



Factibilidad de una empresa de instalación de sistemas de adición de hidrógeno para la combustión en motores estacionarios y comercialización de reducción de emisiones

Juan Guillermo Arroyave Oyola

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Evaluación Socioeconómica de Proyectos

Asesora

Beatriz Elena Bedoya Ríos, Magíster (MSc) en Administración

Universidad de Antioquia
Facultad de Ciencias Económicas

Especialización en Evaluación Socioeconómica de Proyectos

Medellín, Antioquia, Colombia

2023

Cita	(Arroyave Oyola, 2023)
Referencia	Arroyave Oyola, J., (2022). <i>Factibilidad de una empresa de instalación de sistemas de adición de hidrógeno para la combustión en motores estacionarios y comercialización de reducción de emisiones</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Especialización en Evaluación Socioeconómica de Proyectos, Cohorte XXVI.



Centro de Documentación Economía

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/director: Jair Albeiro Osorio Agudelo.

Jefe departamento: Claudia Cristina Medina Palacios.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

“¿Qué es lo que van a quemar en lugar de carbón? Agua, respondió Pencroft. El agua descompuesta en sus elementos por la electricidad. Si, amigos míos, creo que algún día se empleara el agua como combustible, que el hidrógeno y oxígeno de los que está formada, usados por separado o en forma conjunta, proporcionarán una fuente inagotable de luz y calor. El agua será el carbón del futuro”. Julio Verne, *La isla misteriosa* (1874).

Tabla de contenido

Resumen.....	8
Introducción	11
1. Planteamiento del problema.....	12
2. Justificación	17
3. Objetivos	18
3.1 Objetivo general.....	18
3.2 Objetivos específicos	18
4. Marco teórico	19
4.1. Estudio de mercado	26
4.2. Estudio técnico	27
4.3. Estudio legal	28
4.4. Estudio organizacional	29
4.5. Estudio financiero.....	30
4.6. Estudio técnico	31
4.7. Antecedentes.....	33
5. Metodología	36
6. Resultados	38
6.1. Resultado técnica.....	46

6.2. Resultados estructura organizacional.....	47
6.3. Resultado legal.....	49
6.4. Resultados financieros.....	59
7. Conclusiones.....	66
8. Referencias.....	70

Ilustración 1. La huella de carbono en el mundo.	13
Ilustración 3. Representación de una máquina térmica.	19
Ilustración 4. Motor Otto.	20
Ilustración 5. Tiempos del motor.	22
Ilustración 6. Métodos de obtener hidrógeno.	24
Ilustración 2. Elementos del estudio de mercado. Fuente (Bacca 2013)	27
Ilustración 7. Impacto de la fumigación con hidrógeno en las emisiones.	32
Ilustración 8. Capacidad por ubicación.	40
Ilustración 9. Impacto que los sistemas de generación del sector petrolero.	41
Ilustración 10. Impacto de generación.	42
Ilustración 11. Porcentaje contrato tipo Power Purchase Agreement PPA	43
Ilustración 12. Distribución de dueños de equipos de generación de Colombia.	44
Ilustración 13. Porcentajes empresas generadoras.	45
Ilustración 14. Clasificación jerárquica Organizacional.	49
Ilustración 15. Evolución de la Ley al impuesto al carbono. Fuente: propia	53

Resumen

El estudio que se presenta tiene como propósito la elaboración de un estudio de mercado que mantenga actualizado el inventario de los sistemas de generación con motores reciprocantes y los mecanismos de comercialización de los certificados de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Para lograrlo se pretende el desarrollo de un estudio técnico para la implementación de los sistemas de fumigación, dependiendo de las especificaciones de la central de generación, desde lo cual sea posible determinar el balance ambiental del sistema de fumigación de hidrógeno, considerando los beneficios en la reducción de emisiones y los efectos de la energía requerida para el proceso de electrólisis en el que se obtiene el hidrógeno del agua. Para ello, se utiliza una metodología cuantitativa, en la que en un primer momento se realiza la identificación del inventario de motores reciprocantes de operación continuada; luego se realiza una segmentación del mercado de acuerdo a variables como combustibles, ubicación, dueño de equipos; con esto se logran identificar los proyectos de autogeneración y generación de energía al Sistema Interconectado Nacional – SIN –, que permitirá la evaluación de los requerimientos del mercado petrolero. En esta medida, el trabajo plantea una solución de fácil diseño e implementación, con un alto impacto; adicionalmente ayuda a poner a Colombia a la vanguardia en el cumplimiento de los compromisos adquiridos en las últimas Conferencias de las partes de París y Sharm el-Sheikh.

Palabras clave: fumigación de hidrógeno, motores reciprocantes, gases de efecto invernadero, reducción de emisiones.

Abstract

The purpose of this study is to develop a market research to keep the inventory of generation systems up to date. This with reciprocating engines and the marketing mechanisms for greenhouse gas emission reduction certificates. To achieve this, the development of a technical study for the implementation of the fumigation systems is intended. This will depend on the specifics of the generation plant, from which it will be possible to determine the environmental balance of the hydrogen fumigation system. This is done considering the benefits in the reduction of emissions and the effects of the energy required for the electrolysis process in which hydrogen is obtained from water. For this purpose, a quantitative methodology is used, in which first the inventory of continuously operating reciprocating engines is identified. Then a segmentation of the market is made according to variables such as fuels, location, equipment owner; with this, it is possible to identify the projects of self-generation and generation of energy to the National Interconnected System - SIN -, which will allow the evaluation of the requirements of the oil market. To this extent, the work proposes a solution of easy design and implementation, with a high impact. Additionally, it helps placing Colombia at the forefront in the fulfillment of the commitments acquired in the last Conferences of the parties in Paris and Sharm el-Sheikh.

