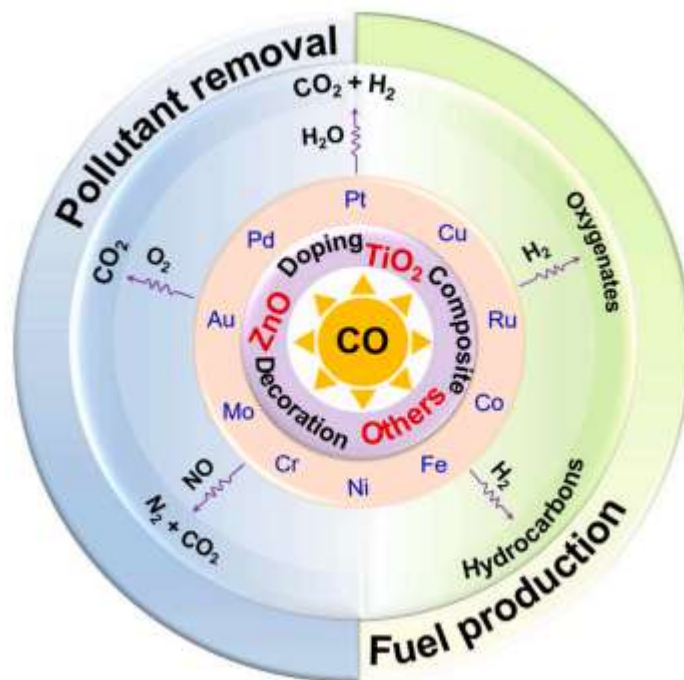
Los estudios prospectivos/retrospectivos que utilizan grandes datos también demostraron que el CO ambiental puede aumentar el riesgo de enfermedades pulmonares, además, los fumadores de cigarrillos tienen mayores niveles de COHb en sangre (Aslam Afifa et al., 2021, p.4).

También, se ha informado de que la exposición crónica a contaminantes atmosféricos (como el monóxido de carbono) retrasa la recuperación de los pacientes de COVID-19 y conduce a una mayor gravedad (Domingo Jsé L. y Rovira J., 2020, p.2).

Por otro lado, la eliminación del CO en los gases de alimentación y en la atmósfera es esencial al mismo tiempo, como materia prima importante, el CO puede ser recogido y utilizado para la producción de combustibles energéticos o productos químicos más valiosos (Dey S. y Dhal G., 2020, p.4). Por ejemplo; la conversión catalítica heterogénea de recursos ricos en carbono como el carbón, el gas natural y el gas de síntesis derivado de la biomasa (CO+H₂) en combustibles limpios y productos químicos valiosos (Shih C. et al., 2018, p.1).

La fotocatalisis utiliza la energía solar para acelerar reacciones clave como la división del agua para la producción de hidrógeno y la fotorreducción de CO₂ en hidrocarburos (Zhao Y. et al., 2019, p.3). Además, muy recientemente, los avances en fotocatalisis han permitido un desarrollo emocionante en la hidrogenación de CO, CO₂ o N₂ para generar hidrocarburos de alto valor (olefinas y alcoholes) o NH₃ en condiciones de flujo (Li Z. et al., 2018, p.2). (Ver figura 2).

Figura N° 2: Eliminación fotocatalítica del CO y utilización del CO para la producción de combustible



Fuente: Liu L. et al., (2022)

Como se observa en la figura 2, se detalla mediante el esquema general de la eliminación fotocatalítica del CO como contaminante por el O₂ y el NO, y la utilización del CO para la producción de combustible con H₂O e H₂ sobre catalizadores típicos y métodos de modificación relativos.

Siendo así que la termocatálisis ha sido ampliamente investigada para la eliminación y conversión del CO; sin embargo, el proceso debe llevarse a cabo a altas temperaturas y con elevados aportes de energía (Cai X. et al., 2021, p.3). Como alternativa, la fotocatalisis, que pretende emplear la abundante y limpia luz solar como fuente de energía, proporciona una forma sostenible de impulsar la conversión del CO (Wang Y. y Xia Q., 2018, p.2).

Además, la reacción fotocatalítica entre el CO y el O₂ permite eliminar el CO a baja temperatura y la foto-oxidación del CO por el NO ha sido ampliamente explorada para hacer frente a los escapes de los automóviles (Zhu Yao et al., 2021, p.1). La reacción fotocatalítica entre el CO y el H₂O, es decir, la reacción fotocatalítica de cambio de gas a agua (WGS), se ha desarrollado para oxidar completamente el CO en CO₂ mientras se producen combustibles de H₂ (Guo Xiao Ning et al., 2016, p.3).

Además, el CO puede convertirse fotocatalíticamente en productos químicos y combustibles versátiles como alcanos, olefinas ligeras y oxigenados mediante su reacción con H₂ (Wu Xuechene t al., 2019, p.1).

Las reacciones fotocatalíticas se llevan a cabo generalmente en fotocatalizadores semiconductores a temperatura ambiente empleando reactores (Alphonse P. et al., 2016, p.2). Sin embargo, los semiconductores comúnmente utilizados (TiO₂, ZnO, etc.) sufren de bajas eficiencias catalíticas debido a la alta tasa de recombinación de los pares electrón-hueco foto-generados y a la limitada utilización de la luz (Ferguson C. y Zhang K., 2021, p.4).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación es el método que permite al hombre descubrir el porqué de las cosas, generando nuevos conocimientos que ayudan a entender ciertos sucesos o fenómenos ocurridos en la sociedad.

Investigación básica: Este estudio siendo una revisión sistemática con enfoque cualitativo, presentó un tipo de investigación básica la cual consta de investigar un tema o fenómeno específico. Los conocimientos que se generan en ella se dan a través de la aplicación directa en los problemas. Así mismo la investigación básica tiene como finalidad generar nuevos conocimientos y apoyar las que se encuentren establecidas (Gutiérrez, 2016, p.1). Se usó este tipo de investigación porque el estudio consta de acontecimientos reales ocurridos en la sociedad, tiene como fin aportar conocimientos científicos ya estudiados previamente.

Diseño Sistemático: Donde los fenómenos suscitados y descritos por las personas participantes se plasman tal cual acontecieron. Según Hernández en este diseño el investigador recolecta y analiza todo lo descrito para posteriormente reconstruir la historia bajo una óptica central y sobre la base de evidencias que podrían surgir (2016, p.702).

3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización

Las categorías se dividieron de acuerdo a los problemas y objetivos específicos, el cual se detalla a continuación (ver tabla N°1):

Tabla N° 1: Matriz de Categorización Apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Unidad de Análisis
Clasificar cuáles son los catalizadores más usados para la conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energéticos	¿Cuáles son los catalizadores más usados para la conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energéticos?	Los catalizadores para la conversión de monóxido (Alphonse P. et al., 2016, p.2)	Catalizadores cargados de metales Catalizadores semiconductores puros	(Dey Subhashish et al., 2019, p.2), (Bleecker M., 2016, p.5), (Rose Jason J. et al., 2017, p.2), (Alphonse P. et al., 2016, p.2).
Describir cuál es la eficiencia presentada en la conversión del monóxido de carbono en combustibles energéticos usando catalizadores	¿Cuáles es la eficiencia presentada en la conversión del monóxido de carbono en combustibles energéticos usando catalizadores?	La eficiencia para la conversión del monóxido de carbono (Ferguson C. y Zhang K., 2021, p.4)	Oscuro Claro	(Sykes O. y Walker E., 2016, p.2), (Aslam Afifa et al., 2021, p.4), (Domingo José L. y Rovira J., 2020, p.2), (Ferguson C. y Zhang K., 2021, p.4).
Definir cuáles son las formas de energía usadas en la conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energéticos mediante la aplicación fotocatalíticos	¿Cuáles son las formas de energía usadas en la conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energéticos mediante la aplicación fotocatalíticos?	Las formas de energía para la conversión de monóxido de carbono (Cai X. et al., 2021, p.3)	Solar(UV) Solar(visible) Solar (fototérmica)	(Zhu Yao et al., 2021, p.1), (Guo Xiao Ning et al., 2016, p.3), (Wu Xuechene t al., 2019, p.1).

