EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA ADOPCIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN LA PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS

ANDRES FABIAN BARRIOS HENAO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA DE SISTEMAS

BUCARAMANGA

2022

EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA ADOPCIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN LA PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS

ANDRES FABIAN BARRIOS HENAO

Asesor

JORGE ANDRICK PARRA VALENCIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA DE SISTEMAS

BUCARAMANGA

2022

Nota de aceptación:

_____

_____

_____

_____

Firma del presidente del jurado

_____

Firma del jurado

_____

Firma del jurado

CONTENIDO

GLOSARIO 6
1. INTRODUCCIÓN 7
1.1 Justificación 7
1.2 Árbol del problema 7
1.3 Antecedentes 11
2. OBJETIVOS 15
2.1 OBJETIVO GENERAL 15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 15
3. MARCO DE REFERENCIA 16
3.1 MARCO TEÓRICO 16
3.3 MARCO CONCEPTUAL 20
4 DISEÑO METODOLÓGICO 22
4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN 22
4.2 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN 22
4.3 Fuentes y técnicas de recolección de información 24
4.3.1 Fuentes primarias 24
4.3.2 Fuentes secundarias 24
4.4 DELIMITACIÓN Y ALCANCE 26
5 Resultados esperados 27
5.1 Resultado esperado 1: 27
5.2 Resultado esperado 2 30
5.3 Resultado esperado 3 38

6 DISCUSIÓN 41
7 CONCLUSIÓN 42
8 Trabajo Futuro 43
9. BIBLIOGRAFIA 44

LISTA DE IMÁGENES:

Ilustración 1 2020, año de temperaturas récord en la Tierra **fuente:** (Roa, 2021) 8
Ilustración 2 Compañías emisoras de CO2 **fuente**: (Bedoya, 2019) 9
Ilustración 3. Árbol de problema. **Fuente:** Propia 10
Ilustración 7. Hidrólisis de grasa marrón con biosólidos**. Fuente:**(Xia et al., 2020) 19
Ilustración 8. Fabricación de combustibles neutros en carbono. **Fuente**:(Pearson et al., 2012) 20
Ilustración 9. Modelo de tratamiento de crudo con energía renovable. **Fuente**: Propia .. 27
Ilustración 10. Fase 1 de perforación de pozos. **Fuente**: Propia 28
Ilustración 11. Fase 2 tratamiento de crudo. **Fuente**: Propia 29
Ilustración 12. Diagrama de pozos. **Fuente**: Propia 30
Ilustración 13. Diagrama de tratamiento de crudo V1. **Fuente**: Propia 31
Ilustración 14. Diagrama de tratamiento de crudo V2. **Fuente**: Propia 31
Ilustración 15. Diagrama de tratamiento de crudo V3. **Fuente**: Propia 32
Ilustración 16. Modelo sistémico de producción. **Fuente**: Propia 33

LISTA DE TABLAS:

Tabla 1. Marco Teórico 18
Tabla 2. Tabla de costo de producción. **Fuente**: Propia 39
Tabla 3. Tabla de ganancia de producción. **Fuente**: Propia 39
Tabla 4. Tabla de Emisión de CO2. **Fuente**: Propia 40

GLOSARIO

Energías renovables: Son aquellas fuentes de energía que provienen de recursos naturales: el sol, el viento, el agua o la biomasa vegetal o animal. (EnergyaVM, 2019)

Energía no renovable: Son aquellas cuyas reservas son limitadas y, por tanto, disminuyen a medida que se consumen.

Los Hidrocarburos: son un grupo de compuestos orgánicos que contienen principalmente carbono e hidrógeno.

Hidrocarburos sintéticos: carburante sin emisiones que se fabrica a partir de CO2 e hidrógeno. Al utilizar CO2 reciclado y agua se los considera neutros en carbono y, por ello, mucho más sostenibles que los combustibles convencionales. (Lavanguardia, 2020)

Huella de carbono: es un indicador ambiental que pretende reflejar «la totalidad de gases de efecto invernadero emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto». (Factorenergia, 2018)

Grasa marrón: La grasa marrón se define como aceite recolectado de trampas de grasa que se instalan en alcantarillados comerciales, industriales o municipales para separar la grasa y el aceite de las aguas residuales.(Xia et al., 2020)

biosólidos: son residuos orgánicos sólidos, semisólidos o líquidos que resultan del tratamiento de las aguas residuales procesadas en las Plantas de Alcantarillado Sanitario. (Xia et al., 2020)

1. INTRODUCCIÓN

1.1 JUSTIFICACIÓN

La idea de este proyecto surgió de la problemática actual del cambio climático y su finalidad es evaluar los cambios que se generan al implementar energía renovable en el proceso de producción de energía renovable mediante la simulación de un modelo sistémico.

Su objetivo es mostrar alternativas que podrían implementar las empresas a la hora de producir hidrocarburos para reducir emisiones de CO2, costos de producción y aumentar ganancias de producción.

1.2 ÁRBOL DEL PROBLEMA

Por los altos niveles de contaminación se podría deducir que en la actualidad la mayoría de las empresas que producen hidrocarburos no optan por implementar energías renovables en la producción, en cambio usan energías combustibles lo que genera grandes costos a la compañía productora.

A medida que la población aumenta también lo hace el consumo de recursos naturales para satisfacer las demandas del mercado, esto ocasiona un aumento en las problemáticas climáticas ya que las empresas fabricantes liberan enormes cantidades de CO2 a la atmosfera y como consecuencia aumenta la temperatura del planeta.

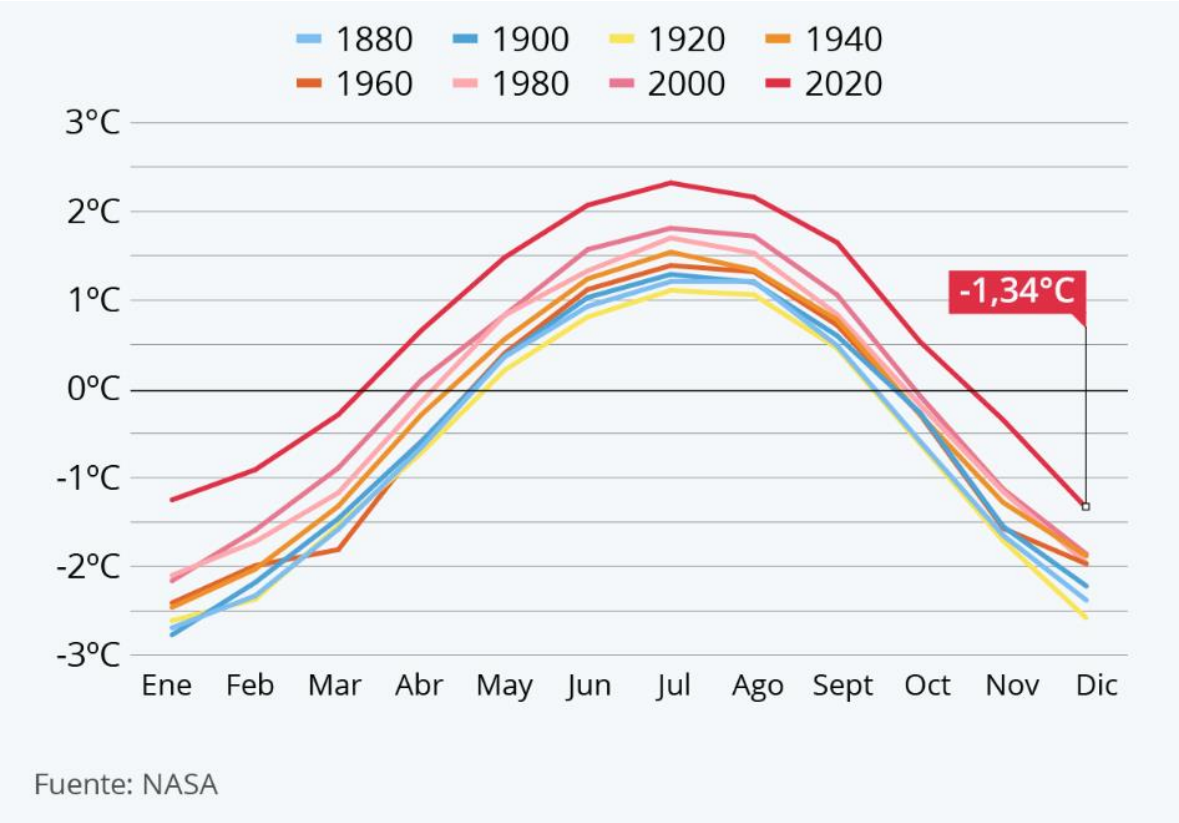


Ilustración 1 *2020, año de temperaturas récord en la Tierra* ***fuente:*** *(Roa, 2021)*

La grafica presente fue propuesta por Mónica Mena Roa en una infografía de la página “es.statista.com” **(Roa, 2021)**. Los datos que muestra la gráfica fueron obtenidos por estudios realizados por la NASA y muestra que desde el año 1940 al 2020 la temperatura de la tierra ha ido aumentando gradualmente. Desde el año 2000, el incremento de temperatura parece haberse acelerado. Otros estudios de la NASA revelan que el año 2016 y 2020 fueron los más caluros del planeta hasta ahora.

A esta problemática se le suma el hecho de que aquellas empresas fabricantes no toman medidas para disminuir la emisión de CO2 y se debe que estas empresas no implementan el uso de energía renovable en los procesos de producción si no que implementan el uso de energías no renovables, las que causan impactos negativos al medio ambiente contribuyendo a la contaminación y la huella de carbono en la atmosfera.**(Velásquez Arias, 2017)**

Ilustración 2 *Compañías emisoras de CO2* ***fuente****: (Bedoya, 2019)*

Este es un estudio realizado por **(Bedoya, 2019)** en la página web de “www.LaRepublica.co”, el cual muestra una lista de 20 países junto con sus compañías petroleras que más liberan enormes cantidades de CO2 a la atmosfera y que han contribuido en su mayoría a la crisis climática actual.

El estudio arroja que de las 20 compañías que están en la lista, son las responsables de un total del 35% de emisiones de carbono a nivel mundial de los últimos 50 años. Si al menos la mitad de las compañías optaran por la transición al uso de energía renovable en sus procesos de producción de hidrocarburos ayudarían enormemente a crisis climática que está sufriendo el planeta.

A partir de esto se planea la pregunta “¿es posible reducir los costos y emisiones de CO2 en empresas que producen hidrocarburos usando energías renovables para el reemplazo de las no renovables?”.