Keywords: hydrogen fumigation, reciprocating engines, greenhouse gases, emission reduction.

Introducción

El desarrollo de la factibilidad se realiza manteniendo una coherencia y cohesión dentro de lo que es el proceso investigativo. De esta manera, se puede hablar de una composición de tres apartados muy importantes, desde los cuales se configura el estudio. Así, en el primer apartado, puede verse que constituye de un marco teórico, en el cual se explican los conceptos básicos del sistema de fumigación, a partir de la definición de máquinas térmicas se pasa a los motores reciprocantes, luego se menciona las características del hidrógeno y las diferentes maneras de obtenerlo para terminar con la implementación del sistema de fumigación para disminuir las emisiones.

El segundo apartado comienza a partir del mercado de generación de energía con motores reciprocantes; se hacen diferentes análisis que permiten identificar los clientes objetivo, y su impacto. Para terminar, se hace el estudio legal, que considera la evolución del impuesto al Carbono en Colombia, nuestro país, y la normatividad actual referente a precios e indexación y en un capítulo en Colombia se presentan las condiciones de la Resolución 1715, para estimular el uso de la generación de energía mediante fuentes renovable son convencionales, en las que se incluye la fumigación con hidrógeno.

Finalmente, en el último apartado del texto se hace la evaluación financiera vista desde el punto de vista de una empresa que se dedique al suministro e instalación de equipos para “fumigación” con hidrógeno y la venta de certificados de reducción de emisiones. El análisis se hace para la conversión de 100 MW que representa menos del 7% del mercado al que se quiere acceder.

1. Planteamiento del problema

El calentamiento global ha llegado a niveles alarmantes, los gases de efecto invernadero están en el punto más alto en dos millones de años y siguen aumentando. La Temperatura ha subido 1,1 oC en 150 años. Los registros históricos y geológicos muestran que a lo largo de la historia de la tierra ha habido muchos cambios climáticos. De hecho, el clima en el planeta evoluciona en fusión de los ciclos de Milankovich, hallazgos arqueológicos han demostrado que en el desierto del Sahara había poblaciones humanas hace 8.000 años; sin embargo, el cambio climático se refiere, específicamente, a variaciones en la temperatura de largo plazo como una escala de siglo; estas. están determinadas por eras glaciares e interglaciares (por ejemplo, la pequeña edad de hielo que consiste en un período frío desde el siglo XIV hasta la mitad del XIX, y después un período más cálido en el que estamos). En los últimos dos siglos las actividades humanas son la fuente principal del calentamiento global y se debe principalmente a la quema de combustibles fósiles como carbón, derivados del petróleo y gas. Durante la combustión se producen gases de efecto invernadero que se comportan como como una manta térmica que envuelve el planeta, atrapando el calor del sol y elevando las temperaturas.

No obstante, las consecuencias, como se ha mostrado, no solo las sufren los ecosistemas, también los seres vivos que los habitan; en este sentido, el ser humano es altamente vulnerable desde su salud y su capacidad de producción agrícola, afectando su integridad. Al respecto Lema (2002) afirma que

Una de las consecuencias más seguras y directas del cambio climático es un aumento en la morbilidad y la mortalidad humanas en períodos de clima extremos como son las olas de calor. La letalidad de una ola de este tipo aumenta si ocurre al principio del verano (cuando la población todavía no ha podido aclimatarse al calor), si es de larga duración y si hay temperaturas nocturnas elevadas. (p.44)

Lo anterior, evidencia al peligro que se expone el ser humano, pero habrá que mirar otros aspectos igual de alarmantes, como el aumento de los niveles del mar. Romagnoli & Thomas (2021) han

demostrado que la intrusión del agua salada en los cultivos ha puesto en peligro la producción agrícola, aumentando el riesgo de hambruna en comunidades insulares.

Desde esta perspectiva, el cambio climático causa efectos en todo el mundo y estos se evidencian en las sequías, el aumento de las temperaturas, las fuertes lluvias que llevan a grandes inundaciones y las grandes amenazas de producción de alimentos que pone en riesgo la vida de millones de personas, debido a la hambruna a la que se puede ver expuesta la humanidad (UN, s.f.).

El problema exige una mirada objetiva a nivel mundial para desacelerar el aumento de la temperatura, pues las emisiones de gases de efecto invernadero provienen de todas partes (Ver ilustración 1).

Los 100 países que menos emiten generan el 3% de las emisiones totales. Los 10 países con mayores emisiones aportan el 68%. Todo el planeta debe tomar medidas en lo que respecta al clima, pero las personas y los países que crean más problemas tienen una mayor responsabilidad para actuar primero. (UN, s.f., párr.9)

Aunque sería más interesante revisar datos *per capita*, esta imagen permite ver el aporte de cada nación. Llama la atención que el modelo económico, más allá de la población, no parece afectar de manera contundente la contribución de emisiones. Lo cierto es que según UN (s.f.) los últimos informes de la ONU muestran que la totalidad de la comunidad científica y los gobiernos coinciden en la necesidad de limitar el aumento de la temperatura en los próximos años.