Elaboración propia

3.3. Escenario de estudio

Revisión sistemática: A través del análisis empleado en el presente estudio a partir de la recolección y recopilación de información que se usó nos encontramos con diferentes escenarios en la presente investigación.

Debido al uso de diferentes lecturas haya distintos escenarios quienes se encontraron dentro de cada artículo científico como son los laboratorios o campos donde se estudió el fenómeno.

3.4. Participantes

Las fuentes que sirvieron para la extracción de información (artículos científicos) se consideraron los participantes del presente trabajo de investigación ya que esta es una revisión sistemática. Las bibliotecas virtuales, portales web y red de revistas científicas como: Sciencedirect, Redalyc y Pubmed.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para el análisis y síntesis de la información recopilada se usaron diferentes herramientas que ayudaron al desarrollo de la investigación.

Análisis documental: Esta técnica nos permite generar un nuevo documento donde se plasme toda información relevante y de importancia que permitirá al lector encontrar y recuperar la información de lo estudiado.

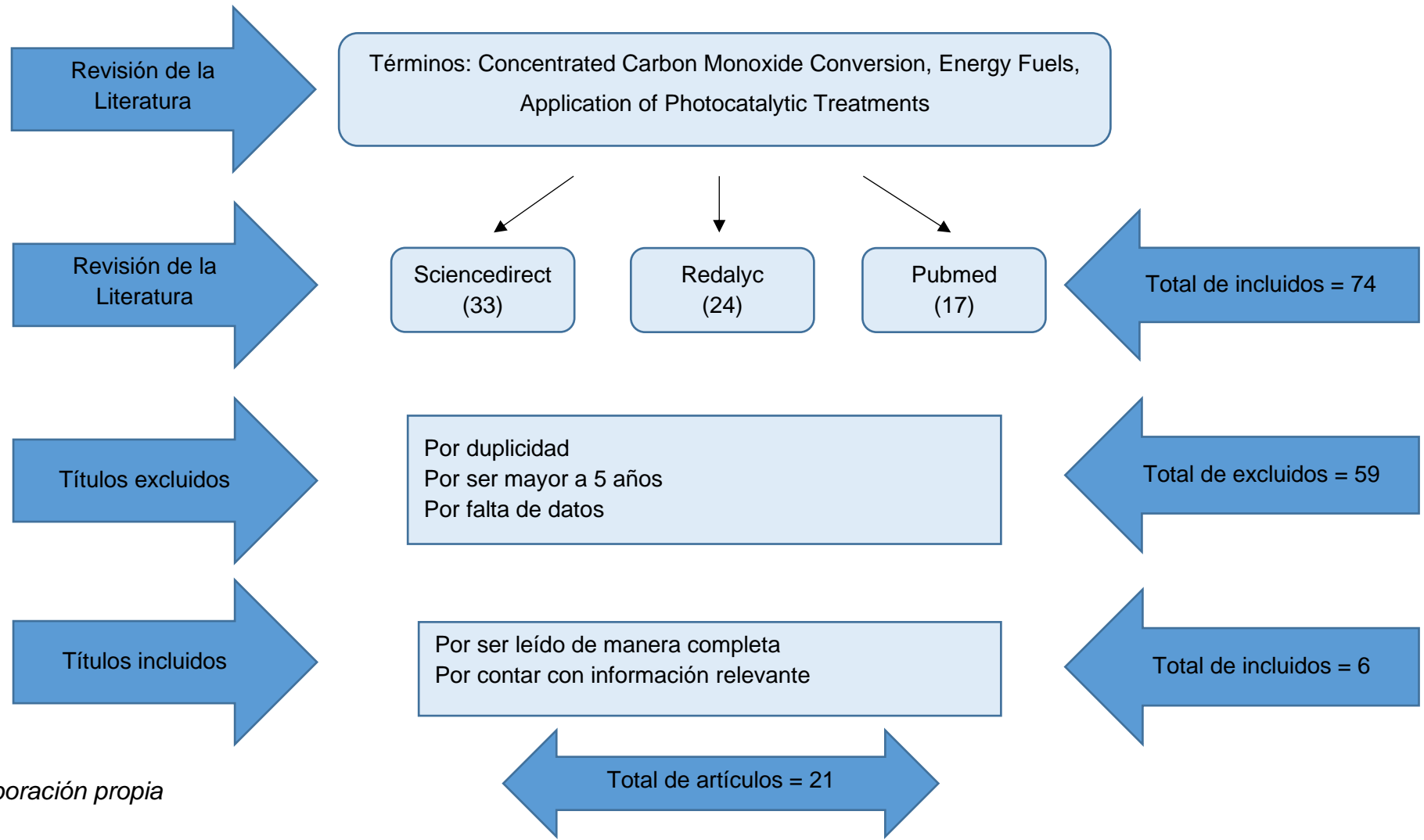
Esta herramienta permitió recopilar toda información relevante de cada artículo científico tomado en el presente trabajo de investigación, a través del análisis que se hizo de estas y de las síntesis que se generaron.

Ficha de análisis de contenido: Se aplicó este instrumento para la descripción bibliográfica de los documentos que se usaron, ayudó al desarrollo del análisis documental para la correcta identificación de los documentos.

3.6. Procedimientos

El proceso de selección se muestra en el siguiente grafico (Ver gráfico N°1):

Gráfico N°1: Procedimiento de Selección de Investigaciones



Elaboración propia

3.7. Rigor científico

La originalidad que ofrece un trabajo de investigación en su información es un aspecto relevante ya que de esta forma los resultados son confiables y ayuda a que los conocimientos incrementen o las teorías tengan más confianza.

Para Hamberg se toman en cuenta cuatro puntos que se rigen para cumplir con el rigor científico (1994, p.177).

Credibilidad: Se refiere a la validez de la investigación en sus resultados y la información, es decir a través de los resultados se podrá ver la credibilidad del contenido del estudio (Hamberg, 1994, p.177). Se aplicó este criterio arrojando resultados coherentes con lo expresado en la información del estudio.

Confiabilidad: Donde el estudio se adapta a distintos cambios que pueden surgir en diferentes entornos donde se pretenda aplicar (Hamberg, 1994, p.177), si bien el tiempo y el entorno donde surgen los sucesos a investigar son únicos e irrepetibles a través de este criterio y las investigaciones que logran cumplirla pueden aplicar en diferentes entornos. El presente estudio aplica este criterio pudiendo los lectores aplicar el estudio en otros campos o entornos.

Confirmabilidad: Como principal característica es que brinde neutralidad, es decir donde lo descrito en la información a recopilar no se vea tergiversado, se plasme tal cual se vivió el acontecimiento o hecho suscitado. La investigación debe brindar procedimientos que fundamenten los datos recopilados y se plasme en los resultados (Hamberg, 1994, p.179). Se aplicó este criterio a través de la neutra interpretación de los datos evitando que el investigador tenga un criterio sobre la información recopilada, es decir se transfiere lo recopilado al trabajo de investigación tal cual se encontró en los artículos científicos tomados para el desarrollo del presente estudio.

Transferibilidad: La capacidad de transferir los resultados de un estudio a otro logrando así la generalizabilidad de esta forma relacionar los resultados obtenidos en un estudio con otros fenómenos surgidos en diferentes contextos (Hamberg, 1994, p.179).

Se logró la transferibilidad en el presente encontrados en ciertos estudios trabajo describiendo exhaustivamente el entorno en el que se desarrolló el fenómeno y conociendo las características de esta.

3.8. Método de análisis de información

El procedimiento seguido está enfocado en las categorías y sub categorías.

Categorías:

- La eficiencia para la conversión del monóxido de carbono.
- Las formas de energía para la conversión de monóxido de carbono.
- Los catalizadores para la conversión de monóxido.

Sub categorías:

- Catalizadores cargados de metales
- Catalizadores semiconductores puros
- Oscuro
- Claro
- Solar (UV)
- Solar (visible)
- Solar (fototérmica)

3.9. Aspectos éticos

Se cumplió con lo estipulado para la correcta presentación del trabajo de investigación:

Aplicación de la norma ISO 690, plasmando correctamente las referencias bibliográficas dentro de la investigación para cumplir con el principio de respeto a la autoría. Con el programa Turnitin demostramos la originalidad del contenido en la investigación. La guía de productos observables de la Universidad César Vallejo fue cumplida y se respetó lo estipulado.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ante la búsqueda de analizar las características y rendimiento de los fotocatalizadores usados para la conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energéticos se buscó desarrollar tres objetivos planteados en los estudios:

El primero es clasificar los catalizadores más usados para la conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energéticos; presentando los resultados mostrados en la tabla 2.

Tabla N°2: Características y rendimiento de los fotocatalizadores usados para la conversión de monóxido de carbono

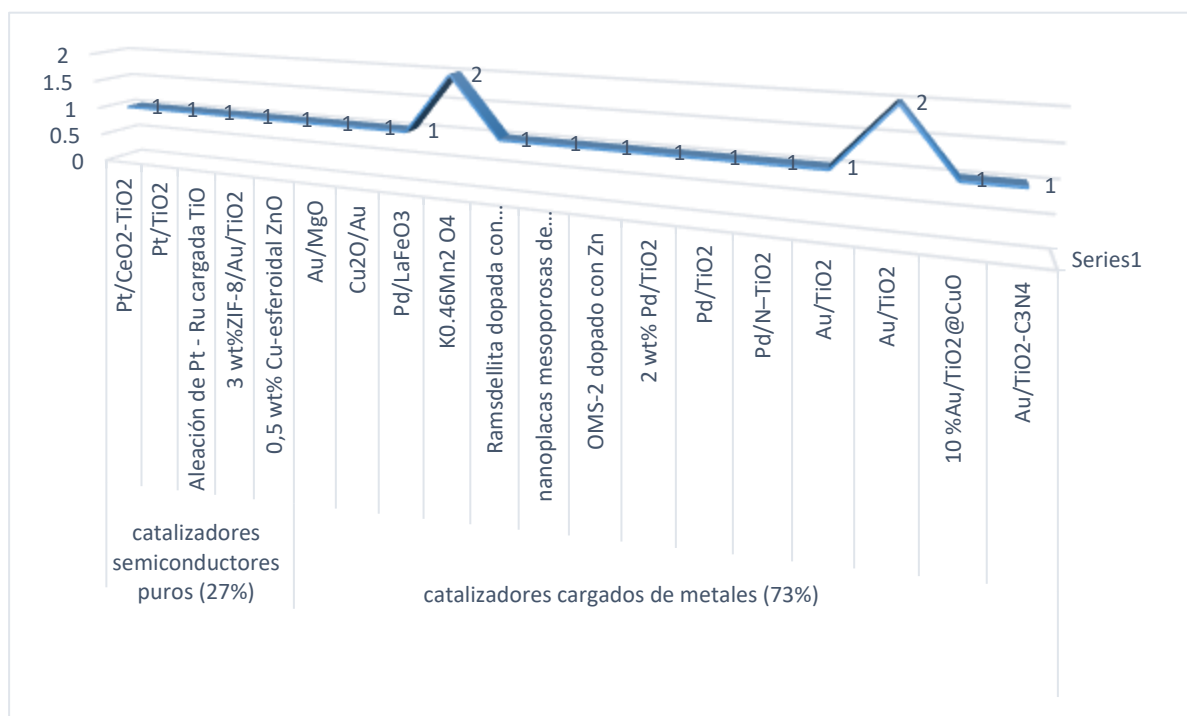
Catalizador	Tipo de catalizador	Forma de energía (s)	T (C°)	CO Conversión (%)		Autor
				Luz	oscura	
2 wt% Pd/TiO₂	Catalizadores cargados de metales	Solar (UV)	25	100 (0.67 h)	100 (0.33 h)	Selishchev D. et al., (2018)
Pd/TiO₂	Catalizadores cargados de metales	Solar (UV, 102 W/m ²)	20	NA	NA	Kolobov N. et al., (2017)
Aleación de Pt-Ru cargada TiO	Catalizadores semiconductores puros	Solar (UV, 38 W/m ²)	20	NA	100 (2 h)	Zhang Tingting et al., (2016)
Au/TiO₂	Catalizadores cargados de metales	Solar (visible, 4780 W/m ²)	13-14	44	78	Deng Xiao Q. et al., (2016)
3wt%ZIF-8/Au/TiO₂	Catalizadores cargados de metales	Solar (visible)	20	37.5	42.5	Zhang Yujuan et al., (2018)
Au/TiO₂ (calcinado a 600 °C)	Catalizadores cargados de metales	Solar (visible)	30	78	96	Moretti Elisa et al., (2018)
Au/TiO₂ (preparado en condiciones ácidas)	Catalizadores cargados de metales	Solar (visible)	30	20	40	Rodríguez Aguado et al., (2019)
10 %Au/TiO₂-CuO	Catalizadores cargados de metales	Solar (visible)	20	55	70	Yang Kai et al., (2016)
Au/TiO₂-C₃N₄	Catalizadores cargados de metales	Solar (visible)	20	NA	NA	Yang Kai et al., (2016)

0,5 wt% Cu-esferoidal ZnO	Catalizadores semiconductores puros	Solar	20	NA	97	Yoshida Y. et al. (2016)
Au/MgO	Catalizadores cargados de metales	Solar (fototérmica)	80–150 (80)	20	40	Novello Peter et al., (2018)
Cu₂O/Au	Catalizadores cargados de metales	Solar + térmica (UV, 494 W/m ²)	240–270 (270)	NA	NA	Lee si woo et al. (2018)
Pt/TiO₂	Catalizadores semiconductores puros	Solar (fotocatalítico + fototérmico, UV, 6800 W/m ²)	25–140 (70)	NA	NA	Zhou Ying et al. (2018)
Pd/N-TiO₂	Catalizadores semiconductores puros	Solar (visible) + térmico	20–100	NA	100	Tan X. et al. (2019)
Pd/LaFeO₃	Catalizadores cargados de metales	Solar+térmico	60–140	95	100	Cheng G. et al. (2019)
Pt/CeO₂-TiO₂	Catalizadores semiconductores puros	Solar(UV)+térmica	60–200	60	90	Huang K. et al. (2016)
K_{0,46} Mn₂O₄	Catalizadores cargados de metales	Solar(UV)+térmica	60–180 (140)	NA	NA	Liu Fang et al. (2016)
K_{0,46} Mn₂O₄ dopado con Cu	Catalizadores cargados de metales	Solar (fototérmica)	40–140 (140)	NA	95	Zeng Min et al. (2017)
Ramsdellita dopada con CuMnO₂ nanosheets	Catalizadores cargados de metales	Solar(fototérmica, 900-1000W/m ²)	40–120 (120)	45	79.96	Yang Yi et al. (2018)
nanoplacas mesoporosas de CuO nanosheets	Catalizadores cargados de metales	Solar(fototérmica, 4757 W/m ²)	120–200 (200)	NA	85	Zhou C. et al. (2018)
OMS-2 dopado con Zn	Catalizadores cargados de metales	Solar(fototérmica, 4361 W/m ²)	50–230 (200)	NA	87.5	Jiang Z. et al. (2019)

Elaboración propia

A continuación de acuerdo con el gráfico 2 respecto a la tabla 2 se grafica los dos grupos de catalizadores que fueron más usados por el conglomerado de estudios analizados.

Gráfico N°2: Porcentaje de catalizadores más usados



Elaboración propia

De acuerdo a los resultados presentados en el gráfico 2 respecto a la tabla 2 se tiene que los catalizadores cargados de metales son los más usados por los investigadores; presentando un 73% de estudios que lo confirman, seguido de los semiconductores puros con un 27%.

Ello debido a que la deposición de iones metálicos como el Pd, Pt, Au, etc. se ha utilizado para ampliar la región de absorción de luz del TiO₂ puro y para reforzar la capacidad de adsorción de los reactivos, mejorando así el rendimiento del TiO₂ para la oxidación fotocatalítica del CO (Yang Kai et al., 2016).

Esto es bien respaldado por los estudios de Selishchev D. et al., (2018), Kolobov N. et al., (2017), Deng Xiao Qing et al., (2016), Zhang Yujuan et al., (2018), Moretti Elisa et al., (2018), Rodríguez Aguado et al., (2019).

Además, el Pd es un cocatalizador comúnmente utilizado para los materiales basados en TiO₂.

Pero, por otro lado, los catalizadores semiconductores puros como los materiales basados en ZnO son ventajosos en cuanto a la movilidad de los electrones y ello es corroborado por Yoshida Y. et al. (2016).

Así Kolobov N. et al., (2017), en la tabla 2 manifiesta que el catalizador Pd/TiO₂ presenta una tasa de oxidación de CO, 3 veces mayor bajo luz UV que en la oscuridad (10 ppm/min).

Presentando adición a lo mencionado, Selishchev D. et al., (2018, p.3), manifiesta que los catalizadores de Pd/TiO₂ al 2% en peso preparados por deposición UV presentaron una mayor tasa de fotooxidación de CO (50 ppm/min) que los obtenidos por recocido térmico, debido a que un mayor contenido de Pd metálico y un menor tamaño de las nanopartículas de Pd se realizó en los catalizadores Pd/TiO₂ fotorreducido.

Considerando que el ZnO y el TiO₂ son dos catalizadores semiconductores puros representativos para la oxidación fotocatalítica del CO. Y el TiO₂ es entre ellos el que más se utilizó por los autores para la conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energético; siendo demostrado así por: Selishchev D. et al., (2018), Kolobov N. et al., (2017), Zhang Tingting et al., (2016), Deng Xiao Qing et al., (2016), Zhang Yujuan et al., (2018), Moretti Elisa et al., (2018), Rodríguez Aguado et al., (2019) y Yang Kai et al., (2016).

Pero estos resultados son rechazados por Wang Zhongming et al., (2017, p.3), quien manifiesta que los catalizadores semiconductores puros suelen presentar una débil adsorción de CO y O₂, lo que limita su rendimiento en la fotooxidación de CO.

Por otro lado, se buscó describir mediante la tabla 3 la eficiencia presentada en la conversión del monóxido de carbono en combustible energéticos usando catalizadores.

Tabla N° 3: Eficiencia presentada en la conversión del monóxido de carbono

Catalizador	Tipo de catalizador	T (C°)	CO Conversión (%)		Autor
			Oscuro	Luz	
2 wt% Pd/TiO ₂	Catalizadores cargados de metales	25	100 (0.67 h)	100 (0.33 h)	Selishchev D. et al., (2018)

Pd/TiO₂	Catalizadores cargados de metales	20	NA	NA	Kolobov N. et al., (2017)
Aleación de Pt - Ru cargada TiO	Catalizadores semiconductores puros	20	NA	100 (2 h)	Zhang Tingting et al., (2016)
Au/TiO₂	Catalizadores cargados de metales	13-14	44	78	Deng Xiao Qing et al., (2016)
3wt%ZIF-8/Au/TiO₂	Catalizadores cargados de metales	20	37.5	42.5	Zhang Yujuan et al., (2018)
Au/TiO₂ (calcinado a 600 °C)	Catalizadores cargados de metales	30	78	96	Moretti Elisa et al., (2018)
Au/TiO₂ (preparado en condiciones ácidas)	Catalizadores cargados de metales	30	20	40	Rodríguez Aguado et al., (2019)
10 %Au/TiO₂-CuO	Catalizadores cargados de metales	20	55	70	Yang Kai et al., (2016)
Au/TiO₂-C₃N₄	Catalizadores cargados de metales	20	NA	NA	Yang Kai et al., (2016)
0,5 wt% Cu-esferoidal ZnO	Catalizadores semiconductores puros	20	NA	97	Yoshida Y. et al. (2016)
Au/MgO	Catalizadores cargados de metales	80–150 (80)	20	40	Novello Peter et al., (2018)
Cu₂O/Au	Catalizadores cargados de metales	240–270 (270)	NA	NA	Lee si woo et al. (2018)
Pt/TiO₂	Catalizadores semiconductores puros	25–140 (70)	NA	NA	Zhou Ying et al. (2018)
Pd/N–TiO₂	Catalizadores semiconductores puros	20–100	NA	100	Tan X. et al. (2019)
Pd/LaFeO₃	Catalizadores cargados de metales	60–140	95	100	Cheng G. et al. (2019)
Pt/CeO₂-TiO₂	Catalizadores semiconductores puros	60–200	60	90	Huang K. et al. (2016)
K_{0,46} Mn₂O₄	Catalizadores cargados de metales	60–180 (140)	NA	NA	Liu Fang et al. (2016)
K_{0,46} Mn₂O₄ dopado con Cu	Catalizadores cargados de metales	40–140 (140)	NA	95	Zeng Min et al. (2017)

Ramsdellita dopada con CuMnO_2 nanosheets	Catalizadores cargados de metales	40–120 (120)	45	79.96	Yang Yi et al. (2018)
nanoplacas mesoporosas de CuO nanosheets	Catalizadores cargados de metales	120–200 (200)	NA	85	Zhou C. et al. (2018)
OMS-2 dopado con Zn	Catalizadores cargados de metales	50–230 (200)	NA	87.5	Jiang Z. et al. (2019)

Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 3, se tiene que la eficiencia presentada en la conversión del monóxido de carbono en combustible energético usando catalizadores es mayor al 80% con luz UV a diferencia que sin luz UV; siendo ello corroborado por el 100% de los investigadores que realizaron la comparación; entre ellos: Zhang Tingting et al., (2016), Deng Xiao Qing et al., (2016), Zhang Yujuan et al., (2018), Moretti Elisa et al., (2018), Rodríguez Aguado et al., (2019), Yang Kai et al., (2016).

Por su parte Kolobov N. et al., (2017), descubrió que el Pd/TiO_2 presentaba una tasa de oxidación de CO, 3 veces mayor bajo luz UV que en la oscuridad (10 ppm/min); además, la irradiación UV-LED de todos los catalizadores sintetizados dio como resultado un aumento en la tasa de oxidación de CO en comparación con la oxidación sin irradiación UV.

Por otro lado, se descubrió que la baja temperatura de descomposición del precursor de Pd evita el recocido a alta temperatura que podría causar la sinterización del catalizador y manifiesta que en la comparación de conversión de CO con luz ultravioleta y sin luz UV el porcentaje de conversión es del 100% (Selishchev D. et al., 2018).

Mientras que Cheng G. et al. (2019), por su parte apoya los resultados presentados mostrando en su estudio que la luz visible impulsa el progreso de la reacción y la selectividad de formar N_2 ; esto debido a que los resultados de la desorción programada por temperatura (TPD) de CO y los espectros de transformada de Fourier infrarroja de reflectancia difusa in situ (DRIFTS in situ) mostraron que la luz visible podría mejorar la adsorción de NO y su activación en Pd o LaFeO_3 sitio y el de CO en el sitio Pd, respectivamente.

Así mismo, Jiang Z. et al. (2019), presenta respaldo con su estudio a las afirmaciones hechas, ya que, señala que los catalizadores demuestran una excelente actividad fototermocatalítica para la reducción de CO con irradiación UV-Vis-IR; además, afirma que la excelente actividad fototermocatalítica de los catalizadores OMS-2 dopados con Zn se atribuye principalmente a sus eficaces propiedades termocatalíticas impulsadas por la luz.

Así también lo demuestran Zeng Min et al. (2017), Cheng G. et al. (2019) y Huang K. et al. (2016), quienes presentaron una conversión de CO con luz UV en un 95%, 100% y 90%.

Por otro lado, se buscó definir las formas de energía usadas en la conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energéticos mediante la aplicación de tratamientos fotocatalíticos; mostrando los resultados en la tabla 4.

Tabla N°4: Formas de energía usadas en la conversión de monóxido de carbono

Catalizador	Forma de energía (s)	Autor
2 wt% Pd/TiO₂	Solar(UV)	Selishchev D. et al., (2018)
Pd/TiO₂	Solar (UV, 102 W/m ²)	Kolobov N. et al., (2017)
Pt – Ru alloy loaded TiO	Solar(UV, 38 W/m ²)	Zhang Tingting et al., (2016)
Au/TiO₂	Solar(visible, 4780 W/m ²)	Deng Xiao Qing et al., (2016)
3 wt%ZIF-8/Au/TiO₂	Solar (visible)	Zhang Yujuan et al., (2018)
Au/TiO₂ (calcinado a 600 °C)	Solar (visible)	Moretti Elisa et al., (2018)
Au/TiO₂ (preparado en condiciones ácidas ácida)	Solar (visible)	Rodríguez Aguado et al., (2019)
10 %Au/TiO₂-CuO	Solar (visible)	Yang Kai et al., (2016)
Au/TiO₂-C₃N₄	Solar (visible)	Yang Kai et al., (2016)
0,5 wt% Cu-esferoidal ZnO	Solar	Yoshida Y. et al. (2016)
Au/MgO	Solar (fototérmica)	Novello Peter et al., (2018)
Cu₂O/Au	Solar + térmica (UV, 494 W/m ²)	Lee si woo et al. (2018)

Pt/TiO₂	Solar (fotocatalítico + fototérmico, UV, 6800 W/m ²)	Zhou Ying et al. (2018)
Pd/N-TiO₂	Solar (visible) + térmico	Tan X. et al. (2019)
Pd/LaFeO₃	Solar+térmico	Cheng G. et al. (2019)
Pt/CeO₂-TiO₂	Solar(UV)+térmica	Huang K. et al. (2016)
K_{0,46} Mn₂O₄	Solar(UV)+termica	Liu Fang et al. (2016)
Cu doped K_{0,46} Mn₂O₄	Solar (fototérmica)	Zeng Min et al. (2017)
Ramsdellita dopada con CuMnO₂ nanosheets	Solar(fototérmica,900-1000 W/m ²)	Yang Yi et al. (2018)
CuO mesoporous Nanosheets	Solar(fototérmica, 4757 W/m ²)	Zhou C. et al. (2018)
OMS-2 dopado con Zn	Solar(fototérmica, 4361 W/m ²)	Jiang Z. et al. (2019)

Elaboración propia

De acuerdo con lo mostrado en la tabla 4, se tiene que las formas de energía usadas en la conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energético mediante la aplicación de tratamientos fotocatalíticos es la luz solar UV y la luz solar visible y en menor cantidad a luz solar fototérmica.

Ello debido a los beneficios económicos de los procesos fotoasistidos; ya que, normalmente, los equipos de radiación UV artificial consumen grandes cantidades de electricidad, lo que limita su aplicación industrial (Solís López M. et al., 2016).

Apoyando a la afirmación realizada Tan X. et al., (2019, p.2), construyó mencionando que mediante la construcción de un catalizador con nanopartículas de Pd soportadas sobre N-TiO₂ (Pd/N-TiO₂) para la conversión termofotocatalítica de NO/CO con una corriente de alimentación compuesta por 0,5 vol% de NO y 0,5 vol% de CO (equilibrada por N₂, caudal: 100 ml min⁻¹), las conversiones de CO y NO en este catalizador aumentaron de menos del 20% al 100% con el aumento de la temperatura de 20 a 100°C bajo luz visible (420 nm < λ < 760 nm).

Así mismo, respaldan los resultados: Selishchev D. et al., (2018), Kolobov N. et al., (2017), Zhang Tingting et al., (2016), Deng Xiao Qing et al., (2016), Zhang Yujuan et al., (2018), Moretti Elisa et al., (2018), Rodríguez Aguado et al., (2019), Yang Kai et al., (2016), Yang Kai et al., (2016), Yoshida Y. et al. (2016).

Pero ello es refutado por Liu Fang et al., (2016, p.1); afirmando que Debido al fuerte efecto fototérmico en la nanoflor octaédrica de birnessita ($K_{0.46}Mn_2O_4$) (OL-NF), la temperatura en su superficie podría aumentar hasta la temperatura de apagado de la luz (Tlight-off) para una termocatálisis eficiente bajo irradiación de luz; mientras que en el proceso fotocatalítico convencional a temperatura ambiente sin conversión fototérmica, la conversión de CO en CO_2 apenas podía tener lugar.

De forma similar a la oxidación termofotocatalítica del CO, la oxidación fotocatalítica del CO proporciona una ruta más económica para mejorar la velocidad de reacción. Según los estudios actuales de Yang Yi et al., (2018); algunos óxidos metálicos de bajo coste, especialmente MnO y CuO, han demostrado un rendimiento apreciable para la oxidación fotocatalítica de CO. Así también lo respaldan Zhou C. et al., (2018, p.3).

Pero ello es rechazado por lo expuesto en el estudio de Jiang Z. et al. (2019), donde señala que la elevación sustancial en la actividad fototermocatalítica de OMS-2 a través del dopaje con Zn se atribuye a que la actividad termocatalítica de los catalizadores OMS-2 dopados con Zn es muy superior al OMS-2 puro porque el dopaje con Zn promueve la reducibilidad de OMS-2.

V. CONCLUSIONES

1. Al analizar las características y rendimiento de los fotocatalizadores usados para la conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energéticos, se tiene que la conversión fotocatalítica del CO proporciona estrategias sencillas no sólo para la eliminación del CO tóxico como contaminante ambiental, sino también para la valorización del CO como una importante materia prima.
2. Los catalizadores más usados para la conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energético son los catalizadores cargados de metales presentando un 73% de estudios que lo confirman, seguido de los semiconductores puros con un 27%. Ello debido a que la deposición de los agentes metálicos como el Pd, Pt, Au, etc., que provocan la catálisis se han utilizado ampliamente para ampliar la región de absorción de luz del TiO₂ puro y para reforzar la capacidad de adsorción de los reactivos, mejorando así el rendimiento del TiO₂ para la oxidación fotocatalítica del CO.
3. La eficiencia presentada en la conversión del monóxido de carbono en combustible energético usando catalizadores es mayor al 80% con luz UV a diferencia que sin luz UV; siendo ello corroborado por el 100% de los investigadores que realizaron la comparación.
4. Las formas de energía usadas en la conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energético mediante la aplicación de tratamientos fotocatalíticos es la luz solar UV y la luz solar visible y en menor cantidad a luz solar fototérmica. Ello debido a los beneficios económicos de los procesos fotoasistidos; ya que, normalmente, los equipos de radiación UV artificial consumen grandes cantidades de electricidad, lo que limita su aplicación industrial.

VI. RECOMENDACIONES

1. De acuerdo a los estudios analizados de la aplicación de tratamientos fotocatalíticos, se pudo descubrir que la información es muy escasa, por lo cual se deberían ampliar en mayores investigaciones a nivel nacional y de Latinoamérica para la conversión de monóxido de carbono concentrado en combustibles energéticos.
2. En futuros estudios, se deberían realizar estudios teóricos en profundidad e in situ para revelar los mecanismos de los procesos fotocatalíticos, especialmente los que tienen la sinergia de las energías térmica y luminosa.
3. Aunque la decoración de metales nobles plasmónicos (Au, Ag) y no plasmónicos (Pd, Ru) podría promover la conversión de CO, sus elevados costes los hacen desfavorables para su futura utilización. Los catalizadores de metales de transición no nobles, como el Cu, el Fe, el Co y el Ni deberían ser objeto de mayor atención si se desea una aplicación generalizada de las tecnologías.
4. Por último, la intensidad de la luz en las reacciones fotoinvolucradas debería indicarse claramente para una mejor comparación del rendimiento catalítico bajo condiciones de reacción diferentes.

REFERENCIAS

1. ALPHONSE, Pierre, et al. Co–Mn-oxide spinel catalysts for CO and propane oxidation at mild temperature. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2016, vol. 180, p. 715-725. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.07.019>
2. ASLAM, Afifa, et al. Mitigation of particulate matters and integrated approach for carbon monoxide remediation in an urban environment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, vol. 9, no 4, p. 105546. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105546>
3. BLEECKER, Margit L. Carbon monoxide intoxication. *Handbook of clinical neurology*, 2016, vol. 131, p. 191-203. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-62627-1.00024-X>
4. BORSDORFF, Tobias, et al. Mapping carbon monoxide pollution from space down to city scales with daily global coverage. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2018, vol. 11, no 10, p. 5507-5518. Disponible en: <https://doi.org/10.5194/amt-11-5507-2018>
5. BURNS, Jacob, et al. Interventions to reduce ambient particulate matter air pollution and their effect on health. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2019, no 5. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010919.pub2>
6. BURNS, J., et al. Interventions to reduce ambient air pollution and their effects on health: an abridged Cochrane systematic review. *Environment international*, 2020, vol. 135, p. 105400. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105400>
7. CAI, Xiaojiao; FANG, Siyuan; HU, Yun Hang. Unprecedentedly high efficiency for photocatalytic conversion of methane to methanol over Au–Pd/TiO₂—what is the role of each component in the system?. *Journal of Materials Chemistry A*, 2021, vol. 9, no 17, p. 10796-10802. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/D1TA00420D>
8. CHENG, Gang, et al. Visible light assisted thermocatalytic reaction of CO+ NO over Pd/LaFeO₃. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2019, vol. 251, p. 130-142. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2019.03.02>

9. CHEN, Guangbo, et al. From Solar Energy to Fuels: Recent Advances in Light-Driven C1 Chemistry. *Angewandte Chemie International Edition*, 2019, vol. 58, no 49, p. 17528-17551. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/anie.201814313>
10. CHEN, Rong-Jane, et al. Carbon monoxide-triggered health effects: the important role of the inflammasome and its possible crosstalk with autophagy and exosomes. *Archives of Toxicology*, 2021, p. 1-19. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00204-021-02976-7>
11. CHENOWETH, James A.; ALBERTSON, Timothy E.; GREER, Matthew R. Carbon monoxide poisoning. *Critical care clinics*, 2021, vol. 37, no 3, p. 657-672. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ccc.2021.03.010>
12. COHEN, Aaron J., et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet*, 2017, vol. 389, no 10082, p. 1907-1918. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)30505-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30505-6)
13. COWAN, N., et al. Seasonal fluxes of carbon monoxide from an intensively grazed grassland in Scotland. *Atmospheric Environment*, 2018, vol. 194, p. 170-178. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.09.039>
14. DENG, Xiao-Qing, et al. Visible-light photocatalytic oxidation of CO over plasmonic Au/TiO₂: Unusual features of oxygen plasma activation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2016, vol. 188, p. 48-55. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.01.055>
15. DEY, Subhashish, et al. Low-temperature complete oxidation of CO over various manganese oxide catalysts. *Atmospheric Pollution Research*, 2018, vol. 9, no 4, p. 755-763. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.01.020>
16. Dey, S. y Dhal, GC (2019). Conversi3n catal3tica de mon3xido de carbono en di3xido de carbono sobre catalizadores de espinela: una descripci3n general. *Ciencia de Materiales para Tecnolog3as Energ3ticas*. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.06.003>

17. DEY, Subhashish, et al. Ambient temperature complete oxidation of carbon monoxide using hopcalite catalysts for fire escape mask applications. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 2019, vol. 2, no 3, p. 501-519. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s42114-019-00108-5>
18. DEY, S.; DHAL, G. C. Synthesis of Hopcalite catalysts by various methods for improved catalytic conversion of carbon monoxide. *Materials Science for Energy Technologies*, 2020, vol. 3, p. 377-389. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.mset.2020.02.005>
19. DI, Qian, et al. Air pollution and mortality in the Medicare population. *New England Journal of Medicine*, 2017, vol. 376, no 26, p. 2513-2522. Disponible en: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1702747>
20. DOMINGO, José L.; ROVIRA, Joaquim. Effects of air pollutants on the transmission and severity of respiratory viral infections. *Environmental research*, 2020, vol. 187, p. 109650. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109650>
21. DONG, Chenxi, et al. Light-promoted activation of oxygen and carbon monoxide for low-temperature catalytic oxidation. *Cell Reports Physical Science*, 2021, vol. 2, no 12, p. 100678. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2021.100678>
22. EMBERSON, Lisa D., et al. Ozone effects on crops and consideration in crop models. *European Journal of Agronomy*, 2018, vol. 100, p. 19-34. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.06.002>
23. FERGUSON, Calum TJ; ZHANG, Kai AI. Classical Polymers as Highly Tunable and Designable Heterogeneous Photocatalysts. *ACS Catalysis*, 2021, vol. 11, no 15, p. 9547-9560. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acscatal.1c02056>
24. GOZUBUYUK, Atilla Alp, et al. Epidemiology, pathophysiology, clinical evaluation, and treatment of carbon monoxide poisoning in child, infant, and fetus. *Northern clinics of Istanbul*, 2017, vol. 4, no 1, p. 100. Disponible en: <https://doi.org/10.14744/nci.2017.49368>

25. GUO, Xiao-Ning, et al. Photocatalytic Fischer–Tropsch synthesis on graphene-supported worm-like ruthenium nanostructures. *ACS catalysis*, 2015, vol. 5, no 6, p. 3836-3840. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acscatal.5b00697>
26. HAMPSON, Neil B. Carboxyhemoglobin: a primer for clinicians. *Undersea Hyperb Med*, 2018, vol. 45, no 2, p. 165-171. Disponible en: <https://doi.org/10.22462/03.04.2018.3>
27. HEI, IHME. State of Global Air 2019. What is the impact on your health, 2019. ISSN 2578-6873
28. HERNÁNDEZ, Marcela, et al. Reconstructing genomes of carbon monoxide oxidisers in volcanic deposits including members of the class Ktedonobacteria. *Microorganisms*, 2020, vol. 8, no 12, p. 1880. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/microorganisms8121880>
29. HUANG, Kun, et al. Promotion effect of ultraviolet light on NO+ CO reaction over Pt/TiO₂ and Pt/CeO₂–TiO₂ catalysts. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2015, vol. 179, p. 395-406. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.05.044>
30. JIANG, Zhongkai, et al. Highly effective UV–Vis-IR and IR photothermocatalytic CO abatement on Zn doped OMS-2 nanorods. *Applied Surface Science*, 2019, vol. 483, p. 827-834. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.04.022>
31. Kinoshita, H., Türkan, H., Vucinic, S., Naqvi, S., Bedair, R., Rezaee, R., & Tsatsakis, A. (2020). Carbon monoxide poisoning. *Toxicology Reports*, 7, 169–173. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.01.005>
32. KOLOBOV, N. S., et al. UV-LED photocatalytic oxidation of carbon monoxide over TiO₂ supported with noble metal nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*, 2017, vol. 314, p. 600-611. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.018>
33. KOTAKI, Kenji, et al. Trends in the prevalence of COPD in elderly individuals in an air-polluted city in Japan: a cross-sectional study. *International journal of*

- chronic obstructive pulmonary disease, 2019, vol. 14, p. 791. Disponible en: <https://doi.org/10.2147/COPD.S189372>
34. Kubba, S. (2017). Calidad Ambiental Interior. Manual de diseño y construcción de edificios ecológicos, 353–412. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810433-0.00007-1>
35. LEE, Jiho, et al. Highly efficient elimination of carbon monoxide with binary copper-manganese oxide contained ordered nanoporous silicas. *Nanoscale research letters*, 2016, vol. 11, no 1, p. 1-6. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s11671-015-1197-4>
36. LEE, Si Woo, et al. The surface plasmon-induced hot carrier effect on the catalytic activity of CO oxidation on a Cu₂O/hexoctahedral Au inverse catalyst. *Nanoscale*, 2018, vol. 10, no 23, p. 10835-10843. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C8NR00555A>
37. LEVY, Richard J. Carbon monoxide pollution and neurodevelopment: a public health concern. *Neurotoxicology and teratology*, 2016, vol. 49, p. 31-40. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ntt.2015.03.001>
38. LIU, Fang, et al. UV–Vis–Infrared light driven thermocatalytic activity of octahedral layered birnessite nanoflowers enhanced by a novel photoactivation. *Advanced Functional Materials*, 2016, vol. 26, no 25, p. 4518-4526. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/adfm.201601046>
39. LI, Na, et al. Protective effects of recombinant human brain natriuretic peptide on the myocardial injury induced by acute carbon monoxide poisoning. *Cardiovascular Diagnosis and Therapy*, 2020, vol. 10, no 6, p. 1785. Disponible en: <https://doi.org/10.21037/cdt-20-591>
40. LI, Zhenhua, et al. Co-based catalysts derived from layered-double-hydroxide nanosheets for the photothermal production of light Olefins. *Advanced Materials*, 2018, vol. 30, no 31, p. 1800527. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/adma.201800527>
41. LINARES, Cristina, et al. Impacts of climate change on the public health of the Mediterranean Basin population-current situation, projections, preparedness

- and adaptation. *Environmental research*, 2020, vol. 182, p. 109107. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109107>
42. LIU, Lin; CHEN, Qiang; HAN, Zheng-Bo. A Co (II)-Based Non-interpenetration Semiconductive Metal-Organic Framework for Photocatalytic Degradation of Organic Dye Contaminant. *Inorganic Chemistry Communications*, 2022, p. 109224. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2022.109224>
43. MANISALIDIS, Ioannis, et al. Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Frontiers in public health*, 2020, vol. 8, p. 14. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
44. Miller, BG (2017). El efecto del uso del carbón en la salud humana y el medio ambiente. *Tecnología de ingeniería de carbón limpio*, 105–144. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811365-3.00003-X>
45. MORADI, Zohreh; JAHROMI, Sare Zareian; GHAEDI, Mehrorang. Design of active photocatalysts and visible light photocatalysis. En *Interface Science and Technology*. Elsevier, 2021. p. 557-623. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818806-4.00012-7>
46. MORETTI, Elisa, et al. Sustainable photo-assisted CO oxidation in H₂-rich stream by simulated solar light response of Au nanoparticles supported on TiO₂. *Catalysis Today*, 2018, vol. 304, p. 135-142. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2017.09.048>
47. NOVELLO, Peter; VARANASI, Chakrapani V.; LIU, Jie. Effects of light on catalytic activities and lifetime of plasmonic Au catalysts in the CO oxidation reaction. *ACS Catalysis*, 2018, vol. 9, no 1, p. 578-586. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acscatal.8b03166>
48. PENNEY, David G. (ed.). *Carbon monoxide toxicity*. CRC Press, 2019. Disponible en: <https://doi.org/10-8493-2065-8>
49. PINAULT, Lauren L., et al. Associations between fine particulate matter and mortality in the 2001 Canadian Census Health and Environment Cohort. *Environmental research*, 2017, vol. 159, p. 406-415. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.037>

50. Ran, T., Nurmagambetov, T., & Sircar, K. (2018). Economic implications of unintentional carbon monoxide poisoning in the United States and the cost and benefit of CO detectors. *The American Journal of Emergency Medicine*, 36(3), 414–419. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2017.08.048>
51. REBOUL, Cyril, et al. Carbon monoxide pollution aggravates ischemic heart failure through oxidative stress pathway. *Scientific reports*, 2017, vol. 7, no 1, p. 1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/srep39715>
52. RODRÍGUEZ-AGUADO, Elena, et al. Au nanoparticles supported on nanorod-like TiO₂ as catalysts in the CO-PROX reaction under dark and light irradiation: Effect of acidic and alkaline synthesis conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2019, vol. 44, no 2, p. 923-936. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.11.050>
53. ROSE, Jason J., et al. Carbon monoxide poisoning: pathogenesis, management, and future directions of therapy. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 2017, vol. 195, no 5, p. 596-606. Disponible en: <https://doi.org/10.1164/rccm.201606-1275CI>
54. SELISHCHEV, D. S., et al. Deposition of Pd nanoparticles on TiO₂ using a Pd (acac)₂ precursor for photocatalytic oxidation of CO under UV-LED irradiation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2018, vol. 235, p. 214-224. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.04.074>
55. SELISHCHEV, D. S., et al. Deposition of Pd nanoparticles on TiO₂ using a Pd (acac)₂ precursor for photocatalytic oxidation of CO under UV-LED irradiation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2018, vol. 235, p. 214-224. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.04.074>
56. SHIH, Choon Fong, et al. Powering the future with liquid sunshine. *Joule*, 2018, vol. 2, no 10, p. 1925-1949. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.08.016>
57. SOLÍS-LÓPEZ, M., et al. Assessment of copper slag as a sustainable Fenton-type Photocatalyst for water disinfection. *En Water reclamation and sustainability*. Elsevier, 2014. p. 199-227. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411645-0.00009-2>


58. SU, Nana, et al. Hemin-decreased cadmium uptake in pak choi (*Brassica chinensis* L.) seedlings is heme oxygenase-1 dependent and relies on its by-products ferrous iron and carbon monoxide. *Environmental Pollution*, 2021, vol. 274, p. 115882. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115882>
59. SUN, Zhuanlan; ZHU, Demi. Exposure to outdoor air pollution and its human health outcomes: A scoping review. *PloS one*, 2019, vol. 14, no 5, p. e0216550. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216550>
60. SYKES, Oliver T.; WALKER, Edward. The neurotoxicology of carbon monoxide—Historical perspective and review. *Cortex*, 2016, vol. 74, p. 440-448. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2015.07.033>
61. TAN, Xiaofang, et al. The promoting effect of visible light on the CO+ NO reaction over the Pd/N–TiO₂ catalyst. *Catalysis Science & Technology*, 2019, vol. 9, no 14, p. 3637-3646. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C9CY00466A>
62. Vakkilainen, EK (2017). Biocombustibles Sólidos y Combustión. Generación de vapor a partir de biomasa, 18–56. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804389-9.00002-2>
63. WANG, Yanqin; XIA, Qineng. Fischer-Tropsch Synthesis Steps into the Solar Era: Lower Olefins from Syngas. *Chem*, 2018, vol. 4, no 12, p. 2741-2743. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2018.11.020>
64. WANG, Zhongming, et al. CO gas sensitivity and its oxidation over TiO₂ modified by PANI under UV irradiation at room temperature. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2017, vol. 219, p. 379-390. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.07.080>
65. WU, Xuechen, et al. Thermo–Photo Catalysis for Methanol Synthesis from Syngas. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2019, vol. 7, no 23, p. 19277-19285. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b05657>
66. WU, Xuechen, et al. Photocatalytic conversion of carbon monoxide: from pollutant removal to fuel production. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2021, p. 120312. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2021.120312>

67. YANG, Kai, et al. Superior preferential oxidation of carbon monoxide in hydrogen-rich stream under visible light irradiation over gold loaded hedgehog-shaped titanium dioxide nanospheres: Identification of copper oxide decoration as an efficient promoter. *Journal of Power Sources*, 2015, vol. 284, p. 194-205. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.03.003>
68. YANG, Kai, et al. A heterostructured TiO₂-C₃N₄ support for gold catalysts: a superior preferential oxidation of CO in the presence of H₂ under visible light irradiation and without visible light irradiation. *Catalysis Science & Technology*, 2016, vol. 6, no 3, p. 829-839. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C5CY01009H>
69. YANG, Yi, et al. UV-vis-infrared light-driven photothermocatalytic abatement of CO on Cu doped ramsdellite MnO₂ nanosheets enhanced by a photoactivation effect. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2018, vol. 224, p. 751-760. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.11.017>
70. YOSHIDA, Yusuke; ITOI, Takaomi; IZUMI, Yasuo. Preferential photooxidation of CO in hydrogen across the crystalline face boundary over spheroidal ZnO promoted by Cu ions. *The Journal of Physical Chemistry C*, 2015, vol. 119, no 37, p. 21585-21598. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b07240>
71. ZENG, Min, et al. Cu doped OL-1 nanoflower: a UV-vis-infrared light-driven catalyst for gas-phase environmental purification with very high efficiency. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2017, vol. 200, p. 521-529. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.07.042>
72. ZHANG, Yujuan, et al. The promoted effect of a metal-organic frameworks (ZIF-8) on Au/TiO₂ for CO oxidation at room temperature both in dark and under visible light irradiation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2018, vol. 224, p. 283-294. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.10.027>
73. ZHANG, Tingting; WANG, Shuting; CHEN, Feng. Pt-Ru bimetal alloy loaded TiO₂ photocatalyst and its enhanced photocatalytic performance for CO oxidation. *The Journal of Physical Chemistry C*, 2016, vol. 120, no 18, p. 9732-9739. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b12251>

74. ZHAO, Yufei, et al. Solar-versus thermal-driven catalysis for energy conversion. *Joule*, 2019, vol. 3, no 4, p. 920-937. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.03.003>
75. ZHOU, Chongyang, et al. Novel photoactivation promotes catalytic abatement of CO on CuO mesoporous nanosheets with full solar spectrum illumination. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2018, vol. 225, p. 314-323. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.11.081>
76. ZHOU, Ying, et al. Photothermal catalysis over nonplasmonic Pt/TiO₂ studied by operando HERFD-XANES, resonant XES, and DRIFTS. *Acs Catalysis*, 2018, vol. 8, no 12, p. 11398-11406. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acscatal.8b03724>
77. ZHU, Yao, et al. Distinct Pathways in Visible-Light Driven Thermo-Photo Catalytic Methane Conversion. *The journal of physical chemistry letters*, 2021, vol. 12, no 31, p. 7459-7465. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.jpcllett.1c02053>
78. ZHU, Yao, et al. Highly efficient visible-light photocatalytic ethane oxidation into ethyl hydroperoxide as a radical reservoir. *Chemical Science*, 2021, vol. 12, no 16, p. 5825-5833. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/D1SC00694K>

ANEXOS

ANEXOS N° 1

	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO	
DATOS DEL AUTOR: NOMBRE(S)		
PÁGINAS UTILIZADAS	AÑO DE PUBLICACIÓN <input type="text"/>	LUGAR DE PUBLICACIÓN <input type="text"/>
TIPO DE INVESTIGACIÓN:		
CÓDIGO:		
PALABRAS CLAVES:	Concentrated Carbon Monoxide Conversion, Energy Fuels, Application of Photocatalytic Treatments	
LOS CATALIZADORES PARA LA CONVERSIÓN DE MONÓXIDO		
LA EFICIENCIA PARA LA CONVERSIÓN DEL MONÓXIDO		
LAS FORMAS DE ENERGÍA PARA LA CONVERSIÓN DE MONÓXIDO		
RESULTADOS:		
CONCLUSIONES:		

Elaboración propia