La problemática se podría presentar gráficamente mediante un árbol de problema de la siguiente forma:

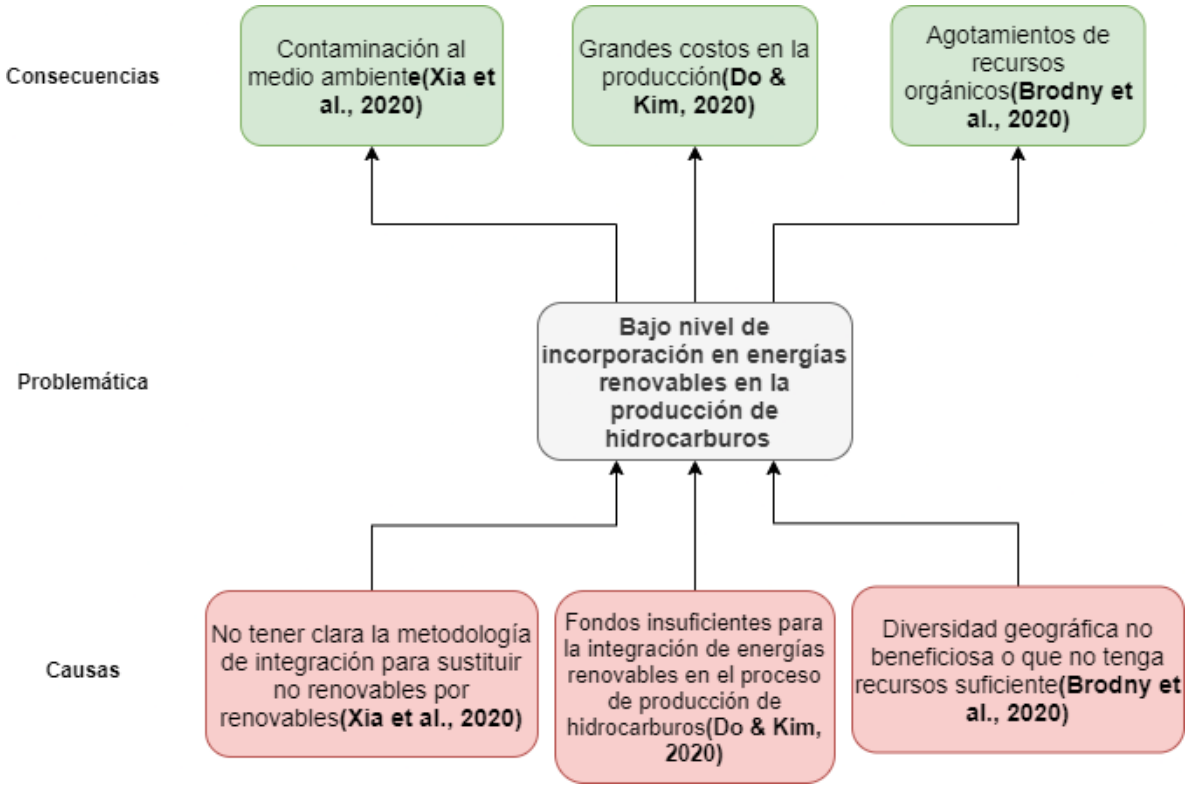


***Ilustración 3**. Árbol de problema. **Fuente:** Propia*

La problemática principal del árbol del problema es el bajo nivel de incorporación en energía renovable en la producción de hidrocarburos y sus principales causas son el hecho de no tener una metodología clara para sustituir las no renovable por renovables, también a que la compañía no tiene los fondos suficientes para invertir en fuentes generadoras de energía renovable y por último se puede deber a que la diversidad geográfica no es favorable o no tenga los recursos suficientes para la implementación de energía renovable.

Como principales consecuencias al bajo nivel de incorporación en energía renovable en la producción de hidrocarburos se resalta la contaminación al medio ambiente, grandes costos a la compañía productora y el agotamiento de recursos orgánicos.

1.3 ANTECEDENTES

Un primer trabajo corresponde a (Xia, y otros, 2019), quienes realizaron “Incorporation of Biosolids as Water Replacement in a Two-Step Renewable Hydrocarbon Process: Hydrolysis of Brown Grease with Biosolids” el cual propone una prueba de concepto para la “incorporación de biosólidos en la etapa de hidrólisis de una conversión térmica de lípidos en dos etapas para la producción de hidrocarburos renovables, que pueden utilizarse como combustibles renovables”(Xia et al., 2020)

La grasa marrón se hidrolizó con biosólidos o agua a 260–280 ° C durante 60 min en una proporción de masa de 1:1 de alimentación a agua o biosólidos. La materia prima y los productos se caracterizaron utilizando diversas técnicas analíticas para comparar el rendimiento de los biosólidos con el agua. Los resultados indicaron que no hubo una diferencia significativa en el grado de hidrólisis de la grasa marrón cuando se usaron biosólidos como reemplazo del agua.(Xia et al., 2020)

Otro aporte importante corresponde a (Amer, Toogood, & Scrutton, 2020) quienes realizaron “Engineering nature for gaseous hydrocarbon production” el cual propone un desarrollo de rutas sostenibles para la bio-fabricación de hidrocarburos gaseosos los cuales contribuirían ampliamente a las necesidades energéticas futuras. Su realización contribuiría a minimizar la dependencia excesiva de los combustibles fósiles, mejorar la calidad del aire, reducir la huella de carbono y mejorar la seguridad energética general.(Amer et al., 2020)

El bioetanol es el ejemplo clásico, que se deriva de la fermentación de almidón o azúcares. Por lo general, se mezcla con combustibles fósiles para su uso en el transporte. Por el contrario, el biodiésel se produce químicamente mediante la transesterificación de aceites de origen vegetal, con una composición química similar al diésel convencional. Los biocombustibles gaseosos de origen biológico

podrían servir como alternativas al gas natural comprimido (GNC) y algas licuado de petróleo (GLP).(Amer et al., 2020)

1.4 VOSSVIEWER

1.4.1 Búsqueda de datos de autores

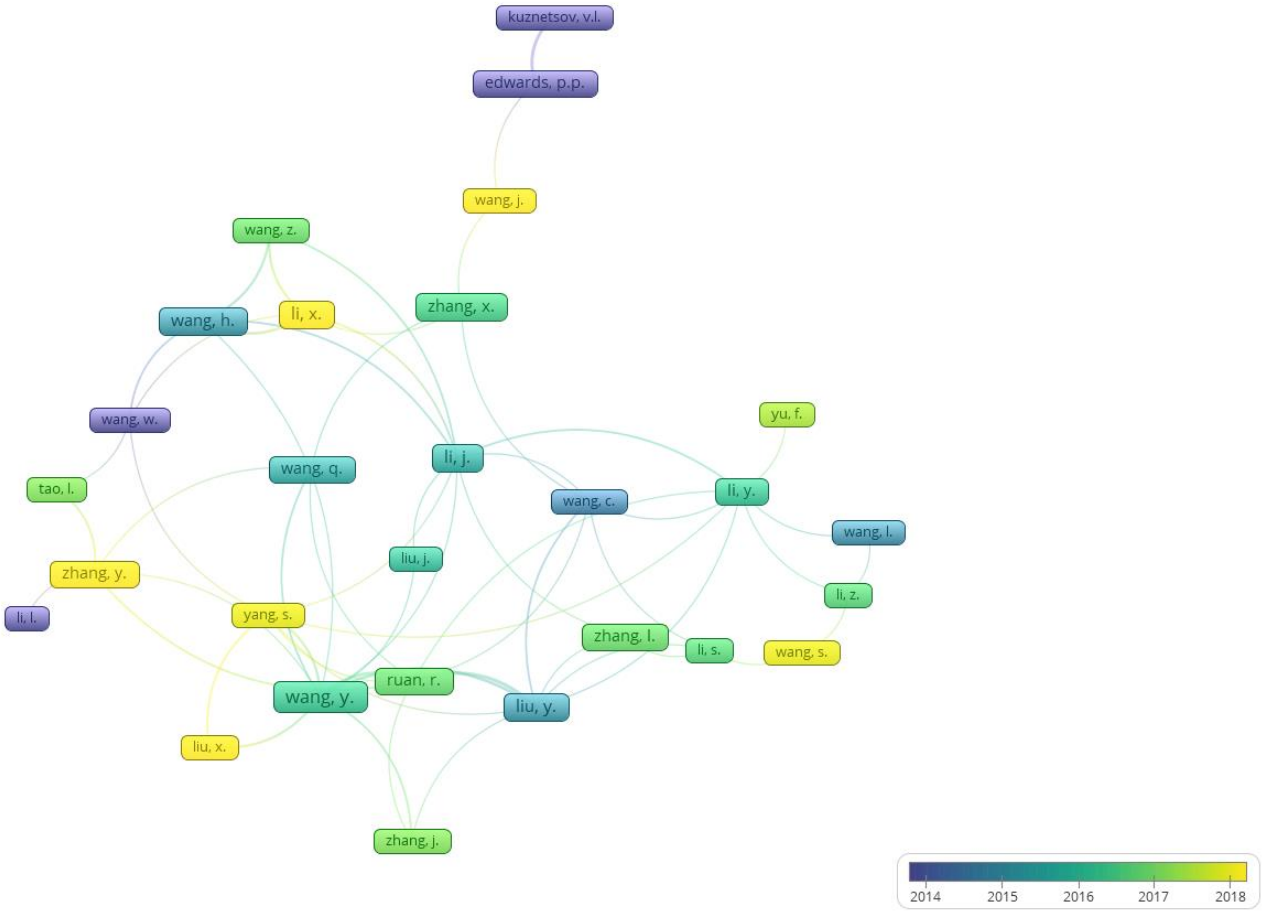


***Ilustración 4**. Búsqueda de datos de autores **Fuente:** Propia*

Los resultados de búsqueda de relación bibliográfica entre autores se muestran con un color más claro los estudios realizados en años recientes y los colores más oscuros aquellos que se realizaron un tiempo más atrás y la relación en cuanto a

citaciones que tienen autores en sus artículos, esto muestra el flujo de información referente al tema.

1.4.2 Búsqueda de Países relacionados

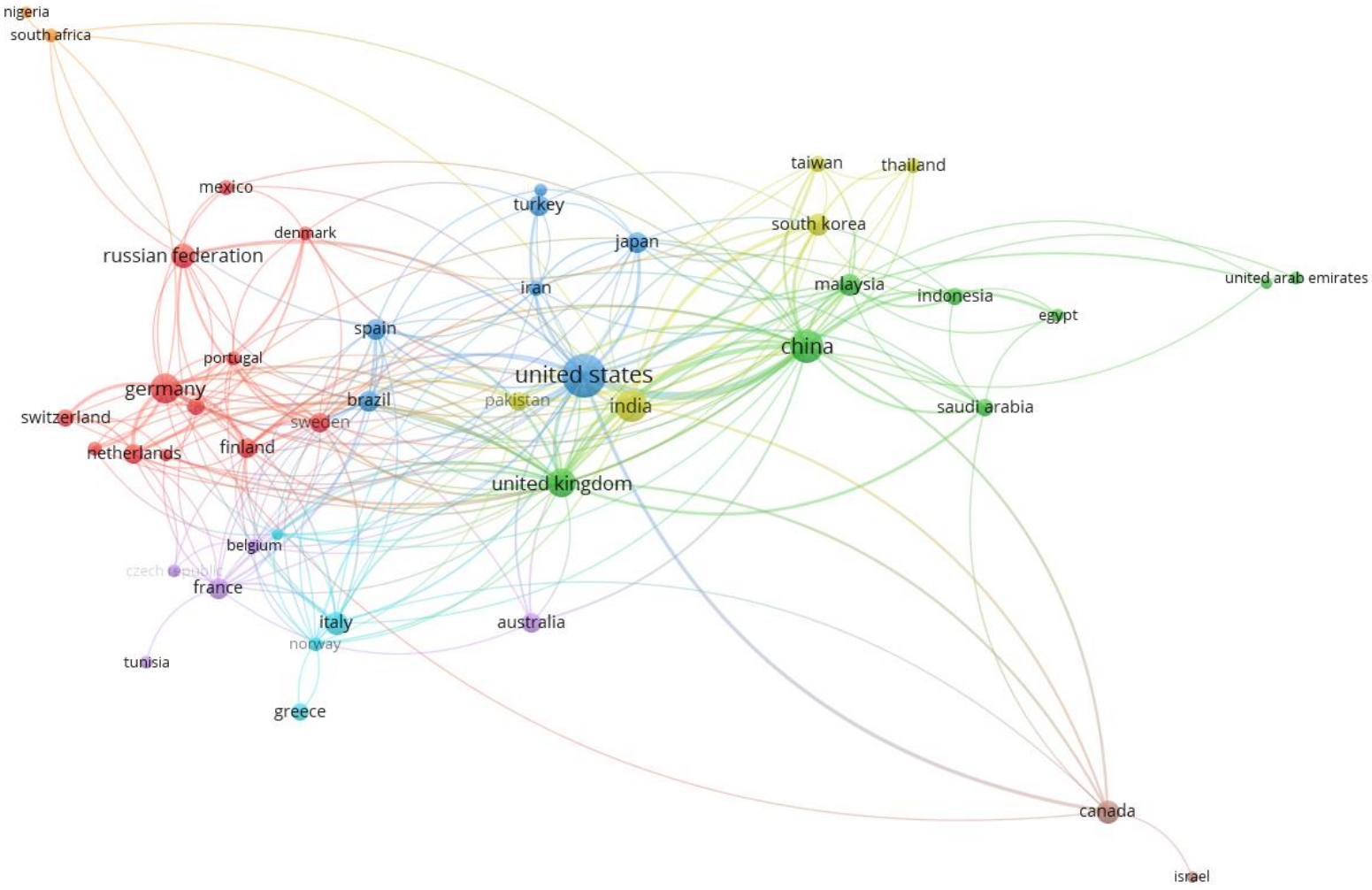


***Ilustración 5**. Búsqueda de Países relacionados **Fuente**: Propia*

Los resultados de búsqueda bibliográfica muestran la cantidad de países que han investigado y/o implementado los métodos para generar energía renovable y usarla para la producción hidrocarburos.

El tamaño de la esfera hace referencia a la cantidad de artículos que se han

realizado en el país, por ejemplo; Estados unidos, Alemania, Reino unido y china son los países en los que más se han realizado estos estudios.

1.4.3 Búsqueda de palabras claves

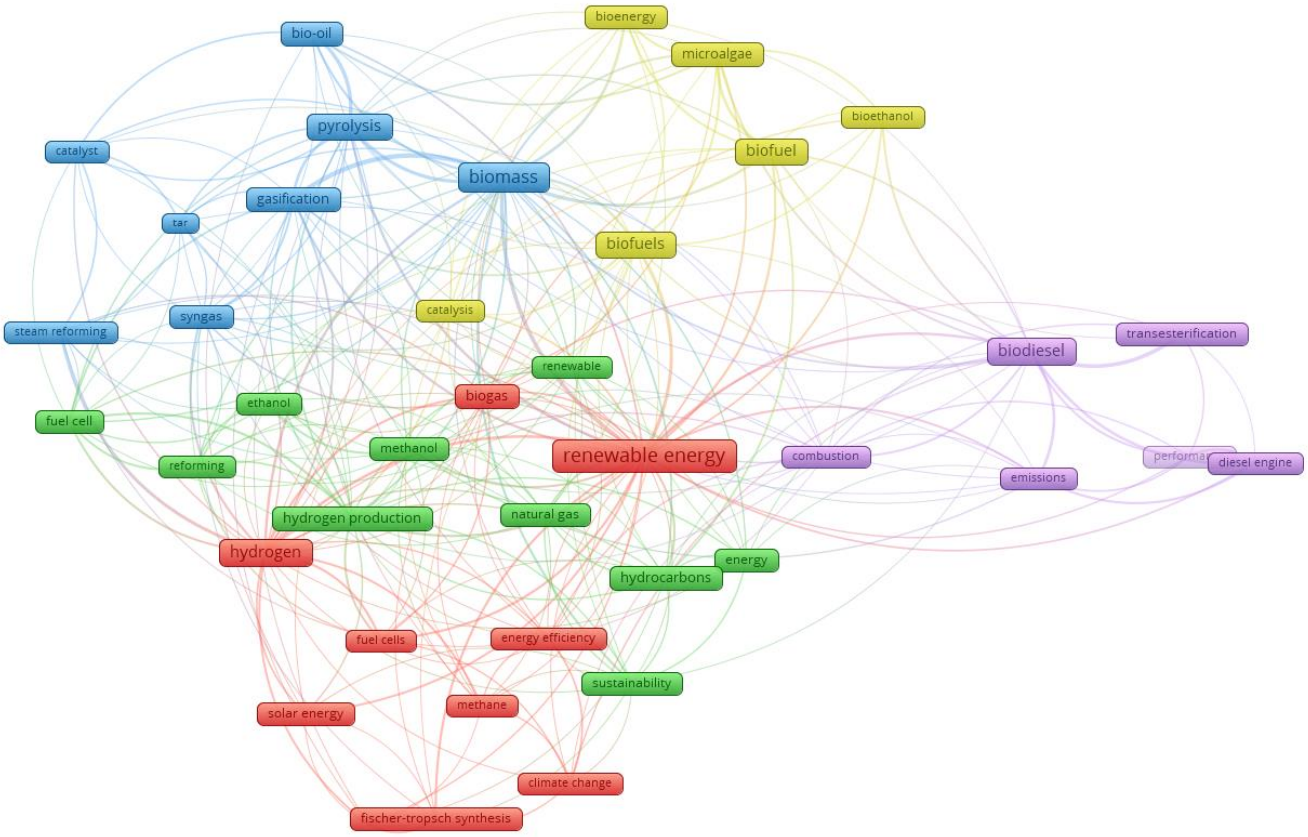


Figura 3 Búsqueda de palabras claves Fuente: Propia

Resultados de búsqueda bibliográfica de palabras claves, Se puede notar que en las palabras claves la mayoría de ellas que se mencionan son energías renovables y resultados de bioprocesos(bioaceite, bioetanol, biocombustibles etc.) mencionados anteriormente.

Se resalta el tamaño de cada palabra clave, lo que quiere decir el uso de cada palabra y las líneas la relación que tienen una con otras entre los 20 artículos tomados.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar dinámico sistémicamente la estrategia para la adopción de energías renovables en empresas que producen hidrocarburos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Proponer una hipótesis dinámica sobre los procesos de producción de hidrocarburos donde se pueda implementar el uso de energía renovable.

- Diseñar el modelo tomando en cuenta la hipótesis dinámica para explicar los efectos de la adopción de energías renovables en la producción de hidrocarburos.

- Evaluar la estrategia de adopción de energías renovables en la producción de hidrocarburos mediante la simulación del modelo previamente diseñado.

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1 MARCO TEÓRICO

Articulo	Problema	Método	Resultados
Incorporation of Biosolids as Water Replacement in a Two-Step Renewable Hydrocarbon Process: Hydrolysis of Brown Grease with Biosolids **(Xia et al., 2020)**	Los volúmenes acumulados de biosólidos en las lagunas de todo el mundo han intensificado la necesidad de desarrollar estrategias innovadoras de tratamiento de aguas residuales	La grasa marrón se hidrolizó con biosólidos o agua a 260–280 ° C durante 60 min en una proporción de masa de 1: 1 de alimentación a agua o biosólidos.	La investigación presentada anteriormente proporciona una prueba de concepto de que los biosólidos de las lagunas de tratamiento de aguas residuales se pueden usar como reemplazo del agua durante la hidrólisis de lípidos a base de acilglicerol.
Engineering nature for gaseous hydrocarbon production.**(Amer et al., 2020)**	reducir la dependencia de los combustibles fósiles que disminuyen rápidamente, lo que impacta el cambio climático y ha generado preocupaciones sobre la seguridad energética	El enfoque de esta revisión será explorar los desarrollos actuales y el potencial de producción del propano biológico, butano e isobutano. Esto ilustrará cómo se pueden emplear los avances en las técnicas de biología sintética para modular las vías nativas para la acumulación de metabolitos existentes y la incorporación de nuevas vías a sustancias químicas secundarias no nativas.	Se necesitan más investigaciones para desarrollar la producción de alcanos sintonizables en todo el espectro de hidrocarburos de cadena corta a muy larga, convirtiendo eficazmente los microorganismos en los 'campos petrolíferos del futuro'. Esto satisfará la demanda de mezclar o incluso reemplazar la actual dependencia de los combustibles derivados del petróleo y los precursores sintéticos.
Energy storage via carbon-neutral fuels made from CO2, Water, and Renewable Energy.**(Pearson et al., 2012)**	Los combustibles fósiles son renovables solo durante escalas de tiempo geológicas. La oxidación, por combustión, de cantidades considerables de combustibles carbonosos desde los albores de la industria revolución ha llevado a una rápida acumulación de CO 2 en la atmósfera que conduce a una influencia antropogénica en el clima de la Tierra.	El CO 2 se extrae de la atmósfera, se realiza un proceso de producción de ciclo cerrado de combustibles neutros en carbono. posible proporcionando un medio de almacenamiento de energía renovable denso en energía y fácilmente distribuido.	La sustitución de los combustibles fósiles por combustibles líquidos neutros en carbono no comprometería los niveles actuales de movilidad y permitiría que el transporte siguiera siendo compatible a nivel mundial. Los alcoholes de bajo número de carbono se pueden utilizar para aplicaciones de movilidad personal y de trabajo ligero, y los hidrocarburos sintéticos para aplicaciones donde la máxima densidad de energía es crucial.
Model-based assessment of electricity storage in a european system producing hydrogen and hydrocarbons from renewable energy. **(Evangelopoulou et al., 2019)**	La oxidación, por combustión, de cantidades considerables de combustibles carbonosos desde los albores de la industria revolución ha llevado a una rápida acumulación de CO 2 en la atmósfera que conduce a una influencia antropogénica en el clima de la Tierra.	se realiza un proceso de producción de ciclo cerrado de combustibles neutros en carbono	proporcionando un medio de almacenamiento de energía renovable denso en energía y fácilmente distribuido.

Green C2-C4 hydrocarbon production through direct CO2 hydrogenation with renewable hydrogen: Process development and techno-economic analysis. **(Do & Kim, 2020)**	Análisis de sensibilidad económica realizado para identificar los principales generadores de costos, como el bajo nivel de CO2 conversión o precios altos para H renovable2, y proponer soluciones a estos cuellos de botella que permitan el desarrollo de aplicaciones económicamente viables.	El proceso propuesto es una ruta verde a C2-Hidrocarburo C, que se obtienen de la sinergia al utilizar CO2 y H renovable. Se usó un catalizador de Fe-K y-Al2O3 para producir hidrocarburos ligeros de carbono.	Como resultado, el proceso propuesto podría lograr un 99,2% y un 42,0% de eficiencia energética y de carbono, respectivamente. La unidad por costo de producción para el C2-C4 hidrocarburos se estimó en 3,58 USD / kg, y el CO2 se estimó que la emisión era negativa (−1,85 kg CO2 por kg C2-C4 hidrocarburo)
Forecasting the structure of energy production from renewable energy sources and biofuels in Poland.**(Brodny et al., 2020)**	Los cambios climáticos negativos relacionados con las elevadas emisiones de la economía basadas en la combustión de hidrocarburos y la creciente conciencia pública han obligado a buscar nuevas fuentes de energía ecológica.	La investigación se llevó a cabo utilizando redes neuronales artificiales. Los resultados deben ser una fuente importante de información sobre los efectos de la implementación de políticas climáticas en Polonia. También deberían utilizarse para desarrollar planes de acción para lograr los objetivos de la estrategia del Pacto Verde Europeo	El resultado proporciono que las correlaciones entre la energía producida con energía renovable en la mayoría de los casos podrían llegar a sustituir a las energías no renovables.
Selección de campos para la implementación de solar EOR como proceso térmico de recobro mejorado en Colombia.**(Medina Casas et al., 2019)**	Alternativa para la extracción de curdo por medio de energía solar usando espejos parabólicos para evitar el consumo y combustión del gas natural en procesos de extracción de crudo	consiste en instalar espejos parabólicos protegidos por un invernadero, que reflejan y concentran la luz solar en los receptores que recogen energía solar y luego la convierten en calor.	La tecnología Solar EOR se consolida como alternativa viable a la producción de vapor a gas para la industria petrolera debido a que puede generar la misma calidad de vapor que el gas natural, alcanzando temperaturas de hasta 750°F y 2,500 PSI.
The challenges of a biodiesel implementation program in Malaysia**(Zulqarnain et al., 2020)**	La industria del biodiésel de palma se enfrenta a muchos desafíos al implementar el programa de biodiésel en Malasia.	Este documento aborda la importancia de la mezcla B10 (10% de biodiésel, 90% de diésel de petróleo), los desafíos globales de la importación y exportación de aceite de palma y las medidas de protección para el continuo crecimiento positivo del sector del aceite de palma	El programa de biodiésel B10 aumentará el uso de fuentes de energía renovables, y se espera que aumente la productividad de la implementación de aceite de palma y biodiesel en el país

***Tabla** 1. Marco Teórico*

Como se puede notar la mayoría de los artículos de investigación comparten una problemática similar, que son reducir la dependencia de energías fósiles las cuales se van acabando con el tiempo y reducir las emisiones de CO2.

Sus métodos de implementación pueden ser ya sea utilizando aguas residuales como reemplazo de agua en la producción, mecanismos de reciclaje del CO2 o la producción biológica de alcanos como el butano, propano e isobutano los cuales pueden usarse como combustible.

3.1 Incorporación de biosólidos como reemplazo de agua en un proceso de hidrocarburos renovables de dos pasos: hidrólisis de grasa marrón con biosólidos

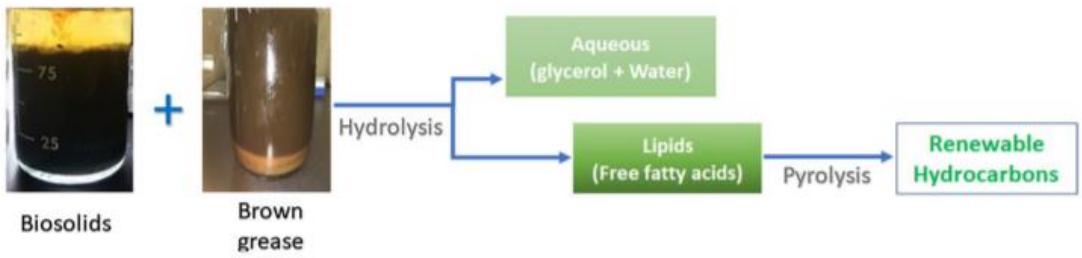


Ilustración 6. *Hidrólisis de grasa marrón con biosólidos****. Fuente:****(Xia et al., 2020)*

Este método consiste en 2 pasos: primero se somete la “grasa marrón” y los biosólidos en una reacción química llamada hidrolisis. Como resultado se obtiene glicerina con agua y ácidos grasos libres el cual se somete al segundo método que es la pirolisis. De esta forma se obtienen hidrocarburos renovables como el bioetanol, biodiesel y biogás.

3.2 Almacenamiento de energía a través de Fabricación de combustibles neutros en carbono De CO 2, Agua y Energías Renovables

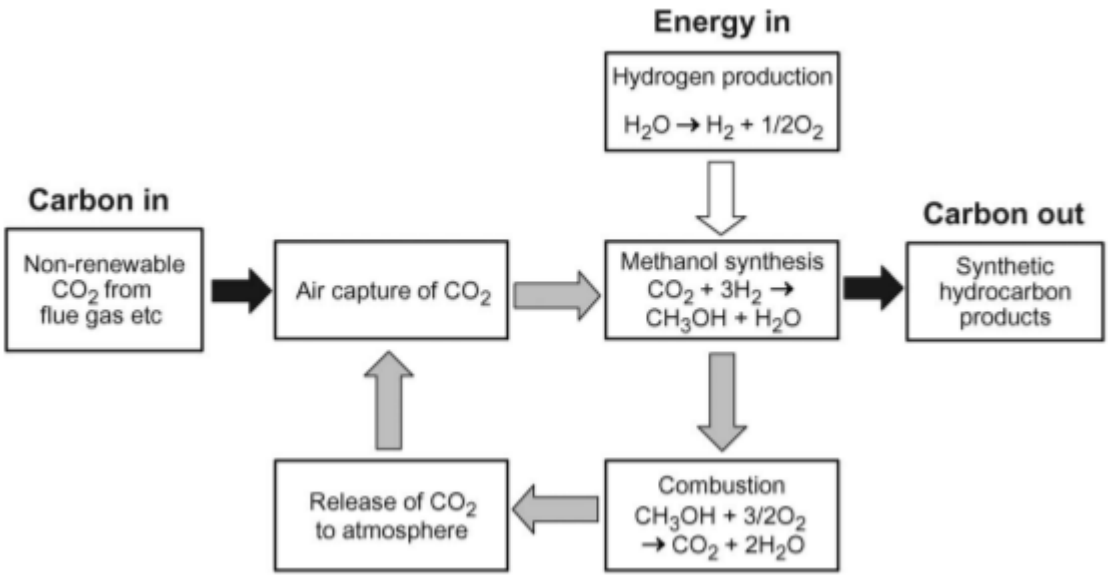


Ilustración 7*. Fabricación de combustibles neutros en carbono.* ***Fuente****:(Pearson et al., 2012)*

Este proceso comienza reuniendo CO2 no renovable el cual se captura en el aire, luego se sintetiza el metanol usando hidrogeno y en su proceso de combustión genera más CO2 el cual se vuelve a capturar para reutilizarlo. Como resultado se obtienen hidrocarbonos sintéticos (metanol como electro combustible)

3.3 MARCO CONCEPTUAL

Fases de producción de hidrocarburos (ELDAE, 2020)**:**

Extracción: Primera fase consta de la exploración y explotación del terreno, se necesita encontrar los yacimientos de petróleo y confirmar su existencia mediante estudios sísmicos y de otras clases para su perforación

Producción: Terminada la fase de extracción se inicia el revestimiento de tubería por donde pasara el petróleo hasta la superficie. Dentro del revestimiento se instala otra tubería, que es en definitiva donde pasaran los hidrocarburos a la superficie

Transporte: Ya que los pozos petrolíferos se encuentran en zonas muy alejadas de lugares de consumo. Esta fase se convierte en una de las más

fundamentales en la industria petrolera, que exige una gran inversión, tanto si el transporte se realiza mediante oleoductos o por medio de buques.

Refinación: El petróleo crudo tendrá que refinarse, en este proceso se pueden obtener diferentes productos tales como el aceite combustible, butano, kerosene, gasolina etc.

Costos y ejemplo de aplicación

En el año 2017 se realizó un estudio por parte de (ACP, 2017) donde se habla de los precios de producción de hidrocarburos, aclara que por cada producción de barril de petróleo a la empresa le cuesta en un promedio un total de 16,3 USD por barril, cuesta 7,7 USD su extracción y 8,6 USD su transporte. Un total de 53% de los costos provienen de únicamente en la fase de transporte.

En la revisión de literatura se menciona un estudio realizado por **(Zulqarnain et al., 2020)** se menciona sobre la implementación de una mezcla llamada B10 que consiste en mezclar 10% de biodiesel y 90% de biodiesel de crudo. Al implementar esta mezcla en la fase de transporte ayudaría a reducir entre y un 5% y un 10% los costos totales y la empresa productora al mismo tiempo estaría reduciendo sus emisiones de CO2.

Otro estudio hecho por **(Medina Casas et al., 2019)** plantea la implementación de una tecnología en la extracción de crudo llamada solar EOR, el cual consiste en instalar espejos parabólicos protegidos por un invernadero, que reflejan y concentran la luz solar en los receptores que recogen energía solar y luego la convierten en calor como reemplazo a la combustión de gas natural, el estudio arroja una reducción de costos entre un 10%-20% dependiendo de la zona en la que sea implementada. Teniendo esto en cuenta se podría responder la pregunta planteada, en un caso de aplicación en la fase de extracción podríamos reducir un 10% del costo con la tecnología solar EOR**(Medina Casas et al., 2019)** lo que nos da un total de 6,93 usd y reducir 10% del costo en transporte nos da un total de 7,74 para un total de costo por barril de 14,67 usd.

Comparando los precios la diferencia es de 1,63 usd por barril, la cifra actual de producción diaria promedio de barriles de petróleo es de 745.000 (Portafolio, 2021) con lo cual las empresas que implementen estos estudios se estarían ahorrando 1.214.350 usd diarios.

4 DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación de este proyecto es de tipo descriptivo, ya que se centrará en el análisis del proceso de producción de hidrocarburos y que efectos ocurren en cuanto a producción, costos, ganancias y emisiones de CO2 al implementar métodos de energía renovable en el proceso.

La simulación de este escenario se realizará mediante el uso de variables en un modelo sistémico con la herramienta Vensim en donde se podrán ver los efectos de implementar energía renovable en procesos de producción y los resultados de los diferentes escenarios.

4.2 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

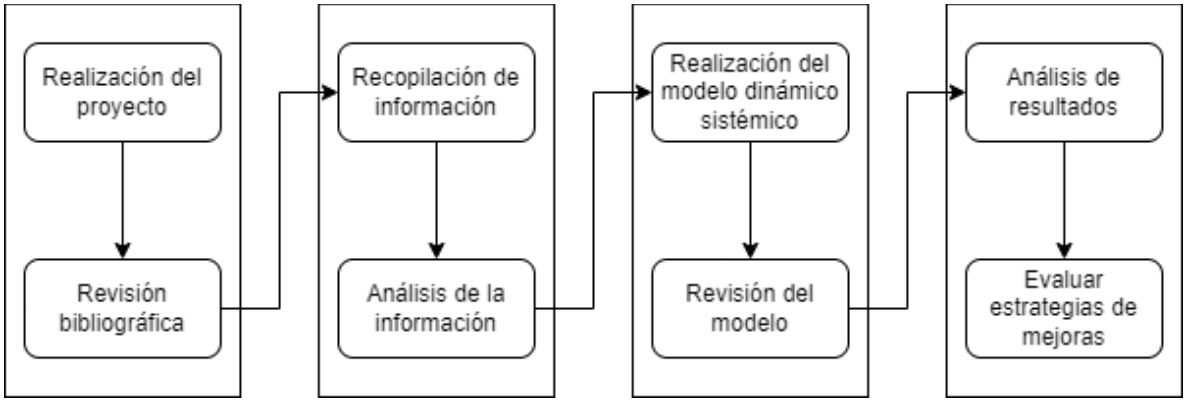
Para poder realizar el modelo dinámico se necesita seguir una lista de pasos útiles con el objetivo de entender a fondo el problema y plantear una hipótesis dinámica acorde al tema.

En el primer paso se identifica el problema y la razón del problema, también se plantean las posibles variables claves, los conceptos claves se deben considerar para la realización del modelo y que comportamiento podrían tener a futuro.

En el siguiente paso se desarrolla la hipótesis dinámica con las variables planteadas anteriormente mediante herramientas que faciliten su realización como los diagramas de bucles, datos disponibles que se hayan investigado, flujos etc. Una vez que se va realizando el modelo se van realizando pruebas de simulación con el fin de que la estructura, reglas de decisión y los parámetros estén bien establecidos para que las pruebas y resultados obtenidos tengan consistencia con el propósito del proyecto.

En la siguiente etapa de simulación se plantea si el modelo reproduce la hipótesis dinámica y plantea si el comportamiento del modelo cumple con las condiciones establecidas. En esta etapa también se plantea el alcance, las limitaciones que podría tener el modelo y se plantean los diferentes escenarios que podría tomar el modelo. También se examinan nuevas reglas de decisión y estrategias que podrían probarse en el mundo real.

Basados en la información previamente mencionada se plantea la metodología de investigación que constan de cuatro fases, en la primera fase consta de dos actividades y son las del inicio de la realización del proyecto y la revisión bibliográfica. Consecuente de estas dos actividades en la segunda fase se recopila la información bibliográfica obtenida de la primera fase y esta se analiza para en la tercera fase comenzar a la realización del modelo sistémico, el cual se revisará una vez terminado. Terminado el modelo en la cuarta fase se analizan los resultados del modelo y consecuente se evalúan las estrategias de implementación de energía renovable.



4.3 FUENTES Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

4.3.1 Fuentes primarias

Como fuente primaria de investigación, se le pidió a un profesional del área asesoría sobre el tema de extracción de crudo. Sobre la información obtenida, se destacan los procesos de producción de extracción de crudo y los recursos necesarios para que este sea transportado a las plantas de refinación.

4.3.2 Fuentes secundarias

Para las fuentes secundarias de investigación se recurrió a los estudios de bibliografía investigados con anterioridad. Aquellos estudios que más brindaron información importante y se tomaron en cuenta para realizar este proyecto son los siguientes:

- "*Model-based assessment of electricity storage in a european system producing hydrogen and hydrocarbons from renewable energy.*" **(Evangelopoulou et al., 2019)** Estudio bibliográfico donde se mencionas temas sobre las fuentes de energía renovable y su competitividad que tienen estas sobre las no renovables. También proponen un medio de almacenamiento de energía renovable denso en energía y fácilmente distribuido.
- *"Engineering nature for gaseous hydrocarbon production."***(Amer et al., 2020)** El cual propone desarrollos de rutas sostenibles para la bio-fabricación de propano, butano e isobutano. La idea principal de este proyecto es disminuir la dependencia excesiva de los combustibles fósiles.
- "*The challenges of a biodiesel implementation program in Malaysia*"**(Zulqarnain et al., 2020)** Este documento aborda la importancia de la mezcla B10 (10% de biodiésel, 90% de diésel de petróleo), el cual podría ser un estudio clave para ser implementado en unas de las fases de producción de hidrocarburos.
- "*Selección de campos para la implementación de solar EOR como proceso térmico de recobro mejorado en Colombia***."(Medina Casas et al., 2019)** Estudio bibliográfico que propone la tecnología Solar EOR que se consolida como alternativa viable a la producción de vapor a gas para la industria petrolera debido a que puede generar la misma calidad de vapor que el gas

natural, alcanzando temperaturas de hasta 750°F y 2,500 PSI. Este estudio podría ser aplicado en unas fases de producción de hidrocarburos.

- "*Incorporation of Biosolids as Water Replacement in a Two-Step Renewable Hydrocarbon Process: Hydrolysis of Brown Grease with Biosolids"* **(Xia et al., 2020)** Estudio bibliográfico que propone una prueba de concepto para la incorporación de biosólidos en la producción de hidrocarburo renovables en la etapa de hidrolisis y que pueden utilizarse como combustible renovable, con el objetivo de reducir el consumo de agua potable y reducir las emisiones de CO2.
- *"Forecasting the structure of energy production from renewable energy sources and biofuels in Poland".(***Brodny et al., 2020)** estudio bibliográfico hecho en Polonia que propone un estudio comparativo de la energía producida por fuentes renovables y la energía producida por biocombustibles contra la energía de combustibles fósiles. El estudio arroja que las correlaciones entre la energía producida con energía renovable en la mayoría de los casos podrían llegar a sustituir a las energías no renovables

4.4 DELIMITACIÓN Y ALCANCE

4.4.1 Alcance

- La idea principal de este proyecto es explorar los posibles escenarios que se producirían al implementar energía renovable en procesos de producción de hidrocarburos.
- Los resultados de estudio únicamente serian tomados en cuenta por aquellas empresas que producen hidrocarburos y no han optado implementar energía renovable.
- Los resultados del modelo abarcan reducción de costos de producción, ganancia de producción y emisiones de CO2.

4.4.2 Delimitaciones

- Los resultados de estudios no serian tomados en cuenta por aquellas empresas que no posean fondos suficientes para implementar energía renovable.
- Este proyecto tampoco sería tomado en cuenta por aquellas empresas que estén situadas en zonas donde la diversidad geográfica no sea favorable para la producción de energía renovable.
- Se debe realizar un estudio previo sobre la distancia y la profundidad de los pozos para ajustar los valores del modelo y tener un resultado más acertado.

5 RESULTADOS OBTENIDOS

5.1 RESULTADO ESPERADO 1:

Diseño de la hipótesis dinámica:

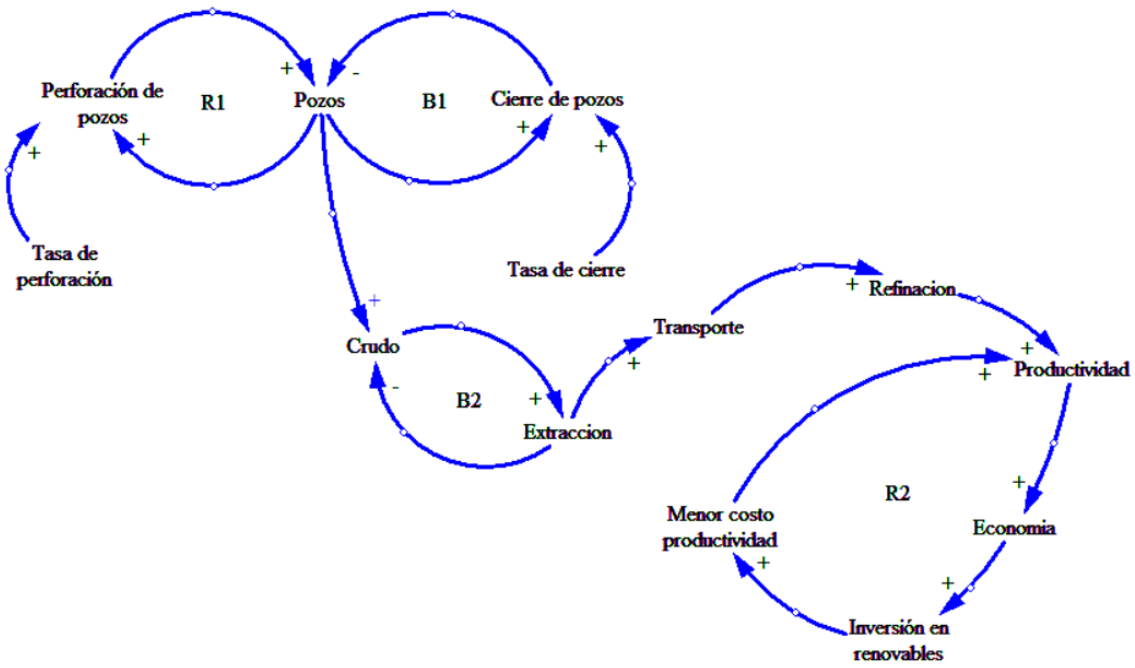


***Ilustración 8**. Modelo de tratamiento de crudo con energía renovable. **Fuente**: Propia*

Este diseño de hipótesis trata de explicar las fases de producción del crudo y el uso de energía renovable de los procesos de producción de hidrocarburos. Costa de cuatro ciclos, dos de balance(B1 y B2) y dos de refuerzo(R1 y R2):

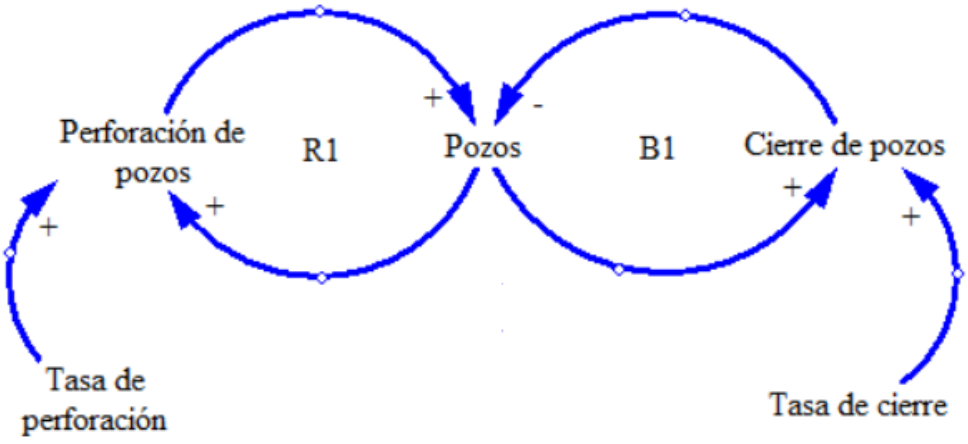


***Ilustración 9**. Fase 1 de perforación de pozos. **Fuente**: Propia*

Esta fase se trata de la perforación de pozos y cuenta con las variables de "*Cierre de pozos*" y "*Perforación de pozos*", que están relacionadas con sus variables de "*Tasa de cierre*" y "*Tasa de perforación*" respectivamente. Esta fase consta con un ciclo de refuerzo(R1) y un ciclo de balance(B1) y su flujo inicia con un numero de pozos, los cuales se irán perforando y aquellos pozos de los cuales se haya extraído el crudo se irán cerrando de igual manera.

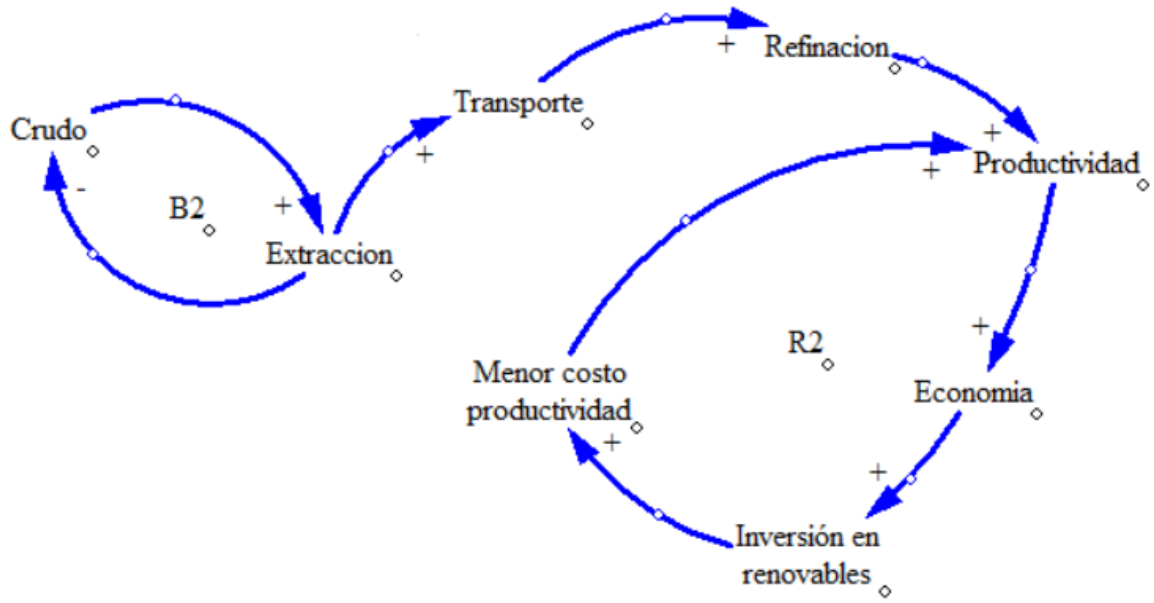


***Ilustración 10**. Fase 2 tratamiento de crudo. **Fuente**: Propia*

En esta segunda fase de la hipótesis consta de dos ciclos, uno de refuerzo(R2) y otro de balance(B2). El ciclo de balance explica la relación entre el crudo disponible que esta el pozo y su extracción, a medida que se extrae el crudo de los pozos, menos crudo habrá disponible .En el ciclo de refuerzo se explica las fases del tratamiento del crudo. Su objetivo es explicar las fases por donde se tratará el crudo y su implementación de energía renovable. En primer lugar, el crudo se extrae y entre mas crudo se extrae más se deberá transportar, así a su vez este crudo transportado debe ser refinado para poder obtener productividad y ganancias de este, de las ganancias se invierte un porcentaje para implementar energía renovable en los procesos de tratamiento de crudo. Al invertir ganancias en energía renovable se mejoran las fases de tratamientos de crudo con el objetivo de mejorar la productividad.

5.2 RESULTADO ESPERADO 2

Diseño del modelo sistémico:

Tomando en cuenta toda la información obtenida de las referencias bibliográficas y el marco conceptual se puede obtener una idea de las posibles variables se pueden utilizar para el modelaje de este objetivo. El uso de la herramienta Vensim facilita esta parte del modelaje ya que posee herramientas útiles que servirán en este proceso.

En la primera parte del modelaje se trata de la parte los pozos en donde se perforarán y cerraran los pozos donde está el crudo, se usan dos flujos los cuales son "*Perforación de pozos*" y "*Cierre de pozos*" que van conectados con el nivel "*Pozo*" en los cuales irán con dos variables que en este caso son "*Tasa de perforación*" y "*Tasa de cierre*".

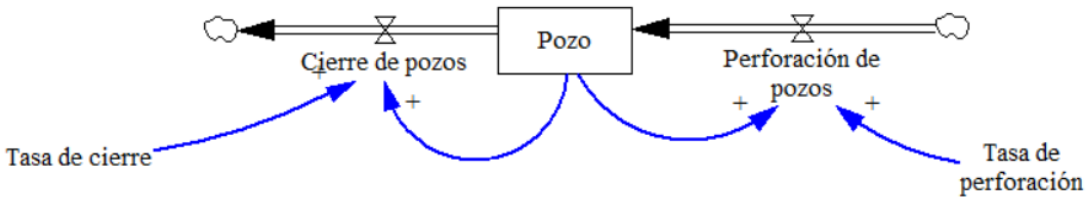


***Ilustración 11**. Diagrama de pozos. **Fuente**: Propia*

La segunda parte del modelaje se trata del tratamiento del crudo, en esta etapa el crudo se extrae de los pozos, en esta etapa el crudo se transporta a una planta de refinación y por ende se refina.

Esta etapa comienza con tres flujos los cuales son "Extracción", "Transportación" y "Refinación". En flujo de extracción ira conectada con el nivel de "Crudo" ya que de este se basa todo el diagrama, en esta parte se conecta el flujo de transportación ya una vez extraído el crudo este se debe transportar a una refinería.

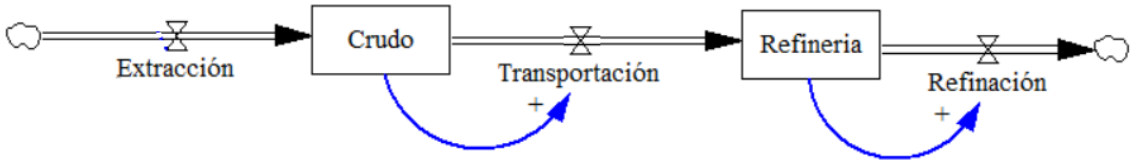


***Ilustración 12**. Diagrama de tratamiento de crudo V1. **Fuente**: Propia*

Una vez planteada esta etapa, se comienzan a tratar temas de los costos y el uso de recursos para poder llevar a cabo este flujo de extracción, transportación y refinación. El uso de variables como "*Extracción por día*", "*Energía por extracción*" y "*Coste por vatio*" son importantes para poder obtener el "*Costo por extracción*".

Por otro lado, en el flujo de transportación se requieren variables como "*Tiempo de transporte*", "*Combustible por extracción*" la cual esta relacionada con la variable de "*Galón de gasolina*" y "*Coste por galón de gasolina*" los cuales son prescindibles para obtener el "*Costo de transportación*".

En el flujo de refinación solo se toma en cuenta el tiempo que se tarda el refinar el crudo por ello se tiene en cuenta la variable "*Tiempo de refinación*".

Una vez terminado los flujos de tratamiento y las variables de costos de extracción y transporte, se obtiene la variable de "*Costo de producción*" donde se almacena todo el gasto que es necesario para producir el crudo.

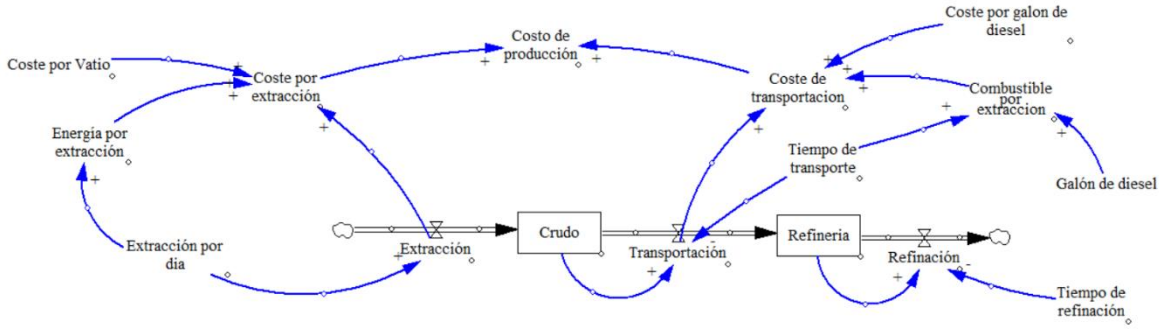


***Ilustración 13**. Diagrama de tratamiento de crudo V2. **Fuente**: Propia*

Esta versión del modelo representa como tal la producción de hidrocarburos sin la implementación de energía renovable, para poder incluir métodos de implementación de energía renovable se toma en cuenta dos estudios bibliográficos que podrían ser utilizadas como ejemplo. En la variable de “Costos de transportación” se puede relacionar con el estudio bibliográfico de **(Zulqarnain et al., 2020),** el cual propone mezclar un 10% de Biodiesel y 90% Diesel para reducir los costos de transportación. A la nueva variable se le dio el nombre de “*Porcentaje de biodiesel*”.

En la variable de “Costo de extracción” se relaciona con el estudio bibliográfico de **(Medina Casas et al., 2019),** el cual consiste en instalar espejos parabólicos protegidos por un invernadero, que reflejan y concentran la luz solar en los receptores que recogen energía solar que convierten en calor como reemplazo a la combustión de gas natural. A la nueva variable se le dio el nombre de “*Calor por sustitución de gas*”.

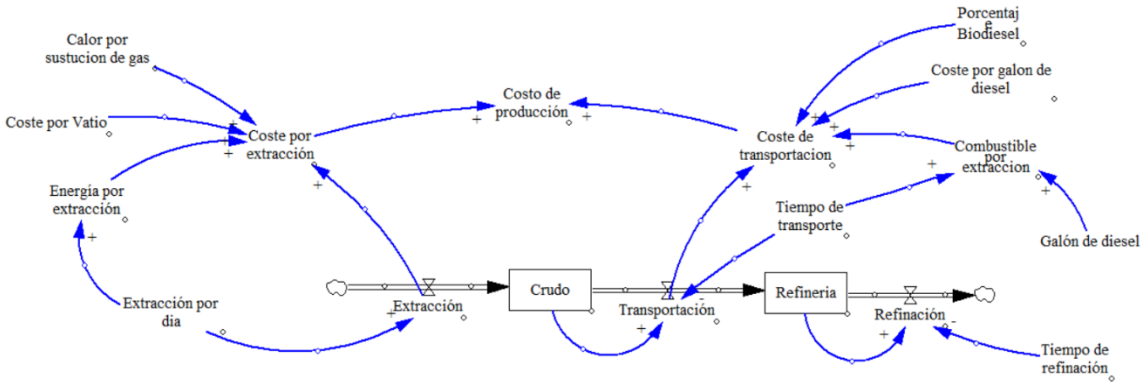


Ilustración 14*. Diagrama de tratamiento de crudo V3.* ***Fuente****: Propia*

Esta versión del modelo representa la implementación de energía renovable en el proceso de producción de hidrocarburos, variable de usos de recursos y los costos de aquellos recursos que se usan para producir hidrocarburos. Una vez que se plantean las variables de costos y las variables para reducir los costos, es necesario adicionar las variables de “Venta de crudo”, “Precio de barril de crudo” y

“Ganancia de producción”, Esto con el fin de obtener un panorama más amplio a la hora de ver como afecta el uso de energía renovable en las ganancias y costos.

Se establecieron 4 variables mas para tomar en cuenta en esta versión del modelo tales como; “*Emisión de C02 de extracción*”, “*Emisión de CO2 por transportación*”, “*Emisión de C02 de refinación*” con el fin de obtener un aproximado de cuanto CO2 se emite en total en estas 3 fases de producción, del 100% de emisión del CO2 se le asignaron a estas variables un porcentaje de su total del 20% para la variable “*Extracción*”, 45% para la variable de “*Transportación*” y un 35% para la variable de “*Refinación*”. Por ultimo se agrego la variable de “*Emisión total de CO2*” la cual albergara el valor de las 3 ultimas variables establecidas.

Terminada la versión del modelo se plantean dos escenarios, una en donde se implementa energía renovable para reducir costos y otra en donde se sigue el proceso sin incluir energía renovable.

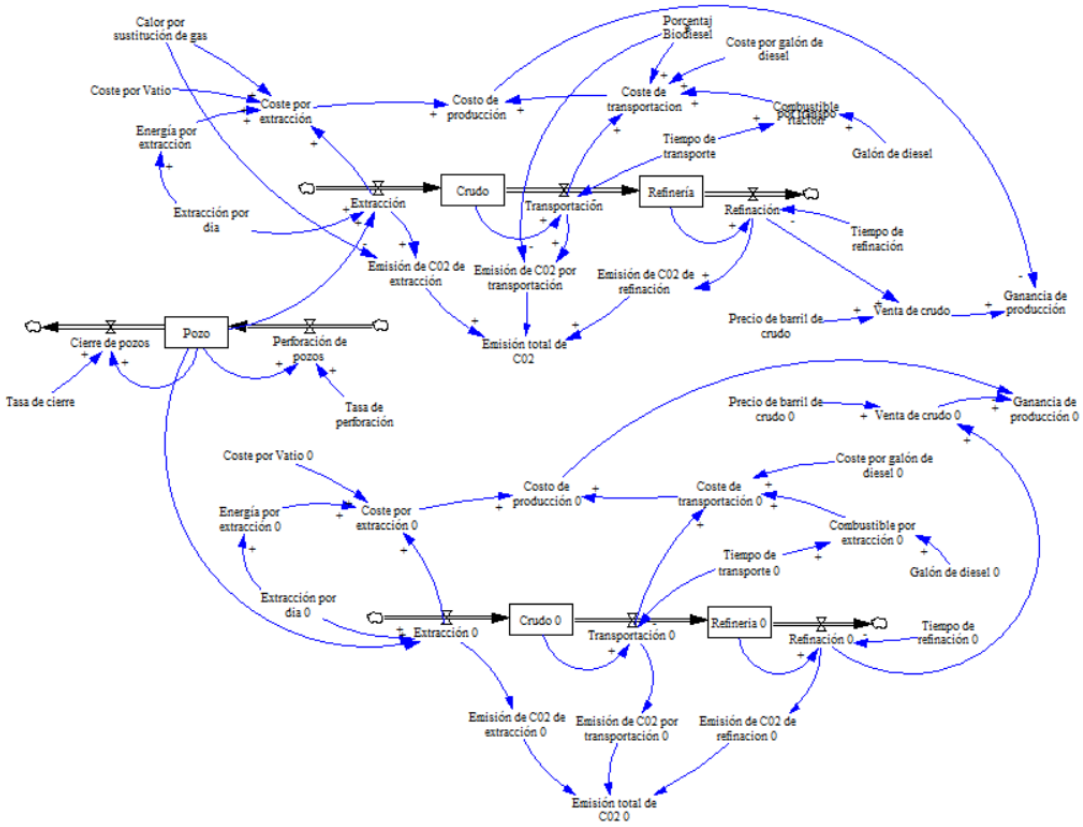


***Ilustración 15**. Modelo sistémico de producción. **Fuente**: Propia*

Valores usados en cada variable:

1. Nivel “Pozo”:
   Valor inicial: 100.
   Ecuación: Perforación de pozos-Cierre de pozos.

2. Variable “Perforación de pozos”:
   Valor inicial: 0.
   Ecuación: Pozo*Tasa de perforación.

3. Variable “Cierre de pozos”:
   Valor inicial: 0.
   Ecuación: Pozo/Tasa de cierre.

4. Variable “Tasa de perforación”:
   Valor inicial: 0.02.
   Ecuación: -.

5. Variable “Tasa de cierre”:
   Valor inicial: 20.
   Ecuación: -.

6. Flujo “Extracción”
   Valor inicial: 0.
   Ecuación: Pozo*Extracción por día.

7. Variable “Extracción por día”
   Valor inicial: 10.
   Ecuación: -.

8. Variable “Emisión de C02 de extracción”
   Valor inicial: 0.
   Ecuación: ((Extracción*20)/100)-((Extracción*20)/100)*(Calor por sustitución de gas/100).

9. Variable “Energía por extracción”
   Valor inicial: : 25/Extracción por día.
   Ecuación: -.

10. Variable “Coste por Vatio”
    Valor inicial: : 0.5.
    Ecuación: -.

11. Variable “Calor por sustitución de gas”
    Valor inicial: : 15.
    Ecuación: -.

12. Variable “Coste por extracción”
    Valor inicial: : 0.
    Ecuación: (Extracción*Energía por extracción*Coste por Vatio)-(Extracción*Energía por extracción*Coste por Vatio)*(Calor por sustitución de gas/100).

13. Nivel “Crudo”
    Valor inicial: : +Extracción.
    Ecuación: Extracción-Transportación.

14. Flujo “Transportación”
    Valor inicial: : 0.
    Ecuación: Crudo/Tiempo de transporte.

15. Variable “Emisión de C02 por transportación”
    Valor inicial: : 0.
    Ecuación: ((Transportación*45)/100)-((Transportación*45)/100)*(Porcentaje Biodiesel/100).

16. Variable “Tiempo de transportación”
    Valor inicial: : 8.
    Ecuación: -.

17. Variable “Combustible por transportación”
    Valor inicial: : 0.
    Ecuación: Tiempo de transporte/Galón de diesel.

18. Variable “Galón de diesel”
    Valor inicial: : 2.
    Ecuación: -.

19. Variable “Coste de galón de diesel”

Valor inicial: : 2.2.
Ecuación: -.

20. Variable “Porcentaje de biodiesel”
    Valor inicial: : 10.
    Ecuación: -.

21. Variable “Coste de transportación”
    Valor inicial: : 0.
    Ecuación: (Combustible por transportación*Transportación*Coste por galón de diesel)-(Combustible por transportación*Transportación*Coste por galón de diesel)*(Porcentaje Biodiesel/100).

22. Variable “Coste de producción”
    Valor inicial: : 0.
    Ecuación: Coste de transportación + Coste por extracción.

23. Nivel “Refinería”
    Valor inicial: : +Transportación.
    Ecuación: Transportación-Refinación.

24. Flujo “Refinación”
    Valor inicial: : 0.
    Ecuación: Refinería/Tiempo de refinación.

25. Variable “Emisión de C02 de refinación”
    Valor inicial: : 0.
    Ecuación: ((Refinación*35)/100).

26. Variable “Revisión de calidad”
    Valor inicial: : 0.
    Ecuación: (Refinación*Perdida de calidad)/100

27. Variable “Perdida de calidad”
    Valor inicial: : 2.
    Ecuación: -.

28. Variable “Ajuste de calidad”
    Valor inicial: : 0.
    Ecuación: +Revisión de calidad.

29. Variable “Tiempo de refinación”
    Valor inicial: : 5.
    Ecuación: -.

30. Variable “Venta de curdo”
    Valor inicial: : 0.
    Ecuación: Precio de barril de crudo*Refinación.

31. Variable “Precio de barril de crudo”
    Valor inicial: : 107.
    Ecuación: -.

32. Variable “Ganancia de producción”
    Valor inicial: : 0.
    Ecuación: Venta de crudo-Costo de producción.

33. Variable “Porcentaje de biodiesel”
    Valor inicial: : 10.
    Ecuación: -.

34. Variable “Emisión total de C02”
    Valor inicial: : 0.
    Ecuación: Emisión de C02 de extracción + Emisión de C02 de refinación + Emisión de C02 por transportación.

Se usaron los mismos valores para las variables del escenario de producción de hidrocarburos sin implementar energía renovable, pero para algunas variables cambio su ecuación y son las siguientes:

1. Variable “Coste por extracción 0”
   Valor inicial: : 0.
   Ecuación: (Extracción 0*Energía por extracción 0*Coste por Vatio 0).

2. Variable “Coste de transportación 0”
   Valor inicial: : 0.
   Ecuación: (Combustible por extracción 0*Transportación 0*Coste por galón de diesel 0).

3. Variable “Emisión de C02 de extracción 0”
   Valor inicial: : 0.
   Ecuación: ((Extracción 0*20)/100).

4. Variable “Emisión de C02 por transportación 0”
   Valor inicial: : 0.
   Ecuación: ((Transportación 0*35)/100).

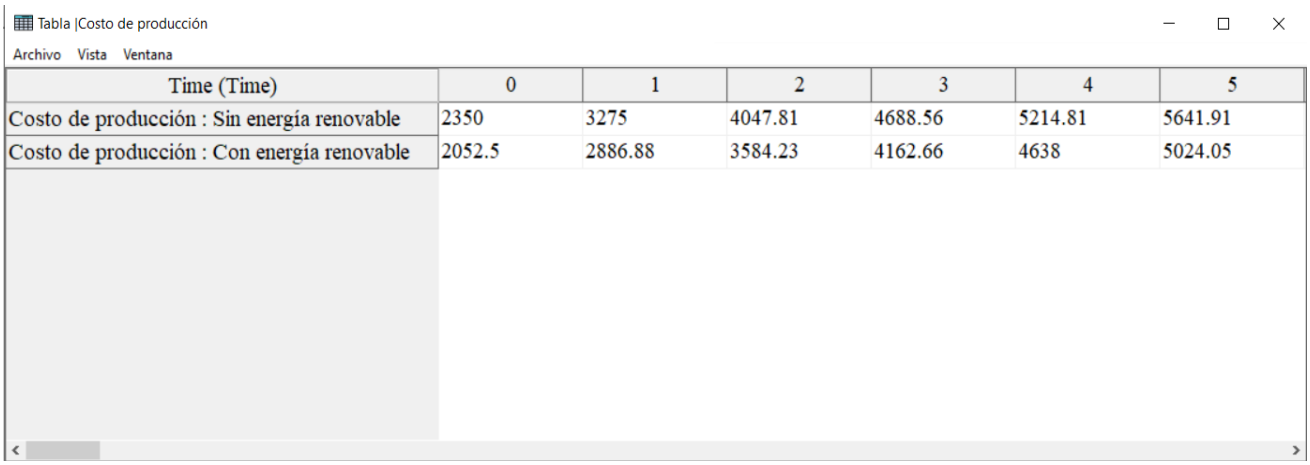
5.3 RESULTADO ESPERADO 3

Evaluar la estrategia de adopción de energías renovables:

Una vez realizado el modelo sistémico es necesario evaluar las estrategias de implementación de energía renovable que se usaron para poder observar el impacto de estas en el proceso de producción de hidrocarburos.

En la simulación del modelo se le dio a la variable de “Extracción por *día*” el valor de 10 unidades de crudo y la variable de “*Pozos*” un valor inicial de 100 y a sus respectivas variables de “*Tasa de perforaron*” y “Tasa de *cierre*” un valor de 0.02 y 20 respectivamente. Cabe aclarar que estos valores son muy situacionales y por ende se aplican únicamente con el objetivo de ilustrar.

Para poder evaluar la eficacia de la implementación de energía renovable en la producción de hidrocarburos se tomaron en cuenta los resultados de la variable “*Costo de producción*” de ambos escenarios(Renovable y no renovable):

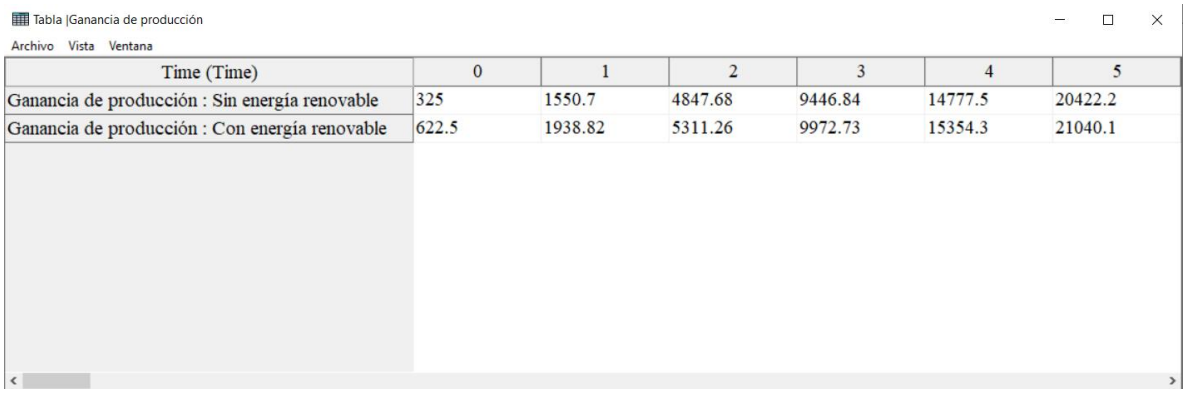


Time (Time)	0	1	2	3	4	5
Costo de producción : Sin energía renovable	2350	3275	4047.81	4688.56	5214.81	5641.91
Costo de producción : Con energía renovable	2052.5	2886.88	3584.23	4162.66	4638	5024.05

***Tabla 2**. Tabla de costo de producción. **Fuente**: Propia*

En esta tabla se muestran los valores números de los resultados, como se puede observar la diferencia de resultado de costos en ambas variables es notable con un aproximado de 13% de reducción de costos de producción.

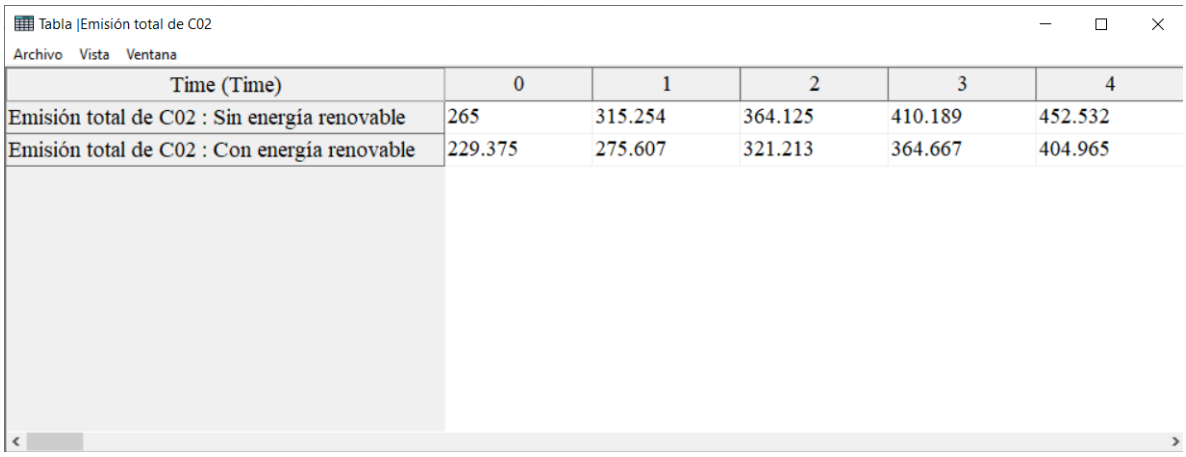
Los resultados de la segunda variable que se tomó en cuenta de ambos escenarios para evaluar la eficacia de la implementación de energía renovable en procesos de producción de hidrocarburos fue "*Ganancia de producción*".



Time (Time)	0	1	2	3	4	5
Ganancia de producción : Sin energía renovable	325	1550.7	4847.68	9446.84	14777.5	20422.2
Ganancia de producción : Con energía renovable	622.5	1938.82	5311.26	9972.73	15354.3	21040.1

***Tabla 3**. Tabla de ganancia de producción. **Fuente**: Propia*

Esta tabla muestra los valores numéricos del resultado de ambas variables, la diferencia de resultado comparada con la variable que usa energía renovable en su producción es de un aproximado de 20%.



Time (Time)	0	1	2	3	4
Emisión total de C02 : Sin energía renovable	265	315.254	364.125	410.189	452.532
Emisión total de C02 : Con energía renovable	229.375	275.607	321.213	364.667	404.965

***Tabla 4**. Tabla de Emisión de CO2. **Fuente**: Propia*

Esta tabla compara el total de las emisiones de CO2 de las etapas de extracción, transportación y refinación. La variable que tiene al final “0” hace referencia a las emisiones totales de CO2 sin implementar energía renovable en procesos de producción. Como dato aclarativo, para el valor total de emisión de CO2 con energía renovable, el valor de las variables de “*Emisión de CO2 de extracción*” y “*Emisión de CO2 por transportación*” fueron afectadas por las variables que hacen referencia al uso de energía renovable en procesos de producción que son “*Calor por sustitución de gas*” y “*Porcentaje de biodiesel*”.

Comparando los valores obtenidos de la simulación se puede concluir que en las 2 primeras fases de producción de hidrocarburos las emisiones de CO2 disminuyeron un total del 10%. Esto sin implementar energía renovable en el proceso de refinación ya que de lo contrario este valor será aún mayor.

Tomando en cuenta la comparación de las tres tablas de los diferentes escenarios, se podría concluir que el usar energía renovable en procesos de producción de hidrocarburos y sería rentable que las compañías que producen hidrocarburos inviertan para poder implementar el uso de energía renovable. De esta manera reducirían costos, aumentarían las ganancias y además de eso reducirían emisiones de CO2 contribuyendo con el problema climático que estamos sufriendo

6 DISCUSIÓN

De los resultados esperados se obtiene que en cuanto al modelo sistémico se podrían implementar otros casos de implementación de energía renovable en procesos de producción, precisamente en la parte de refinación.

En el modelo se tomaron en cuenta dos estudios bibliográficos para complementarlo. El primer estudio bibliográfico que se usó como complemento para el modelo fue el estudio de **(Medina Casas et al., 2019)** este estudio es esencial en la fase de tratamiento de crudo precisamente en la parte de extracción ya que este estudio propone una vía de implementación de energía renovable en esta fase. Aunque existen otros estudios bibliográficos que podrían ser tomados en cuenta para esta fase de producción, por ejemplo, el estudio bibliográfico de **(Xia et al., 2020)** Incorporación de biosólidos como reemplazo de agua en un proceso de hidrocarburos renovables de dos pasos, con el objetivo de producir hidrocarburos renovables que en este caso a utilizar sería el biogás para la extracción de crudo.

Otro estudio bibliográfico tomado en cuenta para complementación del modelo sistémico fue el de **(Zulqarnain et al., 2020)** el cual es esencial para la fase de transportación de crudo, este estudio propone mezclar 10% de biodiesel y 90% de Diesel de crudo. Este estudio puede complementarse con el mencionado anteriormente **(Xia et al., 2020)**, ya que de igual manera propone vías sostenibles para fabricación de biodiesel. Ambos estudios podrían complementarse ya que uno propone la fabricación **(Xia et al., 2020)** y el otro la implementación **(Zulqarnain et al., 2020)** de manera eficiente en la fase de transportación del crudo

7 CONCLUSIÓN

- La investigación obtenida de los estudios bibliográficos sirvió como base para proponer las es posibles estrategia de implementación de energías renovables que más se adapten al proceso de producción de hidrocarburos.
- Los valores usados son aproximados o se usan de forma ilustrativa, ya que dependiendo de las circunstancias estos cambian.
- Los resultados del modelamiento muestran un total de entre 10-15% de reducción de costos totales de producción al implementar energía renovable en procesos de producción.
- Los resultados del modelamiento muestran un total de entre 8-10% de reducción de emisiones de C02 al implementar energía renovable en las dos primeras fases de producción de crudo(Extracción y Transportación).
- Es viable para las empresas invertir en el uso de energía renovable, ya que con los resultados obtenidos se puede observar que al implementarlas se reducen los costos de producción, aumentan las ganancias y reducen las emisiones de C02.

8 TRABAJO FUTURO

Durante el desarrollo del proyecto surgieron propuestas de trabajo futuro que se han dejado abiertas y que se esperan poder realizar en un futuro, la realización de estas podría mejorar y apoyar el modelo propuesto.

Los trabajos a futuro que se presentaron a medida que se realizaba el proyecto fueron:

- En cuanto al modelo sistémico se podrían implementar más casos de implementación de energía renovable que abarquen completamente la fase del tratamiento del crudo.
- El proyecto podría ampliarse para el diseño, desarrollo e implementación de una aplicación responsive en donde las empresas que producen hidrocarburos puedan informarse y simular escenarios sobre la implementación de energía renovable.
- Realizar un estudio mas a profundidad para proponer soluciones a aquellas compañías que no posean un entorno favorable para la producción de energía renovable.

9. BIBLIOGRAFIA

- Amer, M., Toogood, H., & Scrutton, N. S. (2020). Engineering nature for gaseous hydrocarbon production. Microbial Cell Factories, 19(1), 1–14. https://doi.org/10.1186/s12934-020-01470-6
- Medina Casas, M. P., Gutiérrez Ramírez, A. M., Amorin Figueroa, M. P., Escobar Macualo, F. H., & Guerrero Martin, C. A. (2019). Selección de campos para la implementación de solar EOR como proceso térmico de recobro mejorado en Colombia. Revista Fuentes El Reventón Energético, 17(2), 27–37. https://doi.org/10.18273/revfue.v17n2-2019004
- Pearson, P. R. J., Eisaman, M. D., Turner, J. W. G., Peter, P., Jiang, Z., Kuznetsov, V. L., Littau, K. A., Marco, L., & Taylor, G. (2012). Energy storage via carbon-neutral fuels made from CO2, Water, and Renewable Energy. Proceedings of the IEEE, 100(2), 440–460.
- Velásquez Arias, J. A. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 8(1), 151–167. https://doi.org/10.22490/21456453.1846
- Xia, L., Chae, M., Asomaning, J., Omidghane, M., Zhu, C., & Bressler, D. C. (2020). Incorporation of Biosolids as Water Replacement in a Two-Step Renewable Hydrocarbon Process: Hydrolysis of Brown Grease with Biosolids. Waste and Biomass Valorization, 11(12), 6769–6780. https://doi.org/10.1007/s12649-019-00897-2
- Zulqarnain, Yusoff, M. H. M., Ayoub, M., Jusoh, N., & Abdullah, A. Z. (2020). The challenges of a biodiesel implementation program in Malaysia. In Processes (Vol. 8, Issue 10, pp. 1–18). https://doi.org/10.3390/pr8101244
- ACP. (7 de Noviembre de 2017). ACP. Obtenido de Costos De Operación Del Sector Petrolero En Colombia En 2017: https://acp.com.co/web2017/en/costos-de-operacion-del-sector-petrolero-en-colombia-en-2017#:~:text=En%202017%20el%20costo%20de,promedi%C3%B3%2016.3%20d%C3%B3lares%20por%20barril.&text=Existe%20alta%20dispersi%C3%B3n%20de%20los,bl%20hasta%20USD%2034%2Fbl.
- CELSIA. (16 de Octubre de 2019). Reporte Integrado 2019. Obtenido de https://reporteintegrado2019.celsia.com/cuidamos-el-planeta/gestion-ambiental/#:~:text=con%20la%20ley.-,Huella%20de%20carbono,%2C%20organizaci%C3%B3n%2C%20evento%20o%20producto.
- ELDAE. (28 de Julio de 2020). ELDAE. Obtenido de https://www.ealde.es/proyectos-petroleros-etapas-ejecucion/

- EnergyaVM. (12 de Agosto de 2019). EnergyaVM. Obtenido de https://www.energyavm.es/las-energias-no-renovables-no-estan-de-moda/#:~:text=Las%20energ%C3%ADas%20no%20renovables%20son,al%20morir%2C%20a%C3%BAn%20conten%C3%ADa%20energ%C3%ADa.
- Factorenergia. (30 de Agosto de 2018). Factorenergia. Obtenido de https://www.factorenergia.com/es/blog/noticias/energias-renovables-caracteristicas-tipos-nuevos-retos/
- Lavanguardia. (16 de Septiembre de 2020). Lavanguardia. Obtenido de https://www.lavanguardia.com/motor/innovacion/20200916/33028/combustibles-sinteticos-futuro-movilidad.html
- Portafolio. (28 de Mayo de 2021). portafolio. Obtenido de https://www.portafolio.co/economia/gobierno/produccion-de-petroleo-en-colombia-hasta-abril-del-2021-552409
- Bedoya, M. P. (2 de Noviembre de 2019). *LaRepublica*. Obtenido de https://www.larepublica.co/globoeconomia/saudi-aramco-chevron-y-gazprom-son-las-energeticas-con-mayor-numero-de-emisiones-2928308
- Roa, M. M. (2021). *2020, año de temperaturas récord en la Tierra.* Madrid: statista.