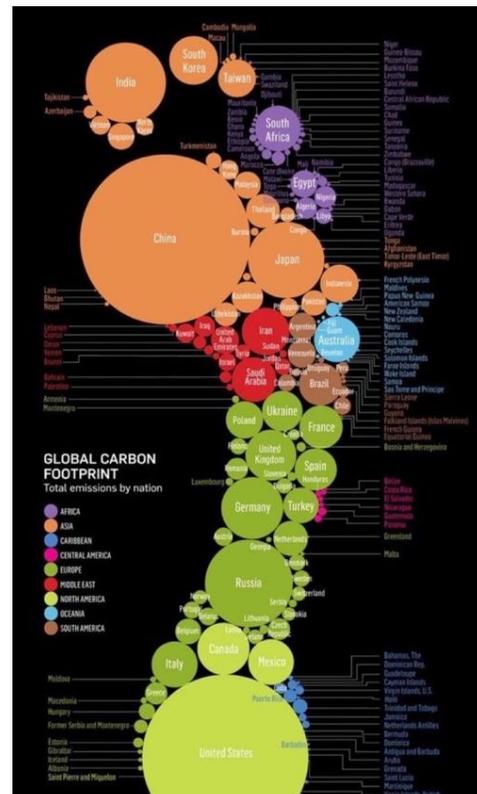


Ilustración 1. La huella de carbono en el mundo.

Hoy más que nunca es decisivo aumentar las estrategias orientadas a la permanencia una vida sostenible, desde esfuerzos inmediatos que garanticen la disminución de las emisiones. Solo desde esta mirada es posible preservar los ecosistemas y desacelerar el cambio de temperatura a partir de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la adaptación a los impactos climáticos y lógicamente de la mano de la financiación de los ajustes necesarios (Molina *et al.*, 2017).

Una estrategia. de rápido y considerable impacto, para lograr lo propuesto, es el reemplazo de generación de electricidad con combustibles fósiles a energías renovables no convencionales como la solar, eólica, geotérmica, hidrógeno. Al respecto, UN (s.f.) afirma que

Aunque una coalición cada vez más numerosa de países, entre ellos Colombia, se compromete con la reducción de emisiones cero para 2050, alrededor de la mitad de los recortes en las emisiones deben producirse antes de 2030 para mantener el calentamiento por debajo de 1,5°C. La producción y el consumo de combustibles fósiles debe disminuir aproximadamente un 6% anual entre 2020 y 2030. (párr. 11)

En este contexto toman relevancia el mercado del carbono en el que se compran y venden unidades de carbono (Cupos de emisiones o unidades de reducciones de Gases de Efecto Invernadero, GEI).

Los certificados de reducción de emisiones o créditos de compensación: Representan la reducción o absorción de una tonelada de CO₂ equivalente, la cual es reconocida por estándares específicos y verificadas por una tercera parte independiente.

Hay dos tipos de mercado:

Voluntarios que permiten a cualquier entidad, compensar sus emisiones de forma voluntaria. Principalmente con el objeto de cumplir compromisos de responsabilidad social empresarial y de mercado ya que los productos más amigables con el ambiente, son atractivos para los compradores.

Y mercados regulados con los que se cumplen metas obligatorias de reducción de emisiones a nivel internacional, regional, nacional y/o subnacional.

Ante el estímulo económico que “monetiza” los esfuerzos en el desarrollo de productos con impacto en la reducción de emisiones, y como alternativa para la alta generación de energía en Colombia con motores recíprocos, que equivale casi a un 10% de la capacidad total instalada en el país, la mezcla de hidrógeno con el aire de admisión en motores estacionarios es un sistema muy sencillo y de alto impacto que puede traer beneficios cuantificables al medio ambiente.

La ventaja del sistema de inyección sobre otros sistemas de generación de energía con hidrógeno, es que mientras los segundos quieren reemplazar la energía del combustible con hidrógeno, la fumigación tiene como objetivo inyectar una pequeña cantidad por el turbocargador, con efectos inmediatos en las emisiones por las mejoras en la optimización de la combustión. Con la ventaja que las inversiones que se requieren son mucho más bajas.

De acuerdo con lo expuesto se formula la pregunta orientadora del presente trabajo ¿Como desarrollar la factibilidad para implementar el sistema de fumigación de hidrógeno como una respuesta a los compromisos de reducción de emisiones que tiene Colombia?

Ya que la idea es que los costos de instalación del producto sean cubiertos por la venta de los certificados de reducción de emisiones sin que represente ningún costo para la compañía en la que se instala, y es necesario el apoyo de diferentes agentes de la cadena es importante presentar este estudio de factibilidad de tal manera sea posible su presentación a inversionistas, clientes, consultores ambientales e incluso al mismo estado con el objeto de tener el apoyo necesario.

Este trabajo tiene como objetivo realizar un estudio de factibilidad, para la implementación de sistemas de fumigación de hidrógeno para motores estacionarios de generación de electricidad en Colombia y la comercialización de los certificados de reducción de emisiones que se obtienen por el uso del sistema.

2. Justificación

El desarrollo de este sistema trae múltiples beneficios:

1. Primero que todo el medio ambiente
2. Impacto Nacional por el rápido cumplimiento de las metas
3. Las empresas locales dedicadas a la fabricación de electrolizadores, quienes se encargan de la instalación, puesta en marcha y operación de los sistemas.
4. Los Generadores de energía a la red, que cumplirían con sus metas de reducción de emisiones.
5. Las empresas de venta y certificación de los certificados de reducción de emisiones.
6. Las empresas que consumen la energía autogenerada, que disminuyen su huella de carbono.
7. El país podría mostrar rápidamente adelantos en el cumplimiento de sus compromisos de reducción de emisiones.
8. Las empresas de telecomunicaciones que llevan de manera centralizada el funcionamiento de cada sistema instalado.
9. El trabajo se justifica además para la Universidad de Antioquia dado el compromiso interinstitucional que existe con el calentamiento global y para el investigador constituye una forma de revisar la viabilidad de acuerdo con una metodología establecida del proyecto de fumigación de hidrógeno y de acuerdo con los resultados

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

El objetivo general y los objetivos específicos describen lo que se pretende con la investigación, cuál es el alcance y cuál es el problema que se desea resolver. Deben iniciarse con verbos que describan claramente lo que se lleva a cabo.

3.2 Objetivos específicos

- Elaborar el estudio de mercado, que mantenga actualizado el inventario de los sistemas de generación con motores recíprocos y los mecanismos de comercialización de los certificados de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Desarrollar el estudio técnico para la implementación de los sistemas de fumigación, dependiendo de las especificaciones de la central de generación.
- Cuantificar inversión, ingresos por la venta de certificados de reducción, costos y gastos, de igual forma la aplicación de criterio de viabilidad financiera.
- Preparar el estudio legal, organizacional y administrativo que defina el esquema con el que contará el proyecto y los lineamientos legales requeridos.
- Determinar el balance ambiental del sistema de fumigación de hidrógeno, considerando los beneficios en la reducción de emisiones y los efectos de la energía requerida para el proceso de electrólisis en el que se obtiene el hidrógeno del agua.

4. Marco teórico

Es indispensable aclarar los conceptos básicos sobre los que se soporta la fumigación: el funcionamiento de los motores recíprocos y la producción de hidrógeno.

a) Resultado técnico

Una máquina térmica, como lo muestra la Ilustración 3, es un sistema diseñado para entregar trabajo en operación continua que recibe “calor y entrega energía y calor aprovechando las expansiones de un gas que sufre transformaciones de presión, volumen y temperatura en el interior” (García Naranjo, s.f., párr. 5).

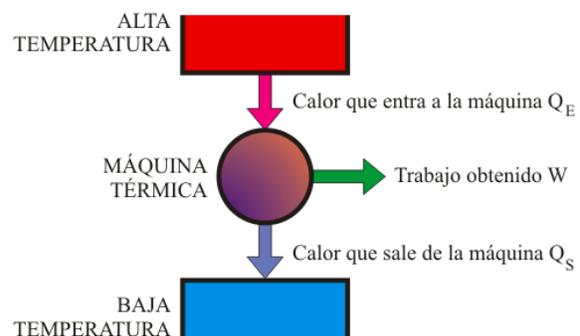


Ilustración 2. Representación de una máquina térmica.

En la Ilustración 3 es posible apreciar cómo desde la fuente de alta temperatura hasta la baja temperatura se obtiene trabajo útil (aprovechable).

De acuerdo con el movimiento del sistema las máquinas térmicas hay varias clases:

- Motores Recíprocos (principio de pistón-biela-cigüeñal)
- Turbinas solo tienen piezas giratorias
- Sistemas de vapor (basados en principio de acción y reacción).

En otra clase de máquinas térmicas a partir del trabajo se extrae calor de un sistema cerrado a baja temperatura y se expulsa al medio ambiente a mayor temperatura como en neveras, aire acondicionado, sistemas de refrigeración.

Motores Reciprocantes

Los primeros desarrollos en un motor a gas de cuatro tiempos se hicieron en 1861 por el ingeniero alemán Nicolás Otto. Sin embargo, su éxito llegó en 1867 con la ignición de una mezcla (gasolina como combustible y comburente aire comprimido), y se presentó París. La iniciativa más exitosa es el uso de la chispa para provocar la ignición, lo que aumentó la eficiencia.



Ilustración 3. Motor Otto.

La ilustración 4 muestra un aviso publicitario de generación con ciclo Otto. Originalmente se trataba de un equipo con un solo cilindro acompañado de un gran volante de inercia, montado sobre una base fija y funcionaba con combustible gaseoso o gasolina.

Se le dice reciprocante porque usan el movimiento (ascendente y descendente) de los pistones y los convierte en movimiento de rotación.

Los motores se clasifican de acuerdo a la forma en que se produce la combustión, por lo que se pueden encontrar los motores de combustión externa, que consisten en motores en los cuales el combustible no tiene contacto con el gas. También se encuentran los motores de combustión interna que, contrario a los de combustión externa, sí tienen contacto, por lo que el combustible y el gas se queman al mismo tiempo (Rovira y Muñoz Domínguez, 2015).

Los motores se construyen con pistones, que varían en número, diámetro y desplazamiento dependiendo de la aplicación. La configuración más común es la disposición en línea (una sola fila) o en V (dos filas unidos en un vértice común) de acuerdo con las restricciones de tamaño (Gutiérrez, 2012).

Funcionamiento del motor

La combustión en los motores se desarrolla en 4 tiempos:

- *Primer tiempo o Admisión:* Se introduce la mezcla combustible dentro del cilindro y se expande el pistón hasta la base del cilindro. Mientras la válvula de admisión permanece abierta, a medida que desciende el pistón se aspira la mezcla aire combustible y la válvula de escape permanece cerrada (Madriñán Molina, 2015).
- *Segundo tiempo o Compresión:* El pistón comprime la mezcla de combustible empujándose hacia arriba y se provoca la explosión por bujía en motores a gas o gasolina y por compresión en motores diésel. Cuando el pistón llega al límite de su carrera en el tiempo anterior, la válvula de admisión se cierra comprimiendo el gas contenido en la cámara por el ascenso del pistón. En este tiempo el cigüeñal gira 180 grados y el árbol de levas da 90 grados mientras ambas válvulas se encuentran cerradas (Madriñán Molina, 2015, p. 36).
- *Tercer Tiempo o Expansión:* La explosión empuja el pistón hacia abajo entregando el trabajo útil al motor que lo transmite a la biela y de allí al cigüeñal. Al llegar al final de la carrera superior el gas ha llegado a máxima presión. Al iniciar la combustión se aumenta la temperatura de forma rápida, al igual que la presión al interior del cilindro, de allí se expanden los gases, los cuales empujan el pistón. Tras este tiempo el cigüeñal gira 180 grados y el árbol de levas, 90 grados; en este periodo las dos válvulas se están. En esta fase es la única que se obtiene trabajo (Villegas *et al.*, 2007).
- *Cuarto Tiempo o Escape:* En el momento que el pistón está en el punto más alto, es decir, el Punto Muerto Superior (PMS), la bujía (en caso del ciclo Otto) hace saltar una chispa

que enciende la mezcla, incrementando la presión en el cilindro y hace desplazar al pistón hacia abajo. Cuando está a la altura de la lumbrera de escape, la propia presión de los gases tiende a salir del cilindro, dejando al cilindro vacío para volver a empezar un nuevo ciclo (Villegas *et al.*, 2007, p.16)

En La ilustración número 5 es posible ver los tiempos del motor y cómo funcionan las válvulas de admisión y escape.

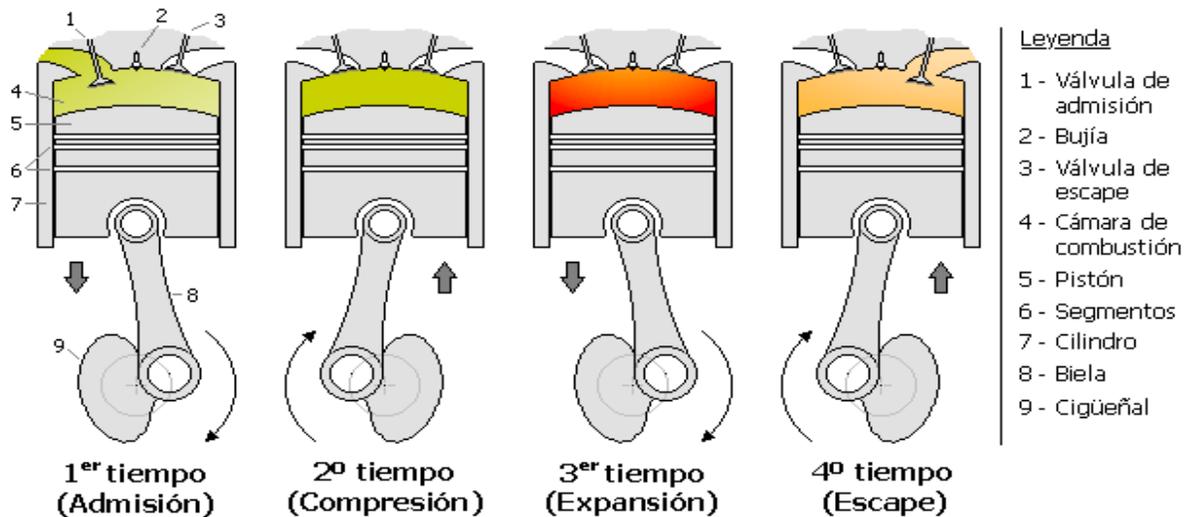


Ilustración 4. Tiempos del motor.

Producción de Hidrógeno

El hidrógeno es el gas más abundante del universo conocido hasta el momento. Es un gas incoloro e inodoro, a temperatura y presión ambiental normal. Por su naturaleza se encuentra libre de forma diatómica o como parte de un compuesto.

La energía proveniente del hidrógeno es química, por lo que se convierte en una de las principales alternativas a unos de combustibles fósiles su transporte y almacenamiento es sencillo como el petróleo, carbón, biomasa y gas natural;

Por otro lado, se debe aclarar que este es el elemento químico más liviano, por lo que tiene baja densidad energética por unidad de volumen, aunque, comparado con el gas natural y la gasolina, posee más energía por unidad de masa, es decir, que se necesita mayor volumen de hidrógeno para cumplir la demanda energética que suplen otros combustibles, haciendo que el almacenamiento sea todo un reto, porque además de necesitar volúmenes mayores, se necesitan altas presiones e infraestructura especial. (Morales Navarrete, 2020, p. 28)

Formas de obtener hidrógeno

1. Reformando hidrocarburos: Tratamiento de metano con agua a altas temperaturas y presiones. El gas natural (cuyo componente principal es el metano) reacciona con vapor de agua
2. Electrólisis del agua: Desarrollada por M. Faraday Se introducen dos electrodos en agua y se hace pasar corriente directa a través del sistema. Para mejorar la conductividad eléctrica del agua se le añade una sal especial.

La energía separa los átomos de hidrógeno y oxígeno que quedan cargados positiva y negativamente respectivamente, y con esta diferencia de cargas se dirigen al ánodo (electrodo de carga positiva) y al cátodo (electrodo de carga negativa), obteniendo H_2 puro. (Morales Navarrete, 2020, p. 30)

3. Procesos térmicos: a partir de una fuente de calor se produce hidrógeno. Se hace descomposición de un sulfato metálico produciendo óxido metálico, además de SO_2 y O_2 . En

una etapa posterior, se calienta el óxido metálico y se vuelve a generar el sulfato metálico e hidrógeno.

4. Reformado de etanol y azúcares: El hidrógeno puede ser transportado a través de etanol o azúcares de bajo peso molecular. Se lleva el etanol a estado líquido mediante un catalizador.
5. Procesos biológicos: Se produce por medio de procesos biológicos, como los que ocurren en el alga verde. Esta alga descompone el agua en hidrógeno y oxígeno molecular, en ausencia y presencia de luz solar.

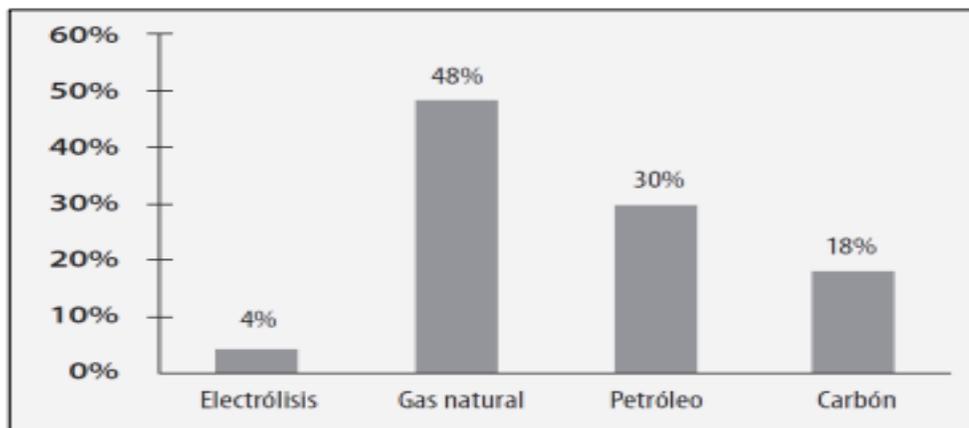


Ilustración 5. Métodos de obtener hidrógeno.

En la ilustración número 6 se comparan las diferentes fuentes de producción de hidrógeno

En la actualidad el proceso más usado es la Electrólisis y se hace en una unidad llamada **electrolizador** que se producen en diferentes tamaños según la aplicación. Pueden tratarse de producción en serie de equipos pequeños similares a un electrodoméstico, como para la aplicación en fumigación.

Para la electrólisis se usan electrolizadores de membrana de intercambio de protones hechas de un polímero sintético llamado Nafion. Los electrodos suelen contener catalizadores basados en metales nobles, es decir, óxido de iridio para el O₂ y el platino para producir H₂. Sobre esto, Jiménez (2022) afirma que “Para romper las moléculas de agua (H₂O) y extraer hidrógeno (H₂) se utiliza un catalizador que acelera esta reacción química” (párr. 2).

La producción de hidrógeno mediante electrólisis, dependiendo de la fuente de electricidad, se considera de cero emisiones de gases de efecto invernadero, . Y por su abundancia disminuye la dependencia de combustibles fósiles, además, “por ser un recurso natural, no proviene de pozos concentrados en ciertas regiones del planeta” (Morales Navarrete, 2020, p. 26), evitando la concentración del capital como produce con el petróleo.

Fumigación de Hidrógeno en Motores Reciprocantes:

La tecnología para el uso del hidrógeno en los motores reciprocantes no es nuevo: Incluso, el primer motor reciprocante funcionó con hidrógeno.

Para la combustión necesaria en el motor reciprocante, se requiere un combustible (líquido o gaseoso) y un comburente, de esta manera la inyección de hidrógeno se hace en pequeñas cantidades mezclándose con el comburente aumentando la eficiencia de la combustión y bajan las emisiones de CO₂.

El poder calorífico del hidrógeno agrega al comburente energía, de esta manera que la explosión del combustible se hace de una manera más eficiente disminuyendo las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Este sistema dista mucho del sistema tradicional de hidrógeno en el que se quiere reemplazar la energía química del combustible por la del hidrógeno. Con la desventaja que al requerir grandes cantidades de hidrógeno se vuelve un proceso altamente intensivo en requerimientos de electricidad

lo que afecta considerablemente la eficiencia del sistema. Con este objetivo se han desarrollado diferentes formas para obtención del hidrógeno, obteniéndolo directamente del gas natural (Hidrógeno azul) o con electricidad proveniente de generación paneles solares u otra fuente de cero emisiones (Hidrógeno verde).

Una gran ventaja del sistema es que, en caso de presentarse interrupciones en el suministro de hidrógeno, el motor sigue trabajando en condiciones normales.

4.1. Estudio de mercado

Un mercado es el área en que confluyen las fuerzas de la oferta y la demanda para realizar las transacciones de bienes y servicios a precios determinados (Baca, 2013). Para conseguir en el futuro las metas propuestas con el actual proyecto es de vital importancia realizar un estudio de mercado y determinar el sector en que se va a ofertar el producto y /o servicios.

La investigación de mercado abarca la investigación de algunas variables sociales y económicas que condicionan el proyecto: producto, cantidad, precio etc.

El proceso de investigación de mercados abarca diferentes pasos:

- Definir objetivos de la investigación
- Analizar ofertas, y precios de servicios similares en el mercado
- Determinar demanda insatisfecha
- Interpretación de resultados
- Desarrollo estrategias de mercado

Gráfico No 1 - Elementos del Estudio de Mercado

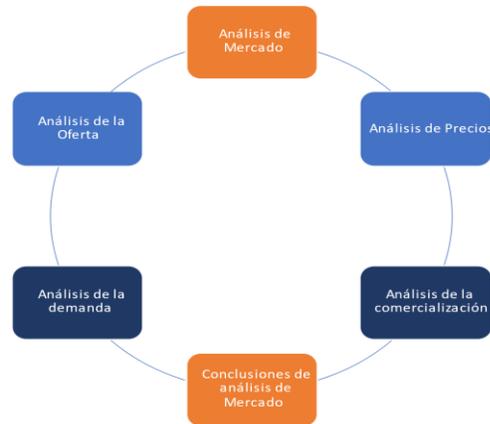


Ilustración 6. Elementos del estudio de mercado. Fuente (Bacca 2013)

4.2. Estudio técnico

De acuerdo con el estudio realizado por López Parra *et al.*, (2008) el Estudio Técnico de un proyecto de inversión se centra en el diseño “de la función de producción óptima, que mejor utilice los recursos disponibles para obtener el producto deseado” (p.3). Es un proceso de análisis técnico que se realiza sobre una propuesta de producción o inversión a fin de determinar su rentabilidad.

Se hace con objeto de verificar la viabilidad técnica de la elaboración del producto, las inversiones necesarias para realizar dicha producción tanto en tecnología, infraestructura como en personal y materiales. En este sentido, tal como lo propone Cifuentes Vásquez (2013) el estudio técnico permite el análisis de las distintas opciones tecnológicas, las cuales producen los servicios requeridos; de esta manera se verifican las posibilidades técnicas de cada una de las opciones. Así, un estudio técnico debe contener:

- Implicaciones técnico operativo, la identificación de equipos, maquinaria, materias primas, proveedores necesarios.
- Logística de transporte equipos y personal.
- Instalaciones físicas de infraestructura y tecnología.
- Análisis del proceso productivo, la infraestructura, el equipamiento, la mano de obra, las materias primas y los costos directos e indirectos.

En este estudio es importante considerar los siguientes elementos:

1. Tamaño

Se relaciona el nivel de inversión con la productividad del tamaño de planta. Es necesario tener en cuenta las economías de escala que se podría dar y el apalancamiento operativo, eligiendo el tamaño de planta que presente un mayor valor presente neto.

2. Localización del proyecto

Es una decisión de largo plazo, por cuanto es costoso equivocarse en su elección. Se deben considerar:

- Aspectos como la cercanía al mercado consumidor.
- Fuentes de abastecimiento.
- Proveedores
- Disponibilidad de personal capacitado
- Aspectos legales y tributarios.

Estos los pasos, que son sólo una parte de lo que representa realizar este estudio, sientan las bases para establecer criterios al momento de tomar la decisión sobre en qué y cómo invertir; sin embargo, es recomendable realizar un estudio técnico a profundidad que dé garantías reales de la factibilidad del negocio.

4.3. Estudio legal

El estudio legal busca determinar la viabilidad de un proyecto de acuerdo con la normatividad vigente en cuanto a localización de productos, subproductos y patentes. También toma en cuenta impuestos, aranceles, consideraciones de importación, legislación laboral.

En los proyectos de impacto ambiental es importante considerar la implicación de los incentivos tributarios que corresponden a instrumentos económicos que contemplan una excepción a la aplicación de la regla tributaria ordinaria. Con este mecanismo, el Estado, en su facultad

recaudatoria, deja de recibir algunos recursos, con el fin de producir o promocionar ciertas conductas o comportamientos que deben ser favorables con el medioambiente:

De esta manera, es vital el desarrollo del Estudio Legal de un proyecto ya que brindará información sobre las normas y leyes que regulan las actividades a realizar en el mismo.

Los principales aspectos a evaluar, según Chain, et al. (2000) son:

- Constitución Legal: Permite al proyecto su representación legal.
- Régimen Tributario: Legislaciones impositivas vigentes (Nacionales, Estatales y Municipales).
- Licencias y Autorizaciones: Permisos necesarios para ejecución y funcionamiento del proyecto, considerando sus características específicas, como ubicación, actividades, etc.
- Patentes y Marcas: Protegen las inversiones del proyecto, transformándolas en intangibles con el fin de garantizar el derecho de propiedad.

4.4. Estudio organizacional

El estudio organizacional busca determinar la estructura requerida por el que desarrolla el proyecto para conocer y evaluar fortalezas y debilidades y definir la estructura de la organización para el manejo de las etapas de inversión, operación y mantenimiento. Es decir, para cada proyecto se deberá determinar la estructura organizacional acorde con los requerimientos que exija la ejecución del proyecto y la futura operación.

Desde otra perspectiva, desde lo planteado por Max Weber en cuanto a la forma en la que debe ser la organización burocrática, las organizaciones deben racionalizar sus actividades colectivas, empleando diferentes estrategias de diseño como la división del trabajo, la coordinación de las tareas; además de la delegación de la autoridad y el manejo impersonal del funcionario (Gore, 2006).

El estudio organizacional tiene como objetivo establecer los planes de trabajo de tipo administrativo, al tiempo que ordena la estructura organizacional. Con esto se pretende la operación

del proyecto, luego de que inicie su operación. En esta medida, el estudio tiene en cuenta el capital o recurso humano, los equipo, la tecnología y la ubicación en la cual se deben atender los procesos administrativos.

Pasos para el diseño de la estructura organizacional:

- Concretar los objetivos generales de la empresa
- Enumerar las actividades administrativas necesarias
- Desarrollar actividades administrativas directas e indirectas
- Establecer subsistemas de las actividades que se harán directamente
- Identificar las funciones para la elaboración de cada subsistema
- Identificar el capital humano de cada subsistema
- Construcción de organigrama
- Descripción de las funciones que tendrá cada cargo (Parra Moreno y Liz, 2009).

4.5. Estudio financiero

Pérez Anna (2022), define el estudio financiero como el proceso a través del que se analiza la viabilidad de un proyecto. Tomando como base los recursos económicos que tenemos disponibles y el coste total del proceso de producción.

Para que este análisis sea lo más completo posible es fundamental revisar muy bien toda la documentación y las condiciones del proyecto, diferenciando de si se trata ante una empresa ya en funcionamiento o un emprendimiento.

Es importante analizar datos como la estructura impositiva del Estado en el que se va a llevar a cabo el negocio, los costos laborales, la demanda del producto, costos del producto, fuentes de financiación y posibles intereses asociados a las mismas y estimaciones de ventas, beneficios tributarios.

Para analizar la rentabilidad del proyecto de fumigación se considerarán las siguientes variables:

- Ingresos
- Costos
- Gastos de mantenimiento
- Gastos de supervisión
- Costo Inversiones Equipos de Fumigación
- Costo de capital
- Valor Actual Neto
- Tasa Interna de Retorno o Rentabilidad
- Variación TRM
- Inflación

4.6. Estudio técnico

En Colombia, el presidente Iván Duque se comprometió en el marco de la COP26 a limitar las emisiones de carbono a 2030 en un 51 % y convertir el 30 % del territorio en áreas protegidas. Para limitar su emisión de gases el país deberá diversificar su matriz energética hacia fuentes de energías renovables no convencionales como la producida con energía solar y energía eólica, según lo que ha plasmado en el plan Energético Nacional (PEN), un documento que marca la hoja de ruta energética del país entre 2020 y 2050, desarrollado por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME).

En Colombia, para el año 2022 se estima en 1400 MW la capacidad de generación de energía eléctrica con motores reciprocantes a Gas Natural y/o Combustible líquido. Se incluyen centrales conectadas directamente a la red y sistemas de auto y cogeneración. De los cuales los estudios de mercado indican que aproximadamente la mitad corresponde a combustibles gaseosos y el resto es combustible líquido.

El Factor de emisiones definido por la UPME para el año 2.022 es de 0,164 KgCO₂/kWh. De esta manera se tendría reducción de emisiones equivalente a la instalación de 7.500 MW de paneles solares. Algo así como 20 veces la generación solar existente.

Los resultados del impacto de reducir el 15% las emisiones por la fumigación con hidrógeno se pueden revisar en la siguiente tabla.

Tecnologías	Crude Oil Engine	Natural Gas Engine
Capacidad	700 MW	740 MW
Eficiencia Promedio HHV (high Heat Value)	25,0%	30,0%
Consumo Combustible por Hora	2800 MW 9.556 mmBTU	2.467 MW 8.419 mmBTU
Consumo Combustible Año	83.714.064 mmBTU	73.748.104 mmBTU
Poder calorífico	137.380 BTU/gl	35.413 BTU/m3
Consumo Combustible Año	609.361.363 gal	2.082.515.009 m3
Factor de emision de CO2	76,8 Ton CO2 / TJ	56,1 Ton CO2 / TJ
Consumo Combustible Año	88.318,34 TJ / mes	77.804,25 TJ / mes
Emisiones Estimadas año	6.782.848 Ton CO2 / año	4.364.818 Ton CO2 / año
Reducción Emisiones	1.017.427 Ton CO2 / año	654.723 Ton CO2 / año

Ilustración 7. Impacto de la fumigación con hidrógeno en las emisiones.

Colombia tiene una de las 5 matrices energéticas más limpias del mundo, es decir, que las emisiones por generación de electricidad son mínimas en nuestro país. Esto se debe a la riqueza hídrica y adicionalmente las montañas que conforman la cordillera de Los Andes permite el aprovechamiento de la energía potencial. Respecto a las emisiones totales del País y los compromisos adquiridos en el COP26, el impacto por la reducción que se obtiene mediante la conversión de motores representa el 5%, sin embargo, el ahorro en emisiones supera los planes nacionales de desarrollo con generación mediante fuentes no convencionales de generación, que

incluyen el aprovechamiento del hidrógeno, franjas solares, aprovechamiento del viento y la geotérmica.

De esta manera, con unas emisiones actuales en el país de 78 Billones de toneladas de CO₂ al año, el impacto de la conversión de los generadores se estima en 2 Billones de toneladas año, con inversiones muy inferiores a las que se requieren en la construcción de granjas solares. Adicionalmente los ingresos por la implementación se estiman en \$ 30.000 MM al año.

4.7. Antecedentes

El tema del calentamiento global está presente en todos los titulares de los diarios a nivel mundial cada semana, y por tratarse de un sistema sencillo de fácil y rápida implementación, las innovaciones en el desarrollo de la fumigación con hidrógeno en motores estacionarios se roban la atención de los medios y revistas especializadas.

El Diario *El Comercio* de Perú (2022) publica el desarrollo de un novedoso producto que permite a los motores diésel existentes funcionar hasta con un 90% de hidrógeno como combustible, mientras el sistema de fumigación al que se dedica este texto llega a un 15%.

El artículo tiene como título “El sistema que hace que los motores diésel funcionen con hidrógeno y contