



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Revisión Sistemática y Meta-análisis de la evaluación de  
tecnologías de captura de CO<sub>2</sub> y obtención de energía renovable**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Ambiental

**AUTORES:**

Quiroz Cervera, Jesús (ORCID: 0000-0002-0071-0710)  
Urrutia Melchor, Stefano (ORCID: 0000-0002-7017-2604)

**ASESOR:**

Dr. Jave Nakayo Jorge Leonardo (ORCID: 0000-0003-3536-881X)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Sistemas de gestión ambiental

LIMA - PERÚ

2021

### **Dedicatoria**

El presente proyecto de investigación va dedicado a las personas que confiaron en nuestra capacidad de desarrollarnos profesionalmente y nos brindaron el apoyo necesario para que sea posible. Resaltando el apoyo incondicional de nuestros maestros, padres, hermanos y amigos.

### **Agradecimiento**

A la Universidad Cesar Vallejo por brindar personas tan excelentes, profesores quienes impulsan nuestra clase a ser mejores profesionales, nos muestran que los mejores resultados siempre se pueden obtener con trabajo duro y disciplina.

## Índice de contenidos

Dedicatoria.....	i
Agradecimiento.....	ii
Índice de tablas.....	iv
Índice de figuras.....	v
Resumen.....	vi
Abstract.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	13
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	13
3.2 Variables y operacionalización.....	13
3.3 Población (criterios de selección), muestra, muestreo, unidad de análisis..	14
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	15
3.6 Método de análisis de datos.....	20
3.7 Aspectos éticos.....	20
IV. RESULTADOS.....	22
Meta-Análisis.....	43
V. DISCUSIÓN.....	46
VI. CONCLUSIONES.....	52
VII. RECOMENDACIONES.....	53
REFERENCIAS.....	54
ANEXOS.....	

## Índice de tablas

Tabla 1. Búsqueda de información primaria	12
Tabla 2. Características de los estudios sobre tecnologías de captura de CO <sub>2</sub>	21
Tabla 3. Características de los estudios sobre obtención de energía renovable	26
Tabla 4. Condiciones operacionales de las tecnologías de captura de CO <sub>2</sub>	32
Tabla 5. Condiciones operacionales de obtención de energía renovable	34
Tabla 6. Calidad de la metodología de estudios incluidos	36

## Índice de figuras

Figura 1. Proceso de obtención de investigaciones incluidas para el meta-análisis	18
Figura 2. Meta-análisis del porcentaje de eficiencia de las tecnologías de captura de CO <sub>2</sub>	39
Figura 3. Meta-análisis del porcentaje de eficiencia de obtención de energía a partir de CO <sub>2</sub>	40

## **Resumen**

La presente investigación tuvo como finalidad evaluar mediante revisión sistemática y meta-análisis la eficiencia de la aplicación de dos tipos de tecnologías de captura de CO<sub>2</sub> y obtención de metanol y Dimetil éter como energía renovable. Esta investigación fue aplicada de nivel descriptivo, con enfoque cuantitativo y de diseño no experimental. Los resultados del presente estudio, mostraron que para captura de CO<sub>2</sub> la técnica más eficiente es la de destilación criogénica ya que evidencia un mayor porcentaje de captura del GEI. Lo cual manifiesta una relación directamente proporcional entre el porcentaje de captura y obtención de energía renovable. De acuerdo a los resultados obtenidos, se llegó a la conclusión de que existe evidencia suficiente que respalda la tecnología de captura de CO<sub>2</sub> como alternativa a la reducción de emisiones y a la vez minimización del calentamiento global. Ya que, las investigaciones incluidas en la presente revisión muestran un porcentaje superior al 75% tanto en la de captura y obtención del Dimetil éter como energía renovable

**Palabras claves:** Revisión sistemática, meta-análisis, captura de CO<sub>2</sub>, obtención de energía renovable.

## **Abstract**

The purpose of this research was to evaluate through a systematic review and meta-analysis the efficiency of the application of two types of CO<sub>2</sub> capture technologies and the obtaining of methanol and dimethyl ether as renewable energy. This research was applied at a descriptive level, with a quantitative approach and a non-experimental design. The results of the present study showed that the most efficient technique for CO<sub>2</sub> capture is cryogenic distillation and that it presents a higher percentage of GHG capture. This shows a directly proportional relationship between the percentage of capturing and obtaining renewable energy. According to the results obtained, it was concluded that there is sufficient evidence to support CO<sub>2</sub> technology as an alternative to reduce emissions and at the same time minimize global warming. Given that, the investigations included in this review showed a percentage higher than 75% both in the capture and in the obtaining of dimethyl ether as renewable energy

**Keywords:** Systematic review, meta-analysis, CO<sub>2</sub> capture, obtaining renewable energy.



## I. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos 5 años el tema de obtención de energía renovable ha crecido considerablemente junto con las emisiones de gases de efecto invernadero, esto provocará un aumento en el calentamiento y cambios duraderos en todos los componentes del sistema climático, aumentando las probabilidades de impactos graves, generalizados e irreversibles para las personas y el entorno ambiental (Arnette, 2017).

El problema de las altas emisiones de dióxido de carbono se debe al rápido crecimiento económico de muchos países. Uno de los temas principales que se observa en el entorno ambiental es la emisión alta de los gases de efecto invernadero y otros contaminantes del aire. Trabajos actuales han publicado que el sector industrial ocupa el 56% de las emisiones de GEI (Farahiyah y Maniruzzaman, 2017).

Las emisiones mundiales de este gas están vinculadas a la producción de energía, las cuales alcanzaron las 33 giga toneladas (Gt) en 2019. Un nivel similar al de años anteriores a pesar de un crecimiento económico global del 2,9% indicó el fondo monetario internacional. Según los datos de la IEA, que previamente pronosticaron un incremento en la estabilización el desarrollo de energías renovables (principalmente eólica y solar), expusieron que la transición del carbón al gas natural causa una mayor producción de energía nuclear en las economías desarrolladas (Agencia Internacional de Energía, 2020).

En América Latina se encuentra aproximadamente la mitad de bosques tropicales del mundo, es un área en donde es beneficiosa para explorar métodos sobre los sumideros biológicos. Durante los últimos 20 años esta zona ha perdido grandes áreas de cobertura vegetal en comparación al resto del mundo. Por otro lado, el cambio neto en el área de bosques naturales y plantaciones entre 1990 y 2005 ha sido producto del cambio climático durante los últimos años acompañado de una alta deforestación, a pesar de ello la región todavía tiene vastas áreas de bosque tropical (Bailis, 2019).

El sistema nacional de información ambiental en el año 2018 investigó que las emisiones de dióxido de carbono en Perú han aumentado 3 006 kilotoneladas, un 5,53% en comparación al 2017. Estos gases han alcanzado los 57 383 kilotoneladas, colocando al Perú en el puesto número 131 de la lista que están involucrados 184 países por emisiones de CO<sub>2</sub>, en el que se ordenan los países de menos a más contaminantes. También se encuentran presentes las emisiones totales del gas presentes en la atmósfera, las cuales dependen entre otras variables de la población del país (SINIA, 2018).

En tal sentido el trabajo de investigación se enfocará en evaluar las tecnologías actuales de captura del gas de efecto invernadero y la obtención de energía renovable, para esto, la problemática a nivel teórico es la falta de evidencias que demostrarían la efectividad de tecnologías de captura de CO<sub>2</sub> que permiten la obtención de energía renovable reportadas como viables en las bases de datos indexadas de acceso libre que respaldan la efectividad de tecnologías de captura de CO<sub>2</sub> y obtención de energía renovable. Para esto se realizó una búsqueda avanzada en las bases de datos indexadas evidenciando información existente de artículos sobre este tema.

El presente trabajo de investigación se justifica por la realidad actual donde se considera al cambio climático como una de las amenazas más importantes para el ambiente, esto requiere la investigación de nuevas soluciones. Por conocimiento este cambio puede generarse de forma natural. Sin embargo, en su mayoría son de origen antropogénico a causa de los gases de efecto invernadero. El CO<sub>2</sub> es el contaminante más habitual que causa la pérdida de la capa de ozono. Es así que la investigación considera estudiar las tecnologías capaces de reutilizar el gas mencionado que se encuentra presente en diferentes fuentes obteniendo como resultado de este proceso energía renovable, con la tecnología capturada se logrará aplazar las emisiones directas al ambiente, permitiendo que se pueda capturar de forma artificial o natural el CO<sub>2</sub> posterior a su procesamiento. En este contexto es esencial evaluar nuevas tecnologías que permitan la implementación de captura de dicho gas para mitigar significativamente sus emisiones.

Basado en el problema, el objetivo general de esta investigación es evaluar mediante revisión sistemática y meta-análisis la eficiencia de la aplicación de dos tipos de tecnologías de captura de CO<sub>2</sub> y obtención de metanol y Dimetil éter como energía renovable y como objetivos específicos: identificar las investigaciones que desarrollan las tecnologías de destilación criogénica y adsorción para la captura de CO<sub>2</sub>, identificar las investigaciones que obtienen metanol y Dimetil éter a partir de CO<sub>2</sub> como energía renovable, identificar las condiciones operacionales de las tecnologías de captura de CO<sub>2</sub> y energía renovable obtenido y finalmente desarrollar un meta análisis para evaluar la eficiencia de las tecnologías de captura de CO<sub>2</sub> y obtención de energía renovable.

## II. MARCO TEÓRICO

La revisión sistemática es una metodología de investigación donde se analizan estudios primarios originales de acuerdo al objetivo. Este tipo de investigación generalmente recopila estudios de un tema en específico o aspecto determinado del que se quiere estudiar. Es un proceso estructurado y definido. La revisión se construye alrededor de un tema central, que representa el núcleo de la investigación, este se muestra con el uso de conceptos y términos específicos, abordando la información relacionada con una pregunta específica, predefinida, enfocada y estructurada. (ARASI, et al., 2021).

El meta-análisis es la síntesis científica y cuantitativa de los resultados de la investigación. Desde que el término y los enfoques modernos para la síntesis de la investigación se introdujeron por primera vez en la década de 1970, el metanálisis ha tenido un efecto revolucionario en muchos campos científicos, ayudando a establecer una práctica basada en la evidencia y a resolver resultados de investigación aparentemente contradictorios. Al mismo tiempo, su implementación ha generado críticas y controversias, en algunos casos generales y otros específicos de disciplinas particulares. (FARHAT, et al., 2018).

La finalidad de un meta-análisis es evaluar sistemáticamente los resultados de investigaciones anteriores con el objetivo de llegar a conclusiones sobre el cuerpo de la investigación. Los estudios de un tema se identifican primero de forma sistemática. Se definen los criterios para incluir y excluir estudios. En el metanálisis tradicional, los datos de los estudios elegibles se extraen o recopilan de los investigadores del estudio. Luego se analizan los datos. El análisis incluye pruebas estadísticas de la heterogeneidad de los resultados del estudio y, si los resultados son homogéneos, la estimación de una estimación resumida del tamaño del efecto del tratamiento. Si los estudios no son homogéneos o estadísticamente, se explora la heterogeneidad. (LONG, et al , 2021).

Teniendo en cuenta las pautas del funcionamiento de una revisión sistemática y meta-análisis, se pasó al siguiente tema el cual es sobre la técnica utilizada para la captura de CO<sub>2</sub>. Se sabe que las centrales eléctricas de ciclo combinado (IGCC) utilizan principalmente esta técnica para capturar CO<sub>2</sub>.teniendo en cuenta esto se planteó el análisis de dos diferentes tecnologías de captura que son la absorción y destilación criogénica

La tecnología de adsorción para la captura de CO<sub>2</sub> es un proceso donde el gas es capturado selectivamente en la superficie del adsorbente por diferentes mecanismos ya sea para la adsorción física la cual el adsorbato se atrae en la superficie del sorbente que tiene alta especificación y estructura porosa con la ayuda de fuerzas electrostáticas y en el caso de adsorción química el adsorbato se adhiere a los sitios de unión presentes en la superficie del sorbente a través de un enlace covalente. (Chen, 2017)

La tecnología de destilación criogénica funciona enfriando el gas de combustión a bajas temperaturas, eliminando el agua antes de alcanzar - 0.15 C°, y pasar el gas a través de intercambiadores de calor desublimantes patentados a temperaturas cercanas a -123.15 C°. Esto causa una desublimación del CO<sub>2</sub> dejando el CO<sub>2</sub> sólido en una papilla. El sólido CO<sub>2</sub> se separa del líquido de contacto y se derrite bajo presión a medida que se calienta a temperatura ambiente. ( Wilding, 2016).

El dimetil éter es un combustible alternativo limpio y económico que se puede producir a partir del gas natural a través del gas de síntesis. Las propiedades del DME son muy similares a las del gas LP. El Dimetil éter se puede utilizar para diversos campos como combustible, como la generación de energía, el transporte, la calefacción y la cocina domésticas. No contiene azufre ni nitrógeno. No es corrosivo para ningún metal y no es dañino para el cuerpo humano. (WEN, et al, 2021).

El metanol es un combustible alternativo que ofrece una solución conveniente para un almacenamiento de energía eficiente. Como complemento a las actividades de captura de carbono, se dedica un esfuerzo significativo al desarrollo de tecnologías de captura de carbono.

Es así que la obtención de este combustible alternativo se produce por gasificación de carbón o reformado de hidrocarburos, gas natural o CO<sub>2</sub> que se emite en el proceso. La conversión de gas de síntesis tiene una relación de H<sub>2</sub> a CO de aproximadamente 2. Los reactores de síntesis de metanol modernos funcionan con catalizadores especiales basados en cobre y zinc a una temperatura de aproximadamente 250 ° C y una presión de entre 49 y 98 atmósferas. (An, 2019)

En un estudio reciente de Sohaib (2020) en su investigación CO<sub>2</sub> afterburner capture by coupling cation-based ionic liquids with a membrane contactor, se propusieron como objetivo desarrollar una membrana de estado pseudoestacionario. Este consistía en un proceso de absorción del contactor para el dióxido de carbono encontrando, donde no todas las membranas son aptas para la adsorción de dicho gas teniendo que emplear absorbente no corrosivos y compatibles con la membrana para que logre su objetivo. Este trabajo tuvo como conclusión que el proceso de absorción con el paso del tiempo de operación, conduce a alcanzar un estado estacionario donde la tasa de absorción se vuelve casi constante.

A su vez Yousef (2016) en su artículo New approach to biogas purification using cryogenic distillation and separation process for CO<sub>2</sub> capture, donde enfocó su objetivo en implementar diferentes tipos de procesos para la destilación criogénica para que pueda ser un sistema estable y adaptable a su función, disminuyendo así el costo alto de inversión, el cual es un impedimento para mostrar la competitividad comparada a otras tecnologías convencionales y ser más flexible y robusto. El trabajo tuvo como conclusión que, si el nivel de concentración del gas estudiado es alto en el biogás, este puede alimentar el proceso de crudo, al mismo tiempo muestra que se necesita una menor energía para realizar el proceso y como última conclusión indicaron que modificando las concentraciones de CO<sub>2</sub> no demuestra efectos sobre la pureza del CO<sub>2</sub> como producto.

Por otra parte, Meisen (2017) en su artículo titulado Research and development problems in CO<sub>2</sub> capture, encontró que los mejores métodos para optar y aplicar son los procesos de absorción los cuales resultaron ser más practicables dado el

estado actual conocimiento y la existencia de las plantas industriales. Sin embargo, para otros métodos ya sea como adsorción, separación por membrana y separación criogénica, requieren una investigación adicional importante que se identifique todos los procesos de captura de CO<sub>2</sub>.

Siguiendo con los antecedentes Song (2019), en su trabajo de investigación titulado Cryogen-Based CO<sub>2</sub> Capture Technologies: Cutting Edge Developments and Current Challenges, el cual tuvo como objetivo mejorar el interés en tecnologías criogénicas para capturar CO<sub>2</sub> proporcionando una descripción general del estado real del almacenamiento de captura de dióxido de carbono (CCS), para lograr este objetivo realizaron revisión de las principales estrategias y tecnologías de captura de CO<sub>2</sub>, teniendo como conclusión que las tecnologías criogénicas solo son más competitivas cuando las fuentes de energía fría de bajo costo están disponibles. Además, la destrucción de la energía debido a las dramáticas variaciones de temperatura también es un desafío crítico para la aplicación comercial de los procesos criogénicos. Por lo tanto, los procesos criogénicos deben diseñarse y optimizarse en el futuro.

También se encontró que Cao (2020), en su artículo titulado A reactive separation process based on carbon molecular sieve membrane for CO<sub>2</sub> capture prior to combustion, teniendo como objetivo discutir sobre un sistema híbrido que combina un reactor de membrana (MR) y un reactor de adsorción (AR). Teniendo como resultados que el sistema AR evaluado, es superior al de un reactor de adsorción compacto convencional, produciendo una alta pureza de H<sub>2</sub> producto directamente utilizable en una turbina para generación de energía.

En otro estudio Chung (2020), propone en su trabajo titulado Design and evaluation of CO<sub>2</sub> capture in plants for the steel industry through amine purification and membrane separation, evaluaron cuatro diferentes diseños de captura de CO<sub>2</sub> para su aplicación las cuales son: lavado de amina, separación de membranas, un híbrido entre el lavado de amina y la separación por membrana con y sin recuperación de calor, para llegar a este objetivo introdujeron varios criterios de evaluación, como el cambio de costo operativo debido a la aplicación CCS, el costo

de capital para el CCS planta, tasa de CO<sub>2</sub> evitado y costo de evitación. Teniendo como resultado que el caso de hibridación con recuperación de calor es el más competitivo entre las opciones examinadas, ya que presenta el costo operativo más bajo, la tasa más alta del gas evitado, y el óxido de carbono más bajo en el costo de evitación.

Otra investigación realizada por Giordano (2018), titulada *Life cycle assessment of post-combustion CO<sub>2</sub> capture: a comparison between membrane separation and chemical absorption processes*, el cual tuvo como objetivo evaluar y comparar las emisiones del ciclo de vida de las tecnologías de postcombustión basadas en procesos de separación por membranas y absorción química. Teniendo como conclusión que las emisiones del ciclo de vida de los sistemas de captura basados en la separación de membranas eran profundamente afectadas por las propiedades de permeación de gases de los polímeros, también reveló que el CO<sub>2</sub> propuesto en los sistemas de membranas de captura proporcionarán emisiones de ciclo de vida más bajas en comparación con un proceso de absorción convencional basado en aminas.

Siguiendo con las investigaciones Rolfe (2017), en su artículo titulado *Techno-economic and environmental analysis of the calcium carbonate loop for CO<sub>2</sub> capture from a pulverized coal power plant*. El trabajo tuvo como objetivo realizar análisis técnico, económico y medioambiental de un carbón pulverizado (PC) supercrítico en la central eléctrica de postcombustión de CO<sub>2</sub> para su captura. El autor indicó que el bucle de carbonato de calcio es básicamente una tecnología de captura de carbono que se encuentra en la etapa de post combustión la cual funciona a base de oxo calcium, esto permite expulsar el CO<sub>2</sub> que está presente en los gases. Tuvo como conclusión que el uso de esta tecnología disminuye el impacto ecosistémico y antropogénico en un 60%, resaltando que el impacto del cambio climático se reduce en un 72% empleando esta tecnología.

De acuerdo con Luca y Olav (2016) en su investigación titulada *Overview on Pressure Swing Adsorption (PSA) as CO<sub>2</sub> Capture Technology: State-of-the-Art, Limits and Potentials*, tuvo como objetivo proporcionar una visión íntegra de la



posibilidad de la adsorción por oscilación de presión del CO<sub>2</sub> capturando esa tecnología en plantas de energía. En la regeneración de solventes se utiliza el vapor durante el proceso de absorción, en cambio solo se necesita suministrar energía eléctrica directa a la adsorción por cambio de presión. A pesar de los diferentes patrones de consumo de energía, la eficiencia de la energía eléctrica neta final es similar para los dos casos probados, con la adsorción por oscilación de presión mostrando una penalización energética ligeramente menor. Finalmente se determinó en el artículo siguiente, que se logró un desarrollo eficaz de materiales adsorbentes, y también en los procesos de separación. Los adsorbentes metal - orgánicos y los adsorbentes con amina muestran potenciales interesantes, pero aún están en desarrollo, en cambio las zeolitas son el adsorbente de elección actual en muchos casos.

Según Yanyao (2018) en su publicación titulada Thermodynamic and cycle model for MEA-based chemical CO<sub>2</sub> absorption, mantuvo como objetivo de presentar un análisis termodinámico más íntegro sobre un proceso típico de absorción química (AQ) basado en monoetanolamina (MEA). El proceso general de CO<sub>2</sub> basado en productos químicos de combustión contiene principalmente N<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> se enfría a la temperatura requerida alrededor de 313 grados kelvin y entra en la torre de absorción. El disolvente pobre se pone en contacto con los gases de combustión en la torre de absorción. Posteriormente, el solvente surge por la parte inferior y se extrae a la torre de separación después de calentarlo a determinada temperatura. El solvente rico se regenera a 393K en la torre de extracción y el solvente pobre que se encuentra en la parte inferior de la torre se enfría y se recicla de regreso al extractor. Finalmente, en esta investigación se concluyó que se establece un ciclo termodinámico de absorción química basado en MEA basado en el diagrama de absorción del gas.

Para Arnaiz (2018) en su investigación titulada The potential of chemical looping combustion using the gas switching concept to eliminate the energy penalty of CO<sub>2</sub> capture, tuvo como objetivo abordar desafíos a través de una cámara de combustión adicional después de los reactores GSC y mejorar la integración del calor eliminó con éxito la penalización de energía antes mencionada. El número de

reactores de lecho con flujos del tanque agitado continua, esto significa un razonable comportamiento de la mezcla de los lechos con flujo. Además, se logró mantener el equilibrio térmico y químico en el interior del reactor. En general, lo primero se consigue fácilmente debido a la transferencia de calor entre partículas y fluido extremadamente rápido en lechos con flujo, donde los tamaños de partículas son generalmente del orden de 100  $\mu\text{m}$ . Se determinó en este artículo que la combustión por conmutación de gas es una tecnología innovadora y con buenos resultados en la ampliación acelerada de las centrales eléctricas.

Por otro lado; Wang (2017), en su investigación titulada *A novel ammonia-based CO<sub>2</sub> capture process hybrid ammonia absorption refrigeration*, propuso un nuevo proceso de captura de CO<sub>2</sub> basado en amoníaco, refrigeración por absorción de amoníaco híbrida para recuperar el amoníaco escapado en el proceso de desorción. Mediante una fase gas-líquido el amoníaco evaporado se separó con CO<sub>2</sub> y se produjo una carga de enfriamiento. Se buscó en la fase de la mezcla de CO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> para posteriormente guiarse el diseño de los parámetros. En seguida se reveló un desempeño termodinámico preliminar para evaluar esta fase. En los resultados se halló que el generador de CO<sub>2</sub> con una proporción del 90%, puede producir una carga de enfriamiento de 113,3 MW. El estudio de parámetros indicó que es competitivo con el proceso de amoníaco refrigerado. Se concluyó que sí se pueden utilizar grandes concentraciones de solución de amoníaco, ya que esta hace posible la absorción de CO<sub>2</sub>. A continuación, el escape de amoníaco podría controlarse eficazmente mediante el método de separación gas-líquido. Finalmente, el amoníaco retirado se puede utilizar para producir una carga de enfriamiento mediante el proceso de refrigeración por absorción.

La energía renovable se considera un producto estratégico y uno de los indicadores básicos del crecimiento económico y el desarrollo sostenible. Las bases de energía renovable indican como fuente diferentes tipos ya sea eólica, solar, etc. en la actualidad estas fuentes se basan en ser ecológicas y rentables, esto se debe a que influyen en la reducción de la contaminación presente en la actualidad y el continuo cambio climático. (Chughtai y Simonetti, 2020).

Por lo cual la energía renovable está creciendo rápidamente en su participación en el consumo total de recursos energéticos primarios que se esperaba para el 2020, también las industrias de las energías renovables siguen creciendo a un ritmo alto debido al progreso y eficiencia económico-tecnológico, alcanzando una proporción de electricidad renovable mundial del 23% y biocombustibles para transporte un 9% (Proskuryakoba, 2019)

Durante los últimos años se han realizado estudios sobre la relación existente entre la energía renovable y el crecimiento económico, afirmando que el aumento de la energía renovable tiene una asociación positiva respecto a la mejora económica, en el cual se da a notar que el uso de energías convencionales influye en la disminución de la economía en general (Chein y Hu, 2017,).

El aumento de las emisiones atmosféricas preocupa a diversas naciones del mundo porque se vive un incremento en los niveles de temperatura del globo terrestre. Por tanto, es primordial estudiar nuevas tecnologías que mitiguen este problema. No obstante, para que las tecnologías se realicen, los altos costos económicos deben reducirse. Actualmente existe un programa de secuestro de carbono del departamento de energía que persigue activamente este objetivo. Con la obtención de energía a través de la captura de CO<sub>2</sub> se puede lograr mediante varios enfoques: captura de postcombustión, captura de pre combustión y oxcombustión. Las tecnologías mencionadas actualmente se encuentran en investigación ya que para lograr el funcionamiento de estas se necesita saber sobre los métodos como el de sistema de adsorción y membranas. Los estudios actuales además de las tecnologías de vanguardia desarrollan también distintos conceptos innovadores, como son los sistemas basados en enzimas, las estructuras orgánicas metálicas y líquidos iónicos.

Para Bardescu y Legendi (2015), la mayoría de fuentes principales de contaminación a causa de los gases afectan significativamente la salud humana y también perjudican gravemente la flora y fauna, debido a que se encuentran vinculados con la calidad de la atmósfera. Si nuestra atmósfera contamina la calidad de la vida dentro de los ecosistemas se reduce considerablemente. De acuerdo a estudios actuales donde se procesaron datos encontrados en literatura

profesional reciente basada sobre interpolaciones y extrapolaciones, estudiando la concepción propia del CO<sub>2</sub> contenido en la atmósfera terrestre indicarían una afectación considerable a la temperatura global promedio.

Para enfocar las emisiones de este gas mencionamos a continuación las principales fuentes, los equipos eléctricos con electrodomésticos, los sistemas electrónicos de reserva y los efectos negativos de los cambios climáticos. Según Bardescu y Legendi (2016, p.3), las principales fuentes de emisión de CO<sub>2</sub> son: los edificios: residencias particulares, centros comerciales y depósitos Oficinas; vehículos: Roadstead, vías férreas, aeronave, barcos fluviales y marinos; la industria y agricultura: Refinerías, fábricas de papel, industria energética, silvicultura y gestión de residuos. Todas estas se consideran dentro de las fuentes más altas de generación del gas de efecto invernadero a nivel global, por lo que es más complejo llevar a cabo acciones de minimización de dióxido de carbono dentro de estas actividades. En cambio, el resto de las emisiones se dan en focos estacionarios donde sí es posible aplicar tecnologías que conlleven la captura del gas ya mencionado.

Una vez capturado el CO<sub>2</sub> es necesario hallar sus componentes, una de las tecnologías para lograr este objetivo es la producción de hidrógeno en bucle químico (CLH), Se conoce que este dispositivo posee tres reactores: un reactor de combustible, un reactor reducido y un reactor de aire. El carbón y el gas de síntesis es utilizado como material en este dispositivo. Luego pasa por una unidad de síntesis de metanol para la producción de metanol, estas reacciones ocurren en el catalizador a base de Cu (Zhan, 2020).

### **III. METODOLOGÍA**

La presente investigación tuvo como base metodológica las pautas del artículo Revisiones sistemáticas y meta análisis: bases conceptuales e interpretación, para la realización de un meta – análisis en estudios observacionales.

#### **3.1 Tipo y diseño de investigación**

La investigación sobre la revisión sistemática y meta-análisis de la evaluación de tecnologías de captura de CO<sub>2</sub> y obtención de energía renovable, se clasifica como una investigación con enfoque cuantitativo y de tipo aplicada.

Ortega (2018), indica que el enfoque cuantitativo utiliza la observación del proceso en forma de recolección de datos y los analiza para llegar a responder las preguntas de investigación. Por otra parte, Cordero (2009), da a conocer que la investigación aplicada se caracteriza por la utilización de conocimientos adquiridos e implementación de la práctica basada en la investigación.

La presente investigación sobre la revisión sistemática y meta-análisis de la evaluación de tecnologías de captura de CO<sub>2</sub> y obtención de energía renovable es de diseño no experimental y nivel descriptivo.

Según Ruiz (2018), el diseño no experimental no realiza manipulación de variables, es decir que se basa en observar tal y como se den en su contexto natural, para después analizarlos.

#### **3.2 Variables y operacionalización**

Debido a que la presente investigación desarrolla la revisión sistemática y meta-análisis, las dimensiones fueron planteadas de forma general de acuerdo al criterio de los diversos autores de las investigaciones incluidas. Se consideraron como elementos básicos a tener en cuenta la identificación de la variable dependiente e independiente. Los cuales se distinguen entre categorías y subcategorías. En el Anexo 01, se encuentra el cuadro de identificación, en el cual se determinó de acuerdo a los objetivos planteados en el trabajo de investigación.

### **3.3 Población (criterios de selección), muestra, muestreo, unidad de análisis.**

Para llevar a cabo la revisión sistemática se tuvieron en cuenta estudios longitudinales observacionales con información de tecnologías de captura de CO<sub>2</sub> y obtención de energía renovable.

Las investigaciones incluyeron la captura de CO<sub>2</sub> y obtención de energía renovable. De tal forma, las investigaciones realizadas con el fin de obtener energía renovable a partir de la captura de CO<sub>2</sub> fueron incluidas. Investigaciones que evaluaban la efectividad de la captura de CO<sub>2</sub> en comparación con otras tecnologías para la obtención de energía en plantas industriales también y centrales eléctricas fueron incluidas. Por otro lado, las investigaciones que realizaron la obtención de energía a través de métodos ineficientes, las investigaciones con datos insuficientes y artículos de opinión fueron excluidas.

Se buscaron artículos indexados de diversas localizaciones geográficas y en varios idiomas. Se utilizaron diversas herramientas de traducción virtual para comprender el contenido de dichas investigaciones.

Respecto a la fecha de publicación de las investigaciones, se pretendió que estas no superan los cinco años de antigüedad a partir de la fecha actual, aunque las investigaciones que superaron ese límite de tiempo se tomaron en cuenta en caso de cumplir con las especificaciones para la presente investigación.

Conformado por investigaciones alojadas en base de datos del entorno académico, y que tratan sobre las evidencias de las tecnologías que capturan el CO<sub>2</sub>, y obtención de energía renovable.

La muestra de la investigación fueron estudios que cumplieron con los criterios de inclusión de acuerdo a la escala de calidad Newcastle-Ottawa (NOS), siendo un total de 20 investigaciones

La investigación utilizó la técnica del meta-análisis como muestreo, puesto que es una herramienta estadística la cual ayuda a estimar los resultados de una colección de estudios empíricos que abordan visiblemente la misma pregunta de investigación (Field, 2010).

La unidad de análisis de la investigación fue el aglomerado de artículos científicos que contenían información acerca de la evaluación de tecnologías de captura de CO<sub>2</sub> y obtención de energía renovable.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La técnica que se utilizó en el desarrollo de la presente investigación fue la revisión sistemática, la cual permitió sintetizar la información científica disponible, incrementar la validez de las conclusiones de estudios individuales e identificar áreas de incertidumbre donde sea necesario realizar investigación.

Para la recolección de datos se utilizó como instrumento tablas para recopilar la información destacada de las investigaciones para luego pasar al meta-análisis. Seguidamente, se realizó el metanálisis el cual permite analizar los datos obtenidos de la revisión sistemática.

.

### **.3.5 Procedimiento**

Se procedió a la revisión de artículos indexados en las bases de datos Science Direct, EBSCO, DOAJ, SCOPUS, World cat y Web of science el procedimiento empieza por la búsqueda a través de palabras, donde se describe en la Tabla 1:

**Tabla 1. Búsqueda de información primaria**

<b>Fuentes</b>	<b>Palabras claves</b>
Science Direct	“Carbon capture and sequestration Energy” OR “Post-combustion CO <sub>2</sub> capture” OR “CO <sub>2</sub> capture technologies” OR “Obtaining energy

---

through CO2" OR "Obtaining energy from CO2" OR "CO2 capture" OR "Obtaining renewable energy" OR "modern technologies in CO2 capture" OR "CO2 Capture technology" OR "capture of CO2 by chemical absorption" OR "CO2 capture by cryogenic distillation" OR "CO2 storage technologies" OR " "CO2 sequestration" OR "Dimethyl Ether (DME) production from carbon dioxide" OR "Methanol production from carbon dioxide" OR "CO2 capture by chemical absorption" OR "Capture of CO2 by chemical absorption" OR "CO2 capture by cryogenic distillation"

---

EBSCO

"Carbon capture and sequestration Energy" OR "Post-combustion CO2 capture" OR "CO2 capture technologies" OR "Obtaining energy through CO2" OR "Obtaining energy from CO2" OR "CO2 capture" OR "Obtaining renewable energy" OR "modern technologies in CO2 capture" OR "CO2 Capture technology" OR "capture of CO2 by chemical absorption" OR "CO2 capture by cryogenic distillation" OR "CO2 storage technologies" OR " "CO2 sequestration" OR "Dimethyl Ether

---



---

(DME) production from carbon dioxide”  
OR “Methanol production from carbon  
dioxide” OR “CO2 capture by chemical  
absorption” OR “Capture of CO2 by  
chemical absorption” OR “CO2 capture  
by cryogenic distillation”

---

DOAJ

“Carbon capture and sequestration  
Energy” OR “Post-combustion CO2  
capture” OR “CO2 capture  
technologies” OR “Obtaining energy  
through CO2” OR “Obtaining energy  
from CO2” OR “CO2 capture” OR  
“Obtaining renewable energy” OR  
“modern technologies in CO2 capture”  
OR “CO2 Capture technology” OR  
“capture of CO2 by chemical  
absorption” OR “CO2 capture by  
cryogenic distillation” OR “CO2  
storage technologies” OR “CO2  
sequestration” OR “Dimethyl Ether  
(DME) production from carbon dioxide”  
OR “Methanol production from carbon  
dioxide” OR “CO2 capture by chemical  
absorption” OR “Capture of CO2 by  
chemical absorption” OR “CO2 capture  
by cryogenic distillation”

---

SCOPUS

“Carbon capture and sequestration  
Energy” OR “Post-combustion CO2  
capture” OR “CO2 capture

---

---

technologies” OR “Obtaining energy through CO<sub>2</sub>” OR “Obtaining energy from CO<sub>2</sub>” OR “CO<sub>2</sub> capture” OR “Obtaining renewable energy” OR “modern technologies in CO<sub>2</sub> capture” OR “CO<sub>2</sub> Capture technology” OR “capture of CO<sub>2</sub> by chemical absorption” OR “CO<sub>2</sub> capture by cryogenic distillation” OR “CO<sub>2</sub> storage technologies” OR “ “CO<sub>2</sub> sequestration” OR “Dimethyl Ether (DME) production from carbon dioxide” OR “Methanol production from carbon dioxide” OR “CO<sub>2</sub> capture by chemical absorption” OR “Capture of CO<sub>2</sub> by chemical absorption” OR “CO<sub>2</sub> capture by cryogenic distillation”

---

Web of Science

“Carbon capture and sequestration Energy” OR “Post-combustion CO<sub>2</sub> capture” OR “CO<sub>2</sub> capture technologies” OR “Obtaining energy through CO<sub>2</sub>” OR “Obtaining energy from CO<sub>2</sub>” OR “CO<sub>2</sub> capture” OR “Obtaining renewable energy” OR “modern technologies in CO<sub>2</sub> capture” OR “CO<sub>2</sub> Capture technology” OR “capture of CO<sub>2</sub> by chemical absorption” OR “CO<sub>2</sub> capture by cryogenic distillation” OR “CO<sub>2</sub> storage technologies” OR “ “CO<sub>2</sub>

---

sequestration" OR "Dimethyl Ether (DME) production from carbon dioxide" OR "Methanol production from carbon dioxide" OR "CO2 capture by chemical absorption" OR "Capture of CO2 by chemical absorption" OR "CO2 capture by cryogenic distillation"

---

WorldCat

"Carbon capture and sequestration Energy" OR "Post-combustion CO2 capture" OR "CO2 capture technologies" OR "Obtaining energy through CO2" OR "Obtaining energy from CO2" OR "CO2 capture" OR "Obtaining renewable energy" OR "modern technologies in CO2 capture" OR "CO2 Capture technology" OR "capture of CO2 by chemical absorption" OR "CO2 capture by cryogenic distillation" OR "CO2 storage technologies" OR "CO2 sequestration" OR "Dimethyl Ether (DME) production from carbon dioxide" OR "Methanol production from carbon dioxide" OR "CO2 capture by chemical absorption" OR "Capture of CO2 by chemical absorption" OR "CO2 capture by cryogenic distillation"

---

Fuente: Elaboración propia

Se continuó con la selección de los artículos, los cuales fueron depurados utilizando criterios de inclusión en donde se consideraron en cuenta estudios longitudinales observacionales con información de tecnologías de captura de CO<sub>2</sub> y obtención de energía renovable para su posterior análisis, dando como resultados artículos relevantes para el cumplimiento del objetivo de este trabajo de investigación.

### **3.6 Método de análisis de datos**

El método de análisis de datos se realizó usando el programa Review Manager (RevMan 5.4), el cual es un software estadístico que elabora revisiones sistemáticas y genera meta-análisis. Dicho esto, el programa ayuda a que los investigadores realicen correctamente una revisión.

Para la elaboración del meta-análisis se utilizaron datos dicotómicos, los cuales se verificaron con la razón de momio (Odds Ratio). Los intervalos de confianza en los que se desarrollaron las estimaciones fueron del 95%,

Respecto a la heterogeneidad de las investigaciones, esta se observó en el análisis visual del diagrama de bosque, en donde se cuantifica con la prueba I<sup>2</sup> esta prueba demuestra valores de 25%, 50% y 75% lo cual indica valores bajos, medios y altos respectivamente de acuerdo a la heterogeneidad de los estudios.

### **3.7 Aspectos éticos**

Para la evaluación de la calidad dentro de la investigación se contó con la escala de Newcastle-Ottawa, con la finalidad de evaluar el diseño y calidad de estudios no aleatorios. De acuerdo a esta escala, establece categorías para cada diseño las cuales son selección, comparabilidad y desenlace. Por parte de la selección se toma en cuenta la representatividad dentro de la población establecida.

El estudio consideró investigaciones que se encuentran en las bases de datos indexadas, donde se garantiza la confiabilidad y validez de los mismos, por lo rigurosos estándares de revisión por pares que utilizan este tipo de documentos, lo

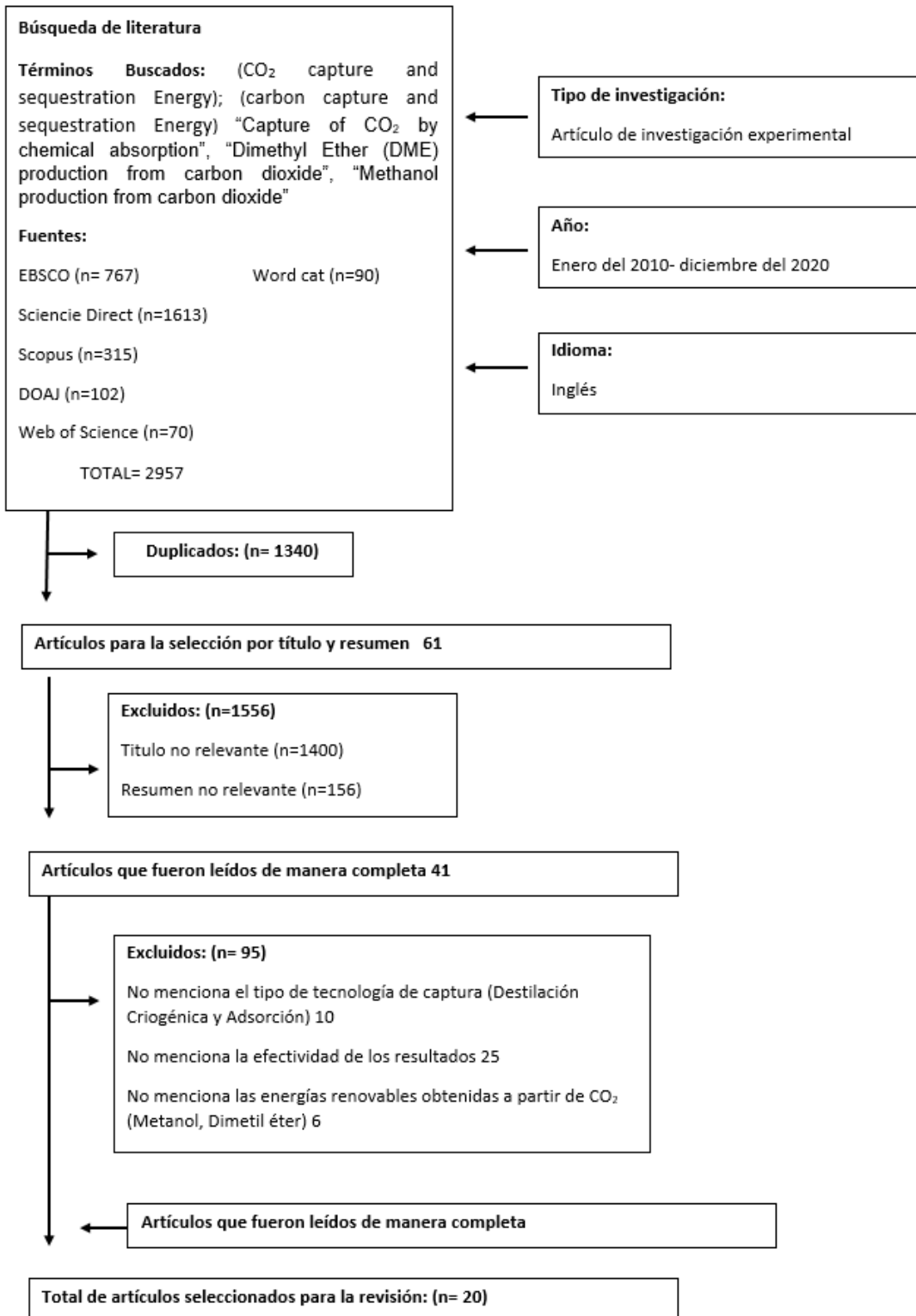
que permite confirmar la veracidad de los datos obtenidos. A su vez, se demostró la consistencia lógica, credibilidad, confiabilidad y la transferibilidad o aplicabilidad fundamentada en la calidad de los procedimientos. Finalmente; se usó la observación para la identificación de puntos relevantes en la investigación con el fin de encontrar el proceso de estudio adecuado.

El estudio se respalda en los aspectos éticos ya establecidos, demostrando que la información reportada y analizada serán de fuentes confiables, en este caso de las bases de datos indexadas, respetando la autoría de investigadores a través de su cita correcta. Los resultados se evaluarán de forma objetiva mostrando las conclusiones en base al análisis documental de los artículos.

De igual manera, se acató el derecho de autenticidad de los autores, citandolos de acuerdo a la norma (ISO 690). Dando como resultado que el presente trabajo de investigación tuvo un porcentaje de similitud del 6% en la plataforma Turnitin, la cual tiene como objetivo la protección de derechos de autor.

## IV. RESULTADOS

A continuación, en la Figura 1, se presenta el diagrama de flujo del proceso de obtención de los resultados de las investigaciones incluidas para la meta-análisis:



**Figura 1. Proceso de obtención de investigaciones incluidas para el meta-análisis**

Descripción de cada fase del proceso de obtención de investigaciones para el meta-análisis

**A:** Todos los documentos fueron extraídos de bases de datos indexadas las cuales se mencionaron anteriormente, esto se realiza de acuerdo a las estrategias de búsqueda dando un total de 2957 documentos.

**B:** Del total de documentos obtenidos se le restó los duplicados quedando con 1617 documentos

**B.1:** En relación a la fase B se tuvo un total de 1556 investigaciones excluidas, las cuales se excluyeron por no poseer relevancia en el trabajo en el título y resumen

**C:** De acuerdo a los criterios de inclusión aplicados en la Fase A. fueron aceptadas 41 investigaciones, las cuales volvieron a ser evaluadas de acuerdo a los criterios de inclusión, pero en esta ocasión a texto completo

**D:** Se aplicó los criterios de inclusión según la escala Newcastle – Ottawa modificada, al texto completo de las 41 investigaciones.

**D.1:** En relación a la fase D se obtuvo un total de 95 investigaciones excluidas. Los factores de la exclusión fueron: no menciona el tipo de metodología (n=26), no menciona el porcentaje de efectividad de los resultados (n=25), y no menciona la efectividad de los resultados (n=16).

**E:** Se obtuvo un total de 20 investigaciones, luego de aplicar los criterios de inclusión según la escala Newcastle – Ottawa modificada, para proceder con la aplicación del meta-análisis.

La Figura 1 manifestó de forma resumida la búsqueda de estudios relevantes, indicando la cantidad de investigaciones excluidas y aquellas investigaciones que finalmente fueron incluidas tras aplicar los criterios de calidad para de tal forma eliminar las redundancias que se presentaron por el uso de diversas bases de datos. De todos los estudios localizados, 20 cumplieron con los criterios de inclusión establecidos. De los cuales, todos fueron publicados en su totalidad. Todas las investigaciones estaban escritas en inglés, por lo que se tuvo que traducir cada una de ellas para obtener los datos.



**Tabla 2. Características de los estudios sobre tecnologías de captura de CO<sub>2</sub>**

Referencia	Ámbito geográfico-temporal	Porcentaje de obtención de CO <sub>2</sub> (%)	Tipo de tecnología	Condiciones operacionales	Tipo de análisis estadístico	Resultados	Conclusiones	Observaciones
Jensen, et al., 2015	Estados Unidos	90	Captura Criogénica	Tiempo (horas)= 2 Presión (KPa) Temperatura(K)	No menciona qué tipo de análisis estadístico realizaron	Los resultados de un proceso de destilación de criogénica una duración de 2 horas, temperatura de 140 k-145 K y cerca de una presión <200 KPa mostraron que una obtención del 90% de CO <sub>2</sub>	Se logró demostrar que el funcionamiento básico con un 90% de captura de CO <sub>2</sub> genera corrientes de combustión de hasta 1,4 m <sup>3</sup> / min. La corriente producida por el proceso contiene un 99,2% de pureza de este gas.	La investigación señala que su proceso de captura de CO <sub>2</sub> respecto a la captura convencional de este gas no requiere cambios en la presión y tampoco implica condensación durante todo el proceso
Farhad, et al., 2016	Irán	94	Destilación Criogénica	Presión (KPa) Temperatura C°	Utilizaron LabVIEW (DAQ) (National Instruments) la cual proporciona datos y control de proceso para la experimentación	Los resultados mostraron que en el proceso experimental realizado se logró la captura más alta de CO <sub>2</sub> DE UN 94% a una presión de 206,84 KPa	Indicaron que una alta presión y un bajo contenido de metano en la composición del proceso dan como resultado una alta captura de CO <sub>2</sub> , aunque la eficiencia de captura alcanza un máximo a presión intermedia.	Antes de la utilización del sistema de proceso, este se enfrió mediante la circulación del líquido de contacto a través del sistema como un refrigerador criogénico
Russell, et al., 2015	Estados unidos	90	Destilación Criogénica	Temperatura (K) Presión (KPa)	No menciona que tipo de análisis estadístico realizaron	El resultado del trabajo mostró un 90% de eficiencia de captura de CO <sub>2</sub> a una temperatura de 289K con una caída	El estudio concluyó que se requiere alta presión para un mejor secuestro de CO <sub>2</sub> y que las emisiones producidas por este	La investigación indica que es posible capturar el 99% de CO <sub>2</sub> con temperaturas menores de hasta 130K, los

						de presión de 5 KPa	proceso cumplen con las pautas actuales de emisión de fuentes de la EPA	experimentos y teorías lo demuestran, sin embargo el costo sería demasiado alto
Shunhong, et al., 2015	China	93	Captura Criogénica	Temperatura (k) Presión (MPa)	No menciona que tipo de análisis estadístico realizaron	Los resultados de la investigación también que la tasa de captura de CO <sub>2</sub> y la pureza del CO <sub>2</sub> capturado son 93,98% y 93,95%, respectivamente, cuando los parámetros son de 3,493 MPa y 217K	La conclusión de la investigación fue que el nuevo sistema mejorado de captura criogénica de CO <sub>2</sub> ahorra un 20,49% de energía en comparación a sistemas de refrigeración comunes	La investigación realizó un nuevo sistema de captura de CO <sub>2</sub> criogénica en donde mostraron los parámetros de temperatura y presión en puntos claves de este sistema para así verificar el consumo de energía y eficiencia de captura.
Xu, et al., 2014	China	76	Separación y destilación Criogénica	Temperatura (C°) Presión (bar)	No menciona qué tipo de análisis estadístico realizaron	El resultado de la investigación indica que la pureza en el producto es constantemente superior al 99,9% después de la destilación, independientemente de la concentración inicial de CO <sub>2</sub>	Concluyeron que el subsistema de separación criogénica podría separar la mayor parte del CO <sub>2</sub> de mezclas de gases con una penalización energética relativamente baja y podría recuperar completamente la energía fría del producto de separación	La investigación propuso un sistema de separación y purificación basado en análisis en profundidad de la teoría de la separación y destilación criogénica, así como la características de transición de fase de mezclas de gases que contienen CO <sub>2</sub> .
Lawal, et al., 2011	Reino Unido	96.7	Adsorción química	presión = - Temp. (°C) = 15 Tiempo (horas) = 10	No menciona qué tipo de análisis estadístico realizaron.	Las condiciones se mantuvieron durante aproximadamente 10 horas. En el primer caso (Caso 1), las tasas de	Se demostró que las presiones parciales de CO <sub>2</sub> más altas en los gases de combustión redujeron los requisitos de energía para la	La investigación señala que se plantearon dos casos, sin control de nivel de captura y con control de nivel de captura.

						<p>circulación de solventes se mantuvieron sin cambios y en el segundo (Caso 2), las tasas fueron ajustadas por un controlador para mantener los niveles de captura de CO<sub>2</sub> en 96.7%</p>	<p>captura y puede haber margen de mejora, ya que también aumentaron las temperaturas de funcionamiento del absorbedor, lo que puede reducir la eficiencia del proceso de absorción.</p>	<p>Con el enriquecimiento de oxígeno, las presiones parciales de CO<sub>2</sub> en los gases de combustión aumentan significativamente, lo que aumenta significativamente las fuerzas impulsoras para la absorción.</p>
Kothandaraman.et al.,2010	Noruega	95	Adsorción química	<p>presión =15atm Temp. (°C) = 15 Tiempo (horas) = 0.5</p>	<p>No menciona qué tipo de análisis estadístico realizaron.</p>	<p>El sistema MEA se modeló con las especificaciones presentadas en la sección anterior. Las simulaciones predicen un deber de recalentamiento de 4500 kJ / kg para el gas natural y un deber de 4200 kJ / kg para el gas de una central eléctrica de carbón. La diferencia entre los dos se debe a la mayor carga rica que se puede obtener con el sistema de carbón.</p>	<p>Se ha desarrollado un marco coherente para comparar diferentes disolventes para la captura de CO<sub>2</sub> utilizando el marco ASPEN RateSep. La simulación de MEA produjo resultados que coincidieron bien con los de los valores informados experimentalmente.</p>	<p>La investigación describe la metodología de las simulaciones y algunos resultados de dos sistemas(MEA y K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).</p>
YE.et al.,2016	Suiza	85	Adsorción química	<p>presión =100 bar Temp. (°C) = 250 Tiempo (horas) = 10</p>	<p>No menciona qué tipo de análisis estadístico realizaron.</p>	<p>Se concluye que casi todos los disolventes probados tenían una capacidad de carga de CO<sub>2</sub> comparable o superior a la de MEA. Para mezclas</p>	<p>El análisis de especiación por resonancia magnética nuclear reveló que la absorción de CO<sub>2</sub> en los disolventes bifásicos se sometió a un proceso de dos</p>	<p>Se observó que la adición de una fracción molar alta del componente A promueve la tasa de absorción y mejora la capacidad de carga de CO<sub>2</sub> para los procesos</p>

						de solventes con la misma molalidad de amina (entre el Grupo I, III o IV), la tasa de absorción de CO <sub>2</sub> aumentó con una relación molar creciente de A a B o Bc, como lo indica la mayor carga de CO <sub>2</sub> lograda en el mismo tiempo de absorción.	etapas en el que los productos de las reacciones de CO <sub>2</sub> -DETA fueron dominantes en la fase líquida rica en CO <sub>2</sub> en la etapa inicial, y las moléculas de PMDETA participaron en las reacciones y disuelto en la fase rica en CO <sub>2</sub> , concomitantemente con la formación de especies de HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> y expansión volumétrica de la fase rica en CO <sub>2</sub> , en la etapa tardía.	de absorción y desorción de CO <sub>2</sub> , mientras que la adición de una fracción molar alta del componente B eleva la presión de desorción de CO <sub>2</sub> .
Gervasi, et al., 2014	Bélgica	53	Adsorción química	presión =1atm Temp. (°C) = 298k Tiempo= 80 min	No menciona qué tipo de análisis estadístico realizaron.	Los rendimientos de absorción inicial del solvente híbrido son claramente mejores que los de MEA 30% (53% contra 31%). Lógicamente, la concentración de CO <sub>2</sub> aumenta más rápidamente en el solvente híbrido (fase pesada) que en MEA 30%, siendo las concentraciones finales de CO <sub>2</sub> casi idénticas para los dos disolventes (alrededor de 0,45 10 <sup>3</sup> mol CO <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> ).	El propósito de este estudio fue resaltar nuevos solventes que pudieran reemplazar a los convencionales, como MEA, para el proceso de captura de CO <sub>2</sub> poscombustión por absorción química. El aspecto innovador de esta investigación fue el uso de acetal, y especialmente el 2,5,7,10-tetraoxaundecano (TOU), como parte física de nuevos disolventes híbridos compuestos de compuesto (s) a base de amina (s).	Los efectos promotores del acetal también se destacaron para la solución MEA 30% + TOU 35% en términos de mejores eficiencias de regeneración

Dubois, et al., 2013	Bélgica	18	Adsorción química	atm 1 298k 2 horas	No menciona qué tipo de análisis estadístico realizaron.	El resultado con mayor rendimiento (A> 18%) pertenece al tercer grupo (PZ 15%, MMEA 30% en peso). % y MEA 30% en peso).	Mediante comparación de las eficiencias de absorción y constantes cinéticas de desorción comparación (obtenida a partir de cálculos de eficiencia de regeneración), estas pruebas nos permitieron evaluar la Potenciales de absorción y regeneración de diferentes disolventes	Para las mezclas de aminas, se observaron mayores rendimientos de regeneración con las soluciones activadas con PZ que con las soluciones activadas con PIP.
----------------------	---------	----	-------------------	--------------------------	--	---	--	--

En la presente revisión sistemática, como primer paso se verificaron 20 investigaciones publicadas entre enero del 2010 y diciembre del 2020, de las cuales se separaron en 10 para tecnologías de captura y 10 de obtención de energía renovable. El número total de tecnologías usadas en las investigaciones abordadas fueron 2, la eficiencia de la tecnología de destilación criogénica manifestó un rango de 75% a 95%. Las investigaciones se desarrollaron en los países de Bélgica, Suiza, Noruega, Reino Unido, China e Irán.

De las 10 investigaciones que hablan sobre tecnologías de captura de CO<sub>2</sub>, dos del país de China fueron las que presentaron mayor porcentaje de eficiencia en la utilización de destilación criogénica. De estas investigaciones 7 sobrepasan el valor de 75% de efectividad prevaleciendo la tecnología de destilación criogénica.

**Tabla 3. Características de los estudios sobre obtención de energía renovable**

Referencia	Ámbito geográfico-temporal	Porcentaje de obtención de Metanol o Dimetil Éter (%)	Tipo de tecnología	Condiciones operacionales	Tipo de análisis estadístico	Resultados	Conclusiones	Observaciones
Liu y Larson,2014	China	90	Tecnología acid gas removal (AGR) (DTG)	62 bar 260C° 2 horas	No menciona qué tipo de análisis estadístico realizaron	El MEGE y la eficiencia general de la planta cambian con la fracción de electricidad de diseño (EF) para una planta CTG-OT. El EF se puede variar cambiando el diseño del reactor de síntesis de DME para lograr una conversión de CO a líquidos mayor o menor. Esto se simula disminuyendo o aumentando la temperatura de aproximación supuesta. Variando la temperatura de aproximación de 0 a 90°C se obtiene una conversión de CO por pasada de 89% a 50%. Energía La eficiencia aumenta con la disminución de la EF porque el gas de síntesis se puede convertir en líquidos de manera más eficiente que en electricidad.	El CCS está incluido en los diseños de la planta, hay menos CO <sub>2</sub> no en el producto líquido, y por lo tanto menos CO <sub>2</sub> disponible para captura. Esto da como resultado un GHGI más alto para el diseño DTG.	La investigación presenta balances de energía y carbono y estimaciones de costos basados en simulaciones detallada del proceso Aspen Plus para cinco diseños de plantas para producir gasolina y electricidad a partir del carbón mediante un proceso de DME a gasolina (DTG).
Van.et al.,2020	Países Bajos	80	El proceso SEDMES	50 bar 260C°	No menciona qué tipo de análisis	Los resultados a 30 bar ya se alcanza una selectividad de DME	El proceso SEDMES es un proceso de	La regeneración, inherente a un proceso

				2 horas	estadístico realizaron	del 64,9%, que mejora aún más al 76,7% a 50 bar de presión de funcionamiento	intensificación prometedor, ya que alcanza más del 80% de conversión de CO <sub>2</sub> de una sola pasada y más del 70% de rendimiento de DME (carbono) de una sola pasada para un sistema de columna de tres reactores no optimizado. El aumento de la conversión de una sola pasada reduce las unidades de separación aguas abajo y las corrientes de reciclaje, especialmente para una alimentación rica en CO <sub>2</sub> .	de adsorción reactiva, tiene una gran influencia en la capacidad total de adsorción del sistema.
Bonura.et al.,2020	Italia	90	catalizadores híbridos basados en zeolita	50 bar 260C° 2 horas	No menciona qué tipo de análisis estadístico realizaron	Los resultados una capacidad acumulada de CO <sub>2</sub> de 123 μmol / gcat representa una población predominante de sitios básicos débiles-medianos (aproximadamente 90%) concentrados principalmente por debajo de 250 °C, como diagnóstico de grupos hidroxilo de superficie o pares metal-oxígeno	Partiendo de los enfoques novedosos para el desarrollo de catalizadores híbridos para ser empleados en la hidrogenación directa de CO <sub>2</sub> a DME, este trabajo da un paso adelante en la definición de las etapas de control del proceso y los principales intermediarios involucrados en el mismo, también en la luz Z de los aspectos termodinámicos, sugiriendo la operación a alta presión y baja temperatura para lograr tanto una alta conversión como un rendimiento de DME.	Al igual que otros mecanismos propuestos en el estado de la técnica, la eficiencia del catalizador depende de varias características del catalizador, relacionadas no solo con la fase de óxido metálico responsable de la activación / hidrogenación del CO <sub>2</sub>

Ran.et al.,2019	Estados Unidos	65	hidrogenación de CO2	50 bar 260C° 2 horas	No menciona qué tipo de análisis estadístico realizaron	Conversión de CO2 reducida de 26,4% a 23,6% y selectividad DME reducida de 64,8% a 56,4% después de 100 h de reacción, y el rendimiento de DME se redujo de 17,1% a 13,3 %.	En este estudio, se analizó el impacto de diferentes métodos de mezcla de CZA y HZSM-5 en la producción de DME a partir de la hidrogenación de CO2. Los catalizadores bifuncionales se caracterizaron por adsorción y desorción de nitrógeno, quimisorción y XRD. Se estudiaron los efectos de la carga de HZSM-5 sobre la síntesis de DME y la estabilidad del catalizador bifuncional.	La prueba de actividad indica que hubo un efecto menor en el rendimiento de DME cuando los catalizadores bifuncionales se prepararon mediante el método B y el método C
Leonzio, 2018	Italia	75.	50	1.2 MPa 533K 2 horas	No menciona qué tipo de análisis estadístico realizaron	Con las condiciones de operación de entrada de temperatura 533 K, la presión 1,2 MPa y un flujo de 3540 kmol h – 1, la conversión de salida del reactor alcanza el 80% y el rendimiento de DME es de 1026 kt / a	En las reacciones de hidrogenación, el dióxido de carbono es un residuo que se valorizado para producir un compuesto valioso. Puede tomarse de residuos industriales o de la atmósfera. El hidrógeno, mientras tanto, puede ser obtenido por la electrólisis del agua utilizando excedentes de energía renovable	Los esfuerzos de investigación futuros deben centrarse en los procesos de reforma en seco, las técnicas innovadoras de captura de dióxido de carbono y la disponibilidad de hidrógeno a un costo reducido, y una difusión más amplia de estos conceptos científicos y técnicos para ampliar la aceptación social.
Guzm, et al., 2017	Italia	91	tecnología termo catalítica y electro catalítico	Presión (bar) CO2 % de conversión	No menciona el tipo de análisis estadístico que realiza	El porcentaje conversión de la tecnología termo catalítica alcanzó un 91,4% con una presión de 80 bar y una temperatura de 60 C°, mientras	La investigación concluyó que el electro catálisis y la termo catalítica difieren entre sí sólo en los medios utilizados para el	La investigación presenta pruebas a escala de laboratorio, simulaciones ampliadas y evalúa el



						que la tecnología electro catalítica alcanzó en los mejores escenarios 74% de conversión	éxito de la conversión (hidrógeno molecular, condiciones de operación y / o capacidad del reactor), pero en el documento demostraron que un catalizador basado en Cu / Zn / Al que trabaja en condiciones de vanguardia en un proceso termocatalítico tiene el potencial de producir también el mismo producto.	desempeño ambiental y económico de estos procesos
Haitham,et al., 2015	Reino Unido	41	Hidrogenación y electrólisis a alta temperatura	Presión (bar) Temp (K)	Usaron el Aspen HYSYS para la simulación de las dos procesos de producción de metanol	Los resultados del trabajo de investigación encontraron que la producción de metanol basado en CO <sub>2</sub> , La electrólisis tiene una eficiencia energética del 41% a condiciones de 20 bar y 350k, casi el doble que la del proceso de hidrogenación	La investigación concluye que el proceso de hidrogenación puede producir más CO <sub>2</sub> cuando el combustible fósil Se utilizan como fuentes de energía, pero dan como resultado un CO <sub>2</sub> negativos. Ambos procesos superan a los procesos convencionales de producción de metanol basado en combustibles fósiles en la reducción de CO <sub>2</sub>	La investigación compara dos procesos de obtención de metanol a base de CO <sub>2</sub> , donde comparan entre sí en términos de necesidades energéticas e impacto climático, además de su rendimiento.
Arpa,et al., 2015	Alemania	65	Electrólisis de membrana de intercambio ácido de protones	Presión (bar) Temp.(C°)	No menciona el tipo de análisis estadístico que realiza	El resultado de la investigación muestra que la Electrólisis de membrana de intercambio ácido de protones llega a tener un 65% de eficiencia en comparación al de electrólisis alcalina que solo	La conclusión de la investigación es que La tecnología para la producción de metanol a partir de fuentes de CO <sub>2</sub> como,	La investigación se centra en dos tipos diferentes de proceso para su comparación encontrando que la primera funciona a 80

			y electrólisis alcalina			alcanza un 42% de eficiencia	energía renovable presenta importantes ventajas económicas y ecológicas, evitando las emisiones derivadas de los combustibles fósiles para el transporte.	C° y 30 bares y la segunda la cual tiene más porcentaje de eficiencia funciona a 100 C° y 200 bares
Kiss, et al., 2016	Países bajos	95	Alimentación de hidrógeno húmedo y Alimentación de hidrógeno seco	Presión (bar) Temp.(C°)	Utilizaron el Aspen Plus para el cálculo de los resultados	Los resultados mostraron que el proceso de alimentación de hidrógeno húmedo alcanzó un 95%% en una condición de 100 C° y 70 barde conversión de CO <sub>2</sub> a metanol en comparación de la alimentación de hidrógeno seco el cual alcanzó el 90% de conversión	Concluyeron que La síntesis de metanol por hidrogenación de dióxido de carbono es factible en el nuevo proceso eficiente propuesto. Una característica clave de este nuevo proceso es el uso de una unidad de separación en la que el hidrógeno húmedo fluye en contracorriente con la mezcla condensada metanol-agua.	El estudio propone un proceso eficiente para la síntesis de metanol por CO <sub>2</sub> hidrogenación utilizando de subproducto de hidrógeno húmedo
Storch, et al., 2016	Alemania	65	Proceso de producción de metanol mediante reformado solar de CO <sub>2</sub>	Temp. (C°)	No menciona el tipo de análisis estadístico que realiza	El resultado de la investigación demuestra que el proceso de reformado solar con 50C° alcanzó una eficiencia del 65%	Se concluyó que existe una fuerte necesidad de desarrollar más procesos para utilizar energías renovables en la industria química. Por lo tanto, es probable que en un futuro próximo se desarrollen una variedad de nuevos procesos que puedan optimizar y evaluar mejor estos procesos	La investigación indica que el proceso propuesto plantea una opción para ampliar el rango de aplicación de las energías renovables al sector de la industria química de una manera altamente eficiente y su desarrollo debe continuar.

En la presente revisión sistemática, como primer paso se verificó 10 investigaciones publicadas entre 2010 y diciembre del 2020 sobre la obtención de energía renovable. El número total de energía renovable en las investigaciones abordadas fueron 2 las cuales son Dimetil éter y metanol, la eficiencia de la obtención de Dimetil éter está entre un rango de 75% a 95%. Las investigaciones se desarrollaron en los países de Alemania, Países Bajos, Reino Unido, Italia, China.

De las 10 investigaciones que hablan sobre obtención de energía renovable, tres del país de Italia presentaron mayor porcentaje de eficiencia de obtención de Dimetil éter. De estas investigaciones 7 sobrepasan el valor de 75% de efectividad prevaleciendo la tecnología de destilación criogénica.

**Tabla 4. Condiciones operacionales de las tecnologías de captura de CO<sub>2</sub>**

Autor(es) del estudio	Condiciones operacionales			% de eficiencia de Destilación criogénica	Condiciones operacionales			% de eficiencia de Adsorción
	Tiempo (Horas)	Temperatura (C°)	Presión (atm)		Tiempo (Horas)	Temperatura (C°)	Presión (atm)	
Dubois, et al., 2013	2	-117	2.5	50	2	24	1	18
Farhad, et al., 2016	-	-106	2	94	10	21	-	90
Gervasi, et al., 2014	1.5	-129	2	70	1	24	1	53
Jensen, et al., 2015	2	-133	1.9	90	5	12	-	80
Kothandaraman, et al., 2010	-	-78	21	90	0.5	15	15	95

Lawal, et al., 2011		-111	3	90	10	15	-	96
Russell, et al., 2015	-	-143	1.5	90	2	22	2	89
Shunhong, et al., 2015	-	-56	29	93	10	240	70	85
Xu, et al., 2014	3.5	-178	1.7	76	5	15	-	56
Ye, et al., 2016	4	-198	2	87	10	250	98	85

Se observó en las investigaciones que, para los valores de temperatura y presión, tenían valores de K para temperatura y Pa y MPa para presión, por lo cual se procedió a transformar las unidades a C° y atm para que los datos se puedan presentar de una manera homogénea.

**Tabla 5. Condiciones operacionales de obtención de energía renovable**

Autor(es) del estudio	Condiciones operacionales			% Obtención de Metanol a partir de CO <sub>2</sub>	Condiciones operacionales			% Obtención de Dimetiléter a partir de CO <sub>2</sub>
	Tiempo (Horas)	Temperatura (C°)	Presión (atm)		Tiempo (Horas)	Temperatura (C°)	Presión (atm)	
Arpa,et al., 2015	-	80	29.6	65	-	100	197.4	80
Bonura, et al., 2020	-	80	50	79	2	200	49.3	90
Guzm, et al., 2017	-	60	78	91	-	80	78	88
haitham, et al.,2015	-	76	19	41	-	70	50	73
Kiss, et al., 2016	-	100	69	95	-	100	50	91

Leonzio, 2018	2	200	10	66	2	259	11	75
Li, et al., 2014	2	150	25	83	2	260	61	90
Ran, et al., 2019	-	200	20	60	2	260	49	65
Storch, et al., 2016	-	50	-	65	-	70	-	76
Van, et al.2020	2	260	30	70	2	260	49	80

De igual manera se observó en las investigaciones que para los valores de temperatura y presión, estaban en valores de K para temperatura y Pa y mPa para presión, por lo cual se procedió a transformar las unidades a C° y atm para que los datos se puedan presentar de una manera homogénea

**Tabla 6. Calidad de la metodología de estudios incluidos**

Estudios	Newcastle-Ottawa			Datos específicos		
	Selección	Resultado		Temperatura	Presión	Periodo del proceso
	Representatividad	Porcentaje de Captura	Porcentaje de obtención			
Dubois, et al., 2013	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Farhad, et al.,2016	SI	SI	SI	SI	NO	NO
Gervasi, et al., 2014	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Jensen, et al., 2015	SI	SI	SI	SI	NO	SI
Kothandaraman, et al., 2010	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Lawal, et al., 2011	SI	SI	SI	SI	SI	NO



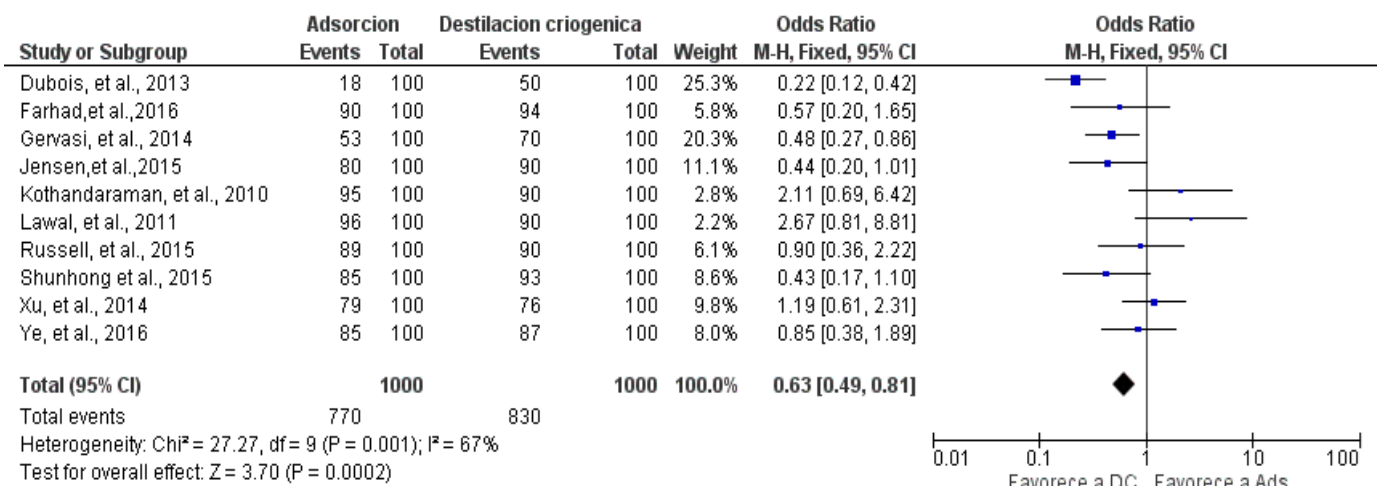
Russell, et al., 2015	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Shunhong, et al., 2015	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Xu, et al., 2014	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Ye, et al., 2016	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Arpa,et al., 2015	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Bonura, et al., 2020	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Guzm, et al., 2017	SI	SI	SI	SI	SI	NO
haitham, et al.,2015	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Kiss, et al., 2016	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Leonzio, 2018	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Li, et al., 2014	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Ran, et al., 2019	SI	SI	SI	SI	NO	SI
Storch, et al., 2016	SI	SI	SI	SI	NO	NO
Van, et al.2020	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Representatividad: manifiesta que la tecnología utilizada para la captura de CO2 es la destilación criogénica y adsorción, también para la obtención de energía renovable el cual es Dimetil éter y metanol, Porcentaje de captura: indica el % de eficiencia de las tecnologías en la captura de CO2, Porcentaje de obtención: indica el % de eficiencia en la obtención de Dimetil éter y metanol como energía renovable a partir de CO2, Temperatura: manifiesta si el estudio describe la temperatura a la cual se lleva el proceso ya sea de captura de CO2 y obtención de energía renovable, Presión: indica la presión a la cual se somete el proceso de captura de CO2 y obtención de energía renovable, Periodo del proceso: se realiza una evaluación del tiempo del proceso de captura y obtención de energía renovable

## META-ANÁLISIS

En la figura 2, se muestran las diez investigaciones de las 20 que fueron incluidas en el meta-análisis, las cuales trataron sobre tecnologías de captura de CO<sub>2</sub>. El porcentaje de la tecnología de Destilación Criogénica mostro un mejor porcentaje de eficiencia en comparación a la tecnología de Adsorción. Este resultado se debe a los diferentes tipos de condiciones operacionales en los cuales se usó la tecnología.



**Figura 2. Meta-análisis del porcentaje de eficiencia de las tecnologías de captura de CO<sub>2</sub>**

Para realizar una correcta interpretación de la razón de momio, la cual analiza el efecto de protección y riesgo en una población, esto se dio de acuerdo a los siguientes intervalos:

Odds < 1: La tecnología presenta mayor porcentaje de eficiencia

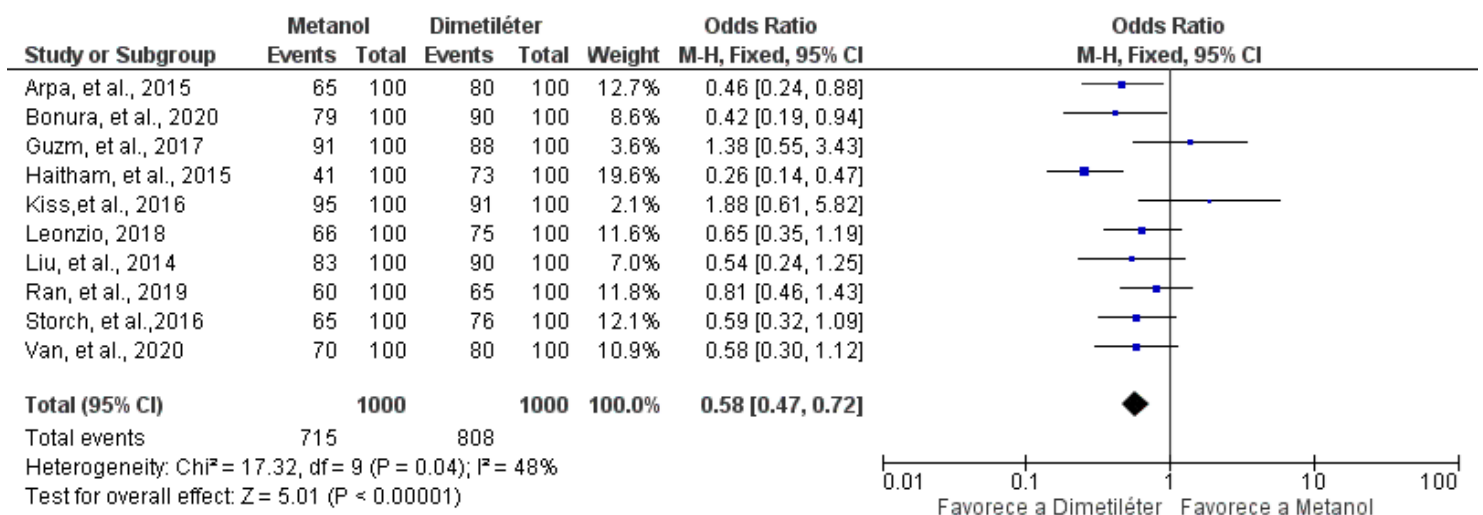
Odds > 1: La tecnología presenta menor porcentaje de eficiencia

Odds = 1: La tecnología no presenta ninguna variación

Teniendo en cuenta la razón de momio (Odds Ratio), donde presenta un valor de 0.63. Demuestra que la tecnología de Adsorción tiene 37% menos probabilidades de obtener una eficiencia alta. Las investigaciones abarcadas mostraron una heterogeneidad estadística media ( $I^2 = 67\%$ ;  $p=0,0002$ ).

Con respecto a los valores de peso (weight) de las investigaciones, no hay ninguna que aplique el meta-análisis, esto se evidencia en la figura en la cual muestra que ninguna recibe el mayor puntaje, sin embargo, se visualizó de acuerdo a Dubois, 2013 que su peso fue de 25.3%, lo que indicó que el estudio presentó más eficiencia en la captura de CO<sub>2</sub> de la tecnología de Destilación Criogénica

En la figura 3, se muestran las otras 10 investigaciones incluidas que comparan la eficiencia de obtención de energía renovable en dos tipos de este mismo los cuales son Metanol y Dimetiléter, el resultado de este meta-análisis favoreció el Dimetil éter.



**Figura 3. Meta-análisis del porcentaje de eficiencia de obtención de energía a partir de CO<sub>2</sub>**

De la misma manera la Figura 3, se reflejó que el porcentaje de obtención de Dimetiléter fue más eficiente en comparación a la obtención de Metanol. De este

resultado se puede diferir que las condiciones operacionales influyeron en los porcentajes observados anteriormente en la figura.

Para realizar una correcta interpretación de la razón de momio, la cual analiza el efecto de protección y riesgo en una población, esto se dio de acuerdo a los siguientes intervalos:

Odds < 1: La energía renovable presenta mayor porcentaje de eficiencia

Odds > 1: La energía renovable presenta menor porcentaje de eficiencia

Odds = 1: La energía renovable no presenta ninguna variación

Considerando la razón de momio (Odds ratio), donde presenta un valor de 0.58, lo que quiere decir que la obtención de energía renovable de metanol a partir de CO<sub>2</sub> tiene un 42% menos probabilidades que la obtención de energía renovable de Dimetiléter a partir de CO<sub>2</sub>. Las investigaciones abarcadas mostraron una heterogeneidad estadística media ( $I^2 = 48\%$ ;  $p < 0,00001$ ).

Con respecto a los valores de peso (weight) de las investigaciones, no hay ninguna que aplique el meta-análisis, esto se evidencia en la figura en la cual muestra que ninguna recibe el mayor puntaje, sin embargo, se visualizó de acuerdo Haitham, 2015 que su peso fue de 19.6% lo que indicó que el estudio presentó una mayor eficiencia en la obtención de energía renovable de Dimetiléter.

## V. DISCUSIÓN

Las 20 investigaciones incluidas, se lograron sintetizar sus resultados, la mayoría de estas centraron sus resultados en el porcentaje de eficiencia de las 2 tecnologías evaluadas y del mismo modo con la obtención de energía renovable. Esto mostro una tendencia favorable para la tecnología de destilación criogénica, este resultado se logró evidenciar por las diferentes condiciones operacionales a las que trabaja cada tecnología. En cuanto a la obtención de energía renovable se observó que la obtención de Dimetil éter obtuvo un mayor porcentaje de eficiencia en comparación a la obtención de metanol.

La tecnología de captura aplicada para la por Dubois, et al. (2013) fue destilación criogénica y adsorción, la primera tecnología mostró un 30% de eficiencia en condiciones operacionales de 2 horas,  $-117\text{ C}^{\circ}$  y una presión de 2,5 atm, en comparación a la segunda tecnología la cual mostró un menor porcentaje el cual fue de 18% en un tiempo de 2 horas a presión y temperatura ambiente. Esto indica que la presión y temperatura influenciaron en el porcentaje de eficiencia junto con el tipo de tecnología aplicada.

La investigación de Farhad, et al. (2016) los cuales de la misma manera compararon la tecnología de destilación criogénica y absorción, obtuvieron como resultado que la primera tecnología mostro un 94% de eficiencia con un tiempo de 2 horas y temperatura de  $-106\text{ C}^{\circ}$ , la tecnología de adsorción tuvo un 70% de eficiencia con un tiempo de 10 horas y temperatura de  $21\text{ C}^{\circ}$ . En conclusión, indicaron que una alta presión da como resultado una alta captura de  $\text{CO}_2$  para la tecnología de destilación criogénica

Gervasi, et al. (2014) en su investigación que utilizaron la tecnología de destilación criogénica y adsorción, encontrando un porcentaje de 75% de eficiencia en un tiempo de 1 hora y 30 minutos a una temperatura de  $-139\text{ C}^{\circ}$  y presión de 2 atm para la tecnología de destilación criogénica y 53% de eficiencia en un tiempo de 1 hora,  $24\text{ C}^{\circ}$  de temperatura y presión de 1 atm para la tecnología de adsorción. La investigación mencionó que la tecnología que presentó menor porcentaje de

eficiencia uso un disolvente híbrido compuesto a base de amina la cual presenta rangos de eficiencia entre 30% y 53%.

Dentro de sus resultados Jensen, et al. (2015), evidencio que la tecnología de destilación criogénica con un porcentaje de eficiencia del 90% en un tiempo de 2 horas a una temperatura de  $-133\text{ C}^\circ$  y presión de 1,9 atm superó a la tecnología de adsorción que tuvo una eficiencia del 81% que duró 5 horas a una temperatura de  $12\text{ C}^\circ$ . Esta investigación mostró que la corriente producida por el proceso de destilación criogénica contiene un 99,2% de pureza de este gas. Y a su vez que no requiere cambios en la presión y tampoco implica condensación durante todo el proceso en comparación con la tecnología de destilación.

Kothandaraman, et al. (2010), encontraron que la tecnología de destilación criogénica tuvo un porcentaje de eficiencia del 79% a una temperatura de  $-78\text{ C}^\circ$  y una presión de 21 atm, por el contrario, la tecnología de adsorción el cual tuvo un 95% de eficiencia a  $15\text{ C}^\circ$  y presión de 15 atm. La investigación indicó que para la tecnología de adsorción se utilizó el sistema MEA (monoetanolamina), el cual mostró resultados de eficiencia por encima de la tecnología de destilación criogénica.

Al analizar las dos diferentes tecnologías Lawal, et al. (2011), observaron que el porcentaje de eficiencia de la tecnología de destilación criogénica obtuvo un 84% a una temperatura de  $-111\text{ C}^\circ$  y una presión de 3 atm el cual fue superado por la tecnología de adsorción la cual presentó un 96% de eficiencia en un tiempo de 10 horas a  $15\text{ C}^\circ$ , La investigación demostró que las presiones parciales de  $\text{CO}_2$  más altas en los gases de combustión redujeron los requisitos de energía para la captura y puede haber margen de mejora, ya que también aumentaron las temperaturas de funcionamiento del absorbedor, lo que puede reducir la eficiencia del proceso de adsorción.

La investigación de Russell, et al. (2015), comparó del mismo modo la tecnología de destilación criogénica y adsorción, obtuvieron como resultado que el porcentaje de eficiencia de 90% a una temperatura de  $-143\text{ C}^\circ$  y presión de 1.5 atm para la

tecnología de destilación criogénica y 66% de eficiencia en un tiempo de 2 horas a 22 C° y 22 atm de presión de 2 atm para la tecnología de adsorción. Esta investigación concluyó que se requiere alta presión para un mejor secuestro de CO<sub>2</sub> en el proceso de adsorción.

En su investigación Shunhong, et al. (2015), estudiaron la tecnología de destilación criogénica y adsorción encontrando un 93% de eficiencia a una temperatura de -56 C° y presión de 29 atm para la tecnología de destilación criogénica en comparación a la de adsorción que tuvo un 50% de eficiencia a una temperatura de 240 C° y 70 atm de presión. La investigación indicó en sus resultados que el sistema de destilación criogénica se usaron parámetros de temperatura y presión en puntos claves de este sistema para así verificar el consumo de energía y eficiencia de captura en comparación a la tecnología de adsorción

Xu, et al. (2014), realizaron la comparación de las tecnologías de destilación criogénica y absorción, obteniendo que la primera tecnología mostró un porcentaje de eficiencia del 76% en una duración de 3 horas y 30 minutos a -178 C° y una presión de 1.7 atm en comparación a la segunda tecnología que mostró menor porcentaje de eficiencia el cual fue de 56% en un tiempo de 5 horas y a 15 C°. Concluyeron que el sistema de destilación criogénica podría separar la mayor parte del CO<sub>2</sub> de mezclas de gases con una penalización energética relativamente baja y podría recuperar completamente la energía fría del producto de separación en comparación a la tecnología de absorción.

La investigación de Ye, et al. (2016), donde evalúa la eficiencia de dos tecnologías las cuales ya mencionadas anteriormente que son destilación criogénica y adsorción encontraron que la primera tecnología obtuvo un 87% de eficiencia en un tiempo de 4 horas a -198 C° y presión de 2 atm, por otro lado, la tecnología de adsorción obtuvo un 85% de eficiencia a una temperatura de 250 C° y presión de 98 atm. La investigación reveló que a través de un análisis de especiación por resonancia magnética nuclear reveló que la adsorción de CO<sub>2</sub> en los disolventes bifásicos se sometió a un proceso de dos etapas en el que los productos de las reacciones de CO<sub>2</sub> fueron dominantes en la fase líquida rica en CO<sub>2</sub> en la etapa



inicial, a pesar de esto no pudo superar el porcentaje de eficiencia de la tecnología de destilación criogénica.

En la investigación de Arpa, et al. (2015) se muestra que la Electrólisis de membrana de intercambio ácido de protones llega a tener un 65% de eficiencia en comparación al de electrólisis alcalina que solo alcanza un 42% de eficiencia. La investigación se centra en dos tipos diferentes de proceso para su comparación encontrando que la primera funciona a 80 C° y 30 bares y la segunda la cual tiene más porcentaje de eficiencia funciona a 100 C° y 200 bares.

La investigación de Leonzio (2018), mostró que la hidrogenación de dióxido de carbono es la forma más atractiva de producir metanol por puntos de vista técnicos y económicos. El uso de CO<sub>2</sub> como fuente de carbono para la producción de combustibles es una forma eficaz de introducir energías renovables en la industria química cadena de valor, para mejorar la eficiencia de los recursos y limitar los gases de efecto invernadero emisiones. A través de la hidrogenación de dióxido de carbono se pueden obtener principalmente metanol, Dimetil éter y gas de síntesis. Compuestos adicionales que pueden derivarse del CO<sub>2</sub> son: metano, hidrocarburos, etanol, fórmico ácido.

Bonura, et al. (2020), en su investigación estudió del mecanismo de reacción de conversión directa de CO<sub>2</sub> a DME sobre catalizadores híbridos basados en zeolita. En su trabajo señalan que la captura de CO<sub>2</sub> posterior a la combustión por absorción química, especialmente con disolventes acuosos a base de amina, ha sido la tecnología más disponible para mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub> de grandes fuentes estacionarias. Los procesos de depuración de aminas, como los basados en soluciones acuosas de monoetanolamina (MEA), tienen los inconvenientes significativos de una pérdida de potencia parasitaria sustancial y, por lo tanto, un alto costo, principalmente asociado con la energía térmica. regeneración de los disolventes. Por lo tanto, el desarrollo de procesos y disolventes avanzados es indispensable para mejorar el costo y la eficiencia energética de la captura de CO<sub>2</sub> posterior a la combustión.

La Síntesis de Dimetil éter mejorada por sorción para conversión de carbono de alta eficiencia del modelado y diseño de ciclos se identificaron en la investigación de Van, et al.2020, quien señaló que Dimetil éter es uno de los combustibles alternativos más prometedores que se están considerando en todo el mundo. Tanto la síntesis de DME indirecta convencional como el proceso de síntesis de DME directo mejorado están limitados por la termodinámica, lo que da como resultado un rendimiento limitado del producto, grandes separaciones y grandes corrientes de reciclado. Su trabajo concluyó que el proceso SEDMES es una intensificación de proceso prometedora, que ya logró más del 80% de conversión de CO<sub>2</sub> de un solo paso y más del 70% de rendimiento de DME (carbono) de un solo paso para un sistema de columna de tres reactores no optimizado. La conversión de una sola pasada aumentada reduce las unidades de separación aguas abajo y las corrientes de reciclaje, especialmente para una alimentación rica en CO<sub>2</sub>.

En la investigación de Liu y Larson, (2014), Gasolina de Carbón vía DME con Coproducción de Electricidad y Captura de CO<sub>2</sub>. En el estudio se buscó un proceso alternativo para la gasolina a partir del carbón que implicaría producir Dimetil éter (DME) directamente a partir del gas de síntesis derivado del carbón en un reactor de síntesis en fase líquida y luego convertir el DME a gasolina. Se determinó una evaluación técnica y económica comparativa detallada de la producción de gasolina de carbón basada en procesos DTG, sin y con captura y almacenamiento de subproducto CO<sub>2</sub>, y con coproducción de electricidad sustancial en algunos casos. Se desarrollan cinco diseños de procesos y se realizan balances de masa / energía.

La investigación de Guzm, et al. (2017), estudió la Conversión electro-catalítica (EC) y termo-catalítica (TC) de CO. En este sentido, el carbono se puede reutilizar e introducir en una economía circular. bucle, reduciendo así tanto el CO<sub>2</sub> emisiones y dependencia de proveedores externos de energía. En sus resultados alcanza una conversión de CO<sub>2</sub> del 91,4% y el consumo eléctrico específico del proceso global es de 10,5 Wh / gCH<sub>3</sub>OH. En cuanto al proceso CE, los mejores escenarios industriales son EC-5 y EC-6, en los que la conversión de CO<sub>2</sub> alcanza el 74,9% y el 95,8%, respectivamente. Esto indicó que si es posible la conversión de GEI a un producto de energía renovable.

En la investigación de Kiss (2016), titulada nuevo proceso eficiente para la síntesis de metanol por hidrogenación de CO<sub>2</sub> tuvo como conclusión que el hidrógeno (saturado de agua) fluye en contracorriente con la mezcla condensada de metanol-agua resultante del flash separación después de la reacción. Esta operación tiene un doble efecto positivo, ya que elimina CO<sub>x</sub> de la mezcla de agua y metanol, por lo tanto, permite un reciclaje completo de CO<sub>2</sub>, al mismo tiempo que elimina el agua.

Storch, et al. (2016), en su investigación determinó un consumo de gas natural de 1,4 mol y 21 kJ de consumo de electricidad por mol de producción de metanol. Esto corresponde a una eficiencia energética del 65%. y concluye que Se concluyó que existe una fuerte necesidad de desarrollar más procesos para utilizar energías renovables en la industria química. Por lo tanto, es probable que en un futuro próximo se desarrollen una variedad de nuevos procesos que puedan optimizar y evaluar mejor estos procesos.

Haitham, et al. (2015), en su investigación titulada evaluación energética comparativa de la producción de metanol a partir de CO<sub>2</sub>: Proceso químico versus electroquímico tuvieron como resultado que la producción de metanol basado en CO<sub>2</sub>, la electrólisis tiene una eficiencia energética del 41% a condiciones de 20 bar y 350k, casi el doble que la del proceso de hidrogenación. La investigación concluye que el proceso de hidrogenación puede producir más CO<sub>2</sub> cuando el combustible fósil. Se utilizan como fuentes de energía, pero dan como resultado un CO<sub>2</sub> negativos.

En relación al meta-análisis hecho en la investigación, se demostró evidencia que para el caso de la tecnología de captura de destilación criogénica de CO<sub>2</sub> posee una mayor eficiencia en contraste con la tecnología de adsorción, esto se debe a que cada tecnología trabaja en distintas condiciones operacionales. Por otro lado, para el caso de obtención de energía renovable, el Dimetil éter demostró tener una mayor eficiencia en comparación al metanol, de la misma manera esto se evidenció por las diferentes condiciones a las que opera y una mayor facilidad de obtener Dimetil éter a partir de CO<sub>2</sub>.

## VI. CONCLUSIONES

- Existen evidencias suficientes en las investigaciones incluidas acerca de la eficiencia que tienen las tecnologías de absorción y destilación criogénica para lograr altos porcentajes de obtención de metanol y Dimetil éter.
- Se identificaron veinte investigaciones (investigaciones incluidas), sobre tecnologías de captura de CO<sub>2</sub> y obtención de energía renovable en fuentes industriales. De las cuales la mitad se basan en capturar el GEI y la mitad restante desarrollaron las metodologías para obtener Dimetil éter y metanol como energía renovable, estas fueron publicadas entre enero del 2010 y diciembre del 2020. De la misma forma estas investigaciones fueron publicadas en los siguientes países: Italia, Estados Unidos, China, Alemania, Reino Unido, Irán, Bélgica y Suecia.
- Se identificaron las condiciones operacionales de cada tecnología, obteniendo que; la media de presión, temperatura y tiempo fueron de 2 atm, 29.7 °C y 2 horas respectivamente.
- Las tecnologías de captura de CO<sub>2</sub> son una alternativa viable para la obtención de energía renovable, como metanol y Dimetil éter, los métodos demostraron una eficiencia de obtención de energía renovable de 75%, para la obtención en fuentes industriales.

## VII. RECOMENDACIONES

- En el uso del programa RevMan es recomendable trabajar con dos grupos de tratamiento para la introducción de datos que elaboran el meta-análisis, esto se debe a que el sistema de este programa lo requiere, de esta manera se puede comparar la eficiencia, rendimiento, entre otros.
- Realizar revisión sistemática no solo de la fuente de obtención de energía renovable a partir de CO<sub>2</sub> sino también las tecnologías que se usan para convertir el CO<sub>2</sub> en energía renovable.
- Evaluar la eficiencia de otras tecnologías de captura de CO<sub>2</sub>, no solo los de destilación criogénica y absorción sino también otros como por ejemplo separación de membrana, ciclo de carbonatación, entre otros.
- Emplear una escala de calidad que mejore la selectividad de las investigaciones incluidas orientadas a sus objetivos. En la investigación presentada se utilizó la escala Newcastle Ottawa, sin cambiar su estructura, adaptada de acuerdo al objetivo de estudio.

## REFERENCIAS

1. AKASH, A 2017. Relevance of Carbon Capture & Sequestration in India's Energy Mix to Achieve the Reduction in Emission Intensity by 2030 as per INDCs. *Energy Procedia*, vol. 114, pp. 7492-7503. ISSN 18766102. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217320854>
2. ARNETTE, A., 2017. Renewable energy and carbon capture and sequestration for a reduced carbon energy plan: An optimization model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 70, pp. 254-265. ISSN 18790690. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116309224>
3. SARKODIE, S., 2018. Renewable energy, nuclear energy, and environmental pollution: Accounting for political institutional quality in South Africa. *Science of the Total Environment*, vol. 643, pp. 1590-1601. ISSN 18791026. Disponible en <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30189575/>
4. SILVA, S., 2020. Green tax reforms with promotion of renewable energy sources and carbon capture and sequestration: Comparison of different alternatives. *Energy Reports*, vol. 6, no. xxxx, pp. 620-625. ISSN 23524847. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484719306353>
5. RAHMAN, F., 2017. Pollution to solution: Capture and sequestration of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and its utilization as a renewable energy source for a sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 71, pp. 112-126. ISSN 18790690. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403211730014X>
6. MAHJABEEN, S., 2020. Renewable energy, institutional stability, environment and economic growth nexus of D-8 countries. *Energy Strategy Reviews* [en línea], vol. 29, pp. 100484. ISSN 2211467X. DOI 10.1016/j.esr.2020.100484. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100484>.
7. CHIEN, T. 2017. Energía renovable y eficiencia macroeconómica de las economías de la OCDE y no OCDE, *Energy Pol.* 35. 3606 – 3615. Disponible en <https://www.doi.org/%2010.1016%20/%20j.enpol.2006.12.033>.

8. PROSKURYAKOVA, M., 2019. The future of Russia's renewable energy sector: Trends, scenarios and policies. *Renewable Energy* [en línea], vol. 143, pp. 1670-1686. ISSN 18790682. DOI 10.1016/j.renene.2019.05.096. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.096>.
9. ZHANG, D., 2020. Optimal design, thermodynamic, cost and CO2 emission analyses of coal-to-methanol process integrated with chemical looping air separation and hydrogen technology. *Energy* [en línea], vol. 203, pp. 117876. ISSN 03605442. DOI 10.1016/j.energy.2020.117876. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117876>.
10. AIPER, M., 2017. desarrollos en los procesos de conversión. *Petróleo* 2017; 3: 109. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405656116301961>
11. BARDESCU, L. Carbon dioxide –significant emission sources and decreasing solutions. *ELSERVIER* [en línea]. 5 de mayo de 2015, n.º 180. [Fecha de consulta: 23 de septiembre del 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.02.225>
12. FIGUEROA, M [et al.]. Advances in CO2 capture technology—The U.S. Department of Energy's Carbon Sequestration Program. *ELSERVIER* [en línea]. 5 de junio de 2015, n.º 2. [Fecha de consulta: 23 de septiembre del 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.02.225>
13. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal por Eugenia. J. Olgún [et al]. INECOL* [en línea]. Julio 2013, n.o11. [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2020]. Disponible en <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net>
14. SOHAIB, Q., 2020. Post-combustion CO2 capture by coupling [emim] cation based ionic liquids with a membrane contactor; Pseudo-steady-state approach. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 99. ISSN 17505836. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S175058362030116X>
15. YOUSEF, A., 2018. New approach for biogas purification using cryogenic separation and distillation process for CO2 capture. *Energy*, vol. 156, pp. 328-351. ISSN 03605442. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544218309320>
16. SONG, C., 2019. Cryogenic-based CO2 capture technologies: State-of-the-art developments and current challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea], vol. 101, no. October 2017, pp. 265-278. ISSN 18790690. DOI 10.1016/j.rser.2018.11.018. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.018>.

17. CAO, M., 2020. A carbon molecular sieve membrane-based reactive separation process for pre-combustion CO<sub>2</sub> capture. *Journal of Membrane Science* [en línea], vol. 605, no. February, pp. 118028. ISSN 18733123. DOI 10.1016/j.memsci.2020.118028. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0376738820306074?via%3Dihub>
  
18. CHUNG, W., 2018. Design and evaluation of CO<sub>2</sub> capture plants for the steelmaking industry by means of amine scrubbing and membrane separation. *International Journal of Greenhouse Gas Control* [en línea], vol. 74, no. May, pp. 259-270. ISSN 17505836. DOI 10.1016/j.ijggc.2018.05.009. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2018.05.009>.
  
19. ROLFE, F., 2017. Techno-economic and Environmental Analysis of Calcium Carbonate Looping for CO<sub>2</sub> Capture from a Pulverised Coal-Fired Power Plant. *Energy Procedia* [en línea], vol. 142, pp. 3447-3453. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2017.12.228. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217359623?via%3Dihub>
  
20. OLAV, L. Overview on Pressure Swing Adsorption (PSA) as CO<sub>2</sub> Capture Technology: State-of-the-Art, Limits and Potentials. *ELSERVIER* [en línea]. 18 de julio de 2017, n.º 114. [Fecha de consulta: 24 de septiembre del 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.02.225>
  
21. YUNAYO, M [et al.]. Thermodynamic and cycle model for MEA-based chemical CO<sub>2</sub> absorption. *ELSERVIER* [en línea]. 22 de febrero del 2018, n.º 158. [Fecha de consulta: 24 de septiembre del 2020]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610219307325?via%3Dihub>
  
22. VEGA, A [et al.]. Current status of CO<sub>2</sub> chemical absorption research applied to CCS: Towards full deployment at industrial scale. *ELSERVIER* [en línea]. 15 de agosto del 2020, n.º 89. [Fecha de consulta: 24 de septiembre del 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2010.11.005>
  
23. MIN, G [et al.]. A novel flue gas pre-treatment system of post-combustion CO<sub>2</sub> capture in coal-fired power plant. *ELSERVIER* [en línea]. 15 de diciembre del 2020, n.º 128. [Fecha de consulta: 24 de septiembre del 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2017.10.005>
  
24. ARNAIZ, M [et al.]. The potential of chemical looping combustion using the gas switching concept to eliminate the energy penalty of CO<sub>2</sub> capture.



- ELSERVIER [en línea].29 de abril del 2019, n.º 83. [Fecha de consulta: 24 de septiembre del 2020].Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2019.01.018>
25. WANG, G [et al.]. A novel ammonia-based CO2 capture process hybrid ammonia absorption refrigeration. ELSERVIER [en línea].24 de agosto del 2017, n.º 142. [Fecha de consulta: 24 de septiembre del 2020].Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.269>
26. GARCIA, Z [et al.]. Determination of Kinetics of CO2 Absorption in Unloaded and Loaded DEEA+MAPA Blend. ELSERVIER [en línea].18 de noviembre del 2016, n.º 114. [Fecha de consulta: 24 de septiembre del 2020].Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1305>
27. SPIEGELER, C., 2015. Definición e Información de Energías Renovables. Escuela de Estudios de Post Grado, vol. 11, no. 2, pp. 7.Disponible en <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4455/1/DEFINICION%20E%20INFORMACION%20DE%20ENERGIAS%20RENOVABLES.pdf>
28. BOTOME, P; THERDYOTHIN, A; y CHONTANAWAT, J, C. Investigating the causal relationship between non-renewable and renewable energy consumption, CO2 emissions and economic growth in Thailand. ELSERVIER [en línea]. 26 de mayo del 2017, n.º 138. [Fecha de consulta: 28 de septiembre del 2020].Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.141>
29. KUSUMADEWI, T., 2017 L.CO2 Mitigation in Residential Sector in Indonesia and Thailand: Potential of Renewable Energy and Energy Efficiency. ELSERVIER [en línea].27 de mayo del 2017, n.º 93. [Fecha de consulta: 29 de septiembre del 2020].Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.086>
30. BRILAM, D., 2020. Wind power to methanol: Renewable methanol production using electricity, electrolysis of water and CO2 air capture. ELSERVIER [en línea]. 15 de abril del 2020, n.º 82. [Fecha de consulta: 30 de septiembre del 2020].Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114672>
31. ORTEGA, F., 2018 Alfredo Otero. Enfoques de investigación. Extraído de [https://www.researchgate.net/profile/Alfredo\\_Otero\\_Ortega/publication/326905435\\_ENFOQUES\\_DE\\_INVESTIGACION\\_TABLA\\_DE\\_CONTENIDO\\_Contentido/links/5b6b7f9992851ca650526dfd/ENFOQUES-DE-INVESTIGACION-TABLA-DECONTENIDO-Contenido.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Alfredo_Otero_Ortega/publication/326905435_ENFOQUES_DE_INVESTIGACION_TABLA_DE_CONTENIDO_Contentido/links/5b6b7f9992851ca650526dfd/ENFOQUES-DE-INVESTIGACION-TABLA-DECONTENIDO-Contenido.pdf) el, vol. 14.

32. RUIZ, J., 2018 Jaime Ruiz. Experimental y no-experimental. La sociología en sus escenarios, no 18. Extraído de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ceo/article/view/6545/5996>
33. FIELD, A., 2010 How to do a meta-analysis. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, vol. 63, no 3, p. 665-694. Extraído de <https://bpspsychub.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1348/000711010X502733>
34. BONURA, et al., 2021. Inside the reaction mechanism of direct CO<sub>2</sub> conversion to DME over zeolite-based hybrid catalysts. *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 294, pp. 120255. ISSN 09263373. DOI 10.1016/j.apcatb.2021.120255. Extraído De <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926337321003817?via%3Dihub>
35. GUZMÁN, et al., 2021. How to make sustainable CO<sub>2</sub> conversion to Methanol: Thermocatalytic versus electrocatalytic technology. *Chemical Engineering Journal*, vol. 417, no. xxxx. ISSN 13858947. DOI 10.1016/j.cej.2020.127973. Extraído de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894720340924?via%3Dihub>
36. LIU, et al., 2014. ScienceDirect Gasolina de Carbón vía DME con Coproducción de Electricidad y CO<sub>2</sub> Capturar. , vol. 63, pp. 7367-7378. Extraído de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214025880>
37. MARTÍN, et al., 2017. Artificial versus Natural Reuse of CO<sub>2</sub> for DME Production: Are We Any Closer? *Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 166-170. ISSN 20958099. DOI 10.1016/J.ENG.2017.02.002. Extraído de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809917302953>
38. VAN KAMPEN, et al., 2020. Sorption enhanced dimethyl ether synthesis for high efficiency carbon conversion: Modelling and cycle design. *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization*, vol. 37, pp. 295-308. ISSN 22129820. DOI 10.1016/j.jcou.2019.12.021. Extraído de <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-co2-utilization>
39. RAN, et al., 2019. Effects of mixing methods of bifunctional catalysts on catalyst stability of DME synthesis via CO<sub>2</sub> hydrogenation. *Carbon Resources Conversion*, vol. 2, no. 1, pp. 85-94. ISSN 25889133. DOI 10.1016/j.crcon.2019.03.002. Extraído de <http://www.keaipublishing.com/en/journals/carbon-resources-conversion>

40. XUAN, et al., 2016. Comparative energetic assessment of methanol production from CO<sub>2</sub>: Chemical versus electrochemical process. *Applied Energy*, vol. 165, pp. 1-13. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2015.12.027. Extraído de <https://www.journals.elsevier.com/applied-energy>
41. KISS, et al., 2016. Novel efficient process for methanol synthesis by CO<sub>2</sub> hydrogenation. *Chemical Engineering Journal*, vol. 284, pp. 260-269. ISSN 13858947. DOI 10.1016/j.cej.2015.08.101. Extraído de <https://www.journals.elsevier.com/chemical-engineering-journal>
42. VON STORCH, et al., 2016. On the assessment of renewable industrial processes: Case study for solar co-production of methanol and power. *Applied Energy*, vol. 183, pp. 121-132. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2016.08.141. Extraído de <https://www.journals.elsevier.com/applied-energy>
43. RUSSELL, et al., 2015. Revista Internacional de Control de Gases de Efecto Invernadero CC-ECL ) para el reacondicionamiento de centrales eléctricas de carbón a gran escala. , vol. 42, pp. 200-212. Extraído de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1750583615001528>
44. XU, et al., 2014. Un CO mejorado 2 Sistema de separación y purificación basado en la teoría de la separación y destilación criogénica. , pp. 3484-3502. Extraído de <https://www.mdpi.com/1996-1073/7/5/3484>
45. KOTHANDARAMAN, et al., 2009. Comparison of solvents for post-combustion capture of CO<sub>2</sub> by chemical absorption. *Energy Procedia*, vol. 1, no. 1, pp. 1373-1380. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2009.01.180. Extraído de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610209001817?via%3Dihub>
46. YE, et al., 2017. Experimental Investigation of the Absorption, Phase Transition, and Desorption Behavior of Biphasic Solvent Blends for Postcombustion CO<sub>2</sub> Capture. *Energy Procedia*, vol. 114, pp. 813-822. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2017.03.1223. Extraído de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217313991>
47. CHENG, et al., 2017. From waste Coca Cola® to activated carbons with impressive capabilities for CO<sub>2</sub> adsorption and supercapacitors. *Carbon [en línea]*, vol. 116, pp. 490-499. ISSN 00086223. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008622317301586?via%3Dihub>

48. WILDING, et al., 2016. Theoretical and experimental analysis of dynamic heat exchanger: Retrofit configuration. *Energy*, vol. 96, pp. 545-560. ISSN 03605442. DOI 10.1016/j.energy.2015.12.068. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544215017132?via%3Dihub>
49. GUREVITCH, et al. Meta-analysis and the science of research synthesis. *Nature* 555, 175–182 (2018). <https://doi.org/10.1038/nature25753>
50. AN, et al., 2019. Methanol Synthesis from CO<sub>2</sub> Hydrogenation with a Cu/Zn/Al/Zr Fibrous Catalyst. *Chinese Journal of Chemical Engineering* [en línea], vol. 17, no. 1, pp. 88-94. ISSN 10049541. DOI 10.1016/S1004-9541(09)60038-0. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1004954109600380>
51. WEN, et al. Crystal size sensitivity of HMOR zeolite in dimethyl ether carbonylation. *ELSERVIER* [en línea]. 02 de junio del 2021, n° 5. [Fecha de consulta: 15 de junio del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2021.106309>
52. ARASI, et al. Consensus on DEfinition of Food Allergy SEverity (DEFASE) an integrated mixed methods systematic review. *ELSERVIER* [en línea]. 01 de marzo del 2021, n.º 18. [Fecha de consulta: 30 de mayo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.waojou.2020.100503>.
53. LONG, et al. Different definitions of sarcopenia and mortality in cancer: A meta-analysis. *ELSERVIER* [en línea]. 15 de marzo del 2021, n° 22. [Fecha de consulta: 30 de abril del 2021]. Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.afos.2021.02.005>
54. FARHAT, et al. Identifying standardized definitions of treatment response in trichotillomania: A meta-analysis. *ELSERVIER* [en línea]. 8 de marzo del 2019, n° 446. [Fecha de consulta: 30 de abril del 2021]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2018.10.009>

## Anexo 1: Matriz de operacionalización

Variables		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable Independiente	Captura De CO <sub>2</sub>	La captura de CO <sub>2</sub> se presenta como una tecnología ambiental para reducir las emisiones de CO <sub>2</sub> provocadas por las actividades antropogénicas. La técnica podría aplicarse para aquellas emisiones que provengan de grandes centrales eléctricas o plantas industriales. (Parada, 2017)	Los diversos autores de aquellas investigaciones incluidas en la revisión sistemática utilizaron metodologías para capturar co <sub>2</sub> entre las cuales se encuentra membrana de polímero, destilación criogénica y absorción	Condiciones operacionales	Tiempo Temperatura Presión	Horas C° atm
				Eficiencia de tecnología de CO <sub>2</sub>	Tecnologías en estudio de acuerdo a cada autor	Porcentaje %
Variable Dependiente	Obtención de energía renovable	Las energías renovables son aquellas que se obtienen a partir de fuentes naturales que producen energía de forma inagotable e indefinida (Quiroa,2012).	De acuerdo a cada autor de las investigaciones incluidas en la Revisión Sistemática, estos realizaron la comparación de los resultados de energías renovables obtenidos de la captura de CO <sub>2</sub>	Condiciones operacionales	Tiempo Temperatura Presión	Horas C° atm
				Porcentaje recuperado de energía renovable	% obtención de energía  Combustible alternativo ( Dimetil éter – metanol)	Porcentaje %

### Anexo 3: Escala de calidad Newcastle – Ottawa (modificada)

#### ESCALA DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD NEWCASTLE – OTTAWA

##### Selección

- 1) Representatividad de la investigación
  - a) Verdaderamente representativo a la medida que las tecnologías usadas para la captura de CO<sub>2</sub> adsorción y destilación criogénica (\*)
  - b) Medianamente representativo a la medida que utiliza una tecnología para la captura de CO<sub>2</sub> (\*)
  - c) No indica la tecnología usada para la captura de CO<sub>2</sub>
  - d) Sin descripción de la investigación
  
- 2) Selección de la investigación
  - a) El CO<sub>2</sub> extraído de fuentes industriales y centrales eléctricas (\*)
  - b) El CO<sub>2</sub> extraído de una fuente diferente
  - c) Sin descripción de la fuente
  
- 3) Demostración de que el resultado de interés se encontró presente al inicio del estudio
  - a) Si (\*)
  - b) No

##### Resultado

- 1) Evaluación del resultado
  - a) Evaluación del % de captura y obtención de energía renovable a partir de CO<sub>2</sub> (\*)
  - b) Tabla comparativa de condiciones operacionales (\*)
  - c) Sin descripción
  
- 2) Adecuación del seguimiento en la investigación
  - a) Seguimiento completo (Evaluación de las tecnologías de captura de CO<sub>2</sub> y obtención de energía renovable mencionando el % de eficiencia) (\*)
  - b) Seguimiento intermedio (Mención parcial de las condiciones operacionales de captura de CO<sub>2</sub> y obtención de energía renovable) (\*)
  - c) Seguimiento bajo (No menciona el % eficiencia ni condiciones operacionales)
  - d) Sin información relevante

Umbrales para convertir las escalas de Newcastle –Ottawa a los estándares de calidad de investigación (bueno, aceptable y malo):

**Buena calidad:** 3 estrellas en el criterio selección y 3 estrellas en el criterio de resultado

**Calidad aceptable:** 2 y 3 estrellas en el criterio selección y 2 estrellas en el criterio de resultado

**Mala calidad:** 0 y 1 estrellas en el criterio selección, o y 1estrellas en el criterio de resultado

### Anexo 3: Validación de instrumentos



Tabla 2. Características de los estudios sobre tecnologías de captura de CO<sub>2</sub>

Referencia	Ámbito geográfico-temporal	Porcentaje de obtención de CO <sub>2</sub> (%)	Tipo de tecnología	Condiciones operacionales	Tipo de análisis estadístico	Resultados	Conclusiones	Observaciones

Tabla 3. Características de los estudios sobre obtención de energía renovable

Referencia	Ámbito geográfico-temporal	Porcentaje de obtención de CO <sub>2</sub> (%)	Tipo de tecnología	Condiciones operacionales	Tipo de análisis estadístico	Resultados	Conclusiones	Observaciones

Atentamente,  
  
 Juan Julio Ordoñez Galvez  
 DNI: 08447308

  
 JORGE PABLO  
 VÁSQUEZ TORRES  
 INGENIERO AMBIENTAL  
 Reg. CIP. N° 426372

Tabla 4. Condiciones operacionales de las tecnologías de captura de CO2

Autor(es) del estudio	Condiciones operacionales			% de eficiencia de Destilación criogénica	Condiciones operacionales			% de eficiencia de Adsorción
	Tiempo(Horas)	Temperatura(C°)	Presión(atm)		Tiempo(Horas)	Temperatura(C°)	Presión(atm)	

Tabla 5. Condiciones operacionales de obtención de energía renovable

Autor(es) del estudio	Condiciones operacionales			% de eficiencia de Destilación criogénica	Condiciones operacionales			% de eficiencia de Adsorción
	Tiempo(Horas)	Temperatura(C°)	Presión(atm)		Tiempo(Horas)	Temperatura(C°)	Presión(atm)	

Atentamente,




Juan Julio Ordoñez Galvez  
DNI: 08447308




JORGE PABLO  
VÁSQUEZ TORRES  
INGENIERO AMBIENTAL  
Reg. CIP. N° 426372



Tabla 6. Calidad de la metodología de estudios incluidos

Estudios	Newcastle-Ottawa			Datos específicos		
	Selección		Resultado	Temperatura	Presión	Periodo del proceso
	Representatividad	Porcentaje de captura	Porcentaje de obtención			

Atentamente,

  
Juan Julio Ordoñez Galvez  
DNI: 08447308  
JORGE PABLO  
VÁSQUEZ TORRES  
INGENIERO AMBIENTAL  
Reg. CIP. N° 426372

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**
**I. DATOS GENERALES:**

- a. Apellidos y Nombres del validador: Ing. Jorge Pablo Vásquez Torres
- b. Cargo e institución donde labora: Sub Gerente del área de medio ambiente de la Municipalidad de Punta Negra
- c. Especialidad del validador: Gestion ambiental
- d. Nombre de Instrumento y finalidad de su aplicación: **Condiciones operacionales de las tecnologías de captura de CO2**
- e. Título de Investigación: Revisión Sistemática y Meta-análisis de la evaluación de tecnologías de captura de CO2 y obtención de energía renovable
- f. Autor(A) del Instrumentos: Quiroz Cervera Jesús Manuel / Urrutia Melchor Stefano Alexander.

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE					ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100		
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para <b>lograr probar las hipótesis.</b>												X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al <b>Método Científico.</b>												X			

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- Los requisitos para su aplicación los Requisitos para su aplicación

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

SI

90

Lima, 14 de Julio del 2021

JORGE PABLO VÁSQUEZ TORRES  
INGENIERO AMBIENTAL  
Reg. CIP. N° 42537E

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI: 10226246 CIP:

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**
**V. DATOS GENERALES:**

- g. Apellidos y Nombres del validador: Ing. Jorge Pablo Vásquez Torres
- a. Cargo e institución donde labora: Sub Gerente del área de medio ambiente de la Municipalidad de Punta Negra
- h. Especialidad del validador: Gestion ambiental
- b. Nombre de Instrumento y finalidad de su aplicación: **Condiciones operacionales de obtención de energía renovable**
- c. Título de Investigación: Revisión Sistemática y Meta-análisis de la evaluación de tecnologías de captura de CO2 y obtención de energía renovable
- d. Autor(A) del Instrumentos: Quiroz Cervera Jesús Manuel / Urrutia Melchor Stefano Alexander.

**VI. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE						
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100		
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para <b>lograr probar las hipótesis.</b>												X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al <b>Método Científico.</b>												X			

**VII. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- Los requisitos para su aplicación los Requisitos para su aplicación

**VIII. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

SI

90

Lima, 14 de Julio del 2021

JORGE PABLO VÁSQUEZ TORRES  
INGENIERO AMBIENTAL  
Reg. CIP. N° 42537E

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI: 10226246 CIP:

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**
**I. DATOS GENERALES:**

- 1.1 Apellidos y Nombres del validador: Ing. Jorge Pablo Vásquez Torre
- 1.2 Cargo e institución donde labora: Sub Gerente del área de medio ambiente de la Municipalidad de Punta Negra
- 1.3 Especialidad del validador: Gestión ambiental:
- 1.4 Nombre de Instrumento y finalidad de su aplicación: **Características de los estudios sobre tecnologías de captura de CO2**
- 1.5 Título de Investigación: Revisión Sistemática y Meta-análisis de la evaluación de tecnologías de captura de CO2 y obtención de energía renovable
- 1.6 Autor(A) del Instrumento: Quiroz Cervera Jesús Manuel / Urrutia Melchor Stefano Alexander.

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE					ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100		
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X				
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X				
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X				
4. ORGANIZACION	Existe una organización lógica.											X				
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X				
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X				
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos v/o científicos.											X				
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X				
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para <u>lograr probar las hipótesis.</u>											X				
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al <u>Método Científico.</u>											X				

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- Los requisitos para su aplicación los Requisitos para su aplicación

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN**
 SI

 90

Lima, 14 de Julio del 2021

 JORGE PABLO  
VÁSQUEZ TORRES  
INGENIERO AMBIENTAL  
Reg. CIP. N° 42837E

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI: 10226246

CIP:

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**
**I. DATOS GENERALES:**

- a. Apellidos y Nombres del validador: Ing. Jorge Pablo Vásquez Torre
- b. Cargo e institución donde labora: Sub gerente del área de medio ambiente de la municipalidad de Punta Negra
- c. Especialidad del validador: Gestión ambiental
- d. Nombre de Instrumento y finalidad de su aplicación: **Características de los estudios sobre obtención de energía renovable**
- e. Título de Investigación: Revisión Sistemática y Meta-análisis de la evaluación de tecnologías de captura de CO2 y obtención de energía renovable
- f. Autor(A) del Instrumento: Quiroz Cervera Jesús Manuel / Urrutia Melchor Stefano Alexander.

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE					ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100		
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.													X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.													X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos v/o científicos.													X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para <u>lograr probar las hipótesis.</u>													X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al <u>Método Científico.</u>													X		

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- Los requisitos para su aplicación los Requisitos para su aplicación

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**
 SI

 90

Lima, 14 de Julio del 2021

 JORGE PABLO  
VÁSQUEZ TORRES  
INGENIERO AMBIENTAL  
Reg. CIP. N° 42837E

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI: 10226246

CIP:

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**
**I. DATOS GENERALES:**

- i. Apellidos y Nombres del validador: Ing. Jorge Pablo Vásquez Torres
- e. Cargo e institución donde labora: Sub Gerente del área de medio ambiente de la Municipalidad de Punta Negra
- j. Especialidad del validador: Gestion ambiental
- a. Nombre de Instrumento y finalidad de su aplicación: **Calidad de la metodología de estudios incluidos**
- b. Título de Investigación: Revisión Sistemática y Meta-análisis de la evaluación de tecnologías de captura de CO2 y obtención de energía renovable
- c. Autor(A) del Instrumentos: Quiroz Cervera Jesús Manuel / Urrutia Melchor Stefano Alexander.

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para <u>lograr probar las hipótesis.</u>											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al <u>Método Científico.</u>											X		

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- Los requisitos para su aplicación los Requisitos para su aplicación

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

SI  
 NO  
 90

Lima, 14 de Julio del 2021  
 JORGE PABLO VÁSQUEZ TORRES  
 INGENIERO AMBIENTAL  
 Reg. CIP. N° 42637E  
 FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI: 10226246

CIP:

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**
**I. DATOS GENERALES:**

- 1.1 Apellidos y Nombres del validador: Dr Ordoñez Galvez Juan Julio  
 1.2 Cargo e institución donde labora: Docente de la UCV  
 1.3 Especialidad del validador: Medio Ambiente  
 1.4 Nombre de Instrumento y finalidad de su aplicación: **Características de los estudios sobre tecnologías de captura de CO<sub>2</sub>**  
 1.5 Título de Investigación: Revisión Sistemática y Meta-análisis de la evaluación de tecnologías de captura de CO<sub>2</sub> y obtención de energía renovable  
 1.6 Autor(A) del Instrumentos: Quiroz Cervera Jesús Manuel / Urrutia Melchor Stefano Alexander.

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos v/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación  
 -Los requisitos para su aplicación los Requisitos para su aplicación

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN**
 SI  
 NO

Lima, 14 de Julio de 2021

Atentamente,


 Juan Julio Ordoñez Galvez

DNI: 08447308

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**
**I. DATOS GENERALES:**

- a. Apellidos y Nombres del validador: Dr Ordoñez Galvez Juan Julio
- b. Cargo e institución donde labora: Docente de la UCV
- c. Especialidad del validador: : Medio Ambiente
- d. Nombre de Instrumento y finalidad de su aplicación: **Características de los estudios sobre obtención de energía renovable**
- e. Título de Investigación: Revisión Sistemática y Meta-análisis de la evaluación de tecnologías de captura de CO2 y obtención de energía renovable
- f. Autor(A) del Instrumentos: Quiroz Cervera Jesús Manuel / Urrutia Melchor Stefano Alexander.

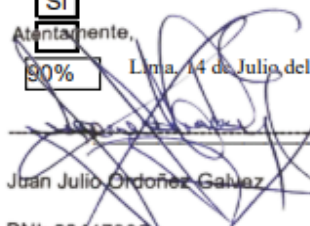
**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- Los requisitos para su aplicación los Requisitos para su aplicación

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

SI  
 Atentamente,  
 90% Lima, 14 de Julio, del 2021  
  
 Juan Julio Ordoñez Galvez  
 DNI: 08447308

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**
**I. DATOS GENERALES:**

- a. Apellidos y Nombres del validador: Dr Ordoñez Galvez Juan Julio
- b. Cargo e institución donde labora: Docente de la UCV
- c. Especialidad del validador: Medio Ambiente
- d. Nombre de Instrumento y finalidad de su aplicación: **Condiciones operacionales de las tecnologías de captura de CO2**
- e. Título de Investigación: Revisión Sistemática y Meta-análisis de la evaluación de tecnologías de captura de CO2 y obtención de energía renovable
- f. Autor(A) del Instrumentos: Quiroz Cervera Jesús Manuel / Urrutia Melchor Stefano Alexander.

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- Los requisitos para su aplicación los Requisitos para su aplicación

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**
 SI

 NO

**90%**

Montañante,

Lima, 14 de Julio de 2021


 Juan Julio Ordoñez Galvez

DNI: 08447308

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**
**V. DATOS GENERALES:**

- a. Apellidos y Nombres del validador: Dr Ordoñez Galvez Juan Julio
- b. Cargo e institución donde labora: Docente de la UCV
- c. Especialidad del validador: Medio Ambiente
- d. Nombre de Instrumento y finalidad de su aplicación: **Condiciones operacionales de obtención de energía renovable**
- e. Título de Investigación: Revisión Sistemática y Meta-análisis de la evaluación de tecnologías de captura de CO2 y obtención de energía renovable
- f. Autor(A) del Instrumentos: Quiroz Cervera Jesús Manuel / Urrutia Melchor Stefano Alexander.

**VI. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

**VII. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- Los requisitos para su aplicación los Requisitos para su aplicación

**VIII. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**
 SI

 NO

 90%

Lima, 14 de Julio de 2021

Atentamente,



Juan Julio Ordoñez Galvez

DNI: 08447308



**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**
**I. DATOS GENERALES:**

- a. Apellidos y Nombres del validador: Dr Ordoñez Galvez Juan Julio
- a. Cargo e institución donde labora: Docente de la UCV
- b. Especialidad del validador: Medio Ambiente
- c. Nombre de Instrumento y finalidad de su aplicación: **Calidad de la metodología de estudios incluidos**
- d. Título de Investigación: Revisión Sistemática y Meta-análisis de la evaluación de tecnologías de captura de CO2 y obtención de energía renovable
- e. Autor(A) del Instrumentos: Quiroz Cervera Jesús Manuel / Urrutia Melchor Stefano Alexander.

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- Los requisitos para su aplicación los Requisitos para su aplicación

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**
 SI

 NO

 90%

Lima, 14 de Julio de 2021

Atentamente,


  
 Juan Julio Ordoñez Galvez

DNI: 08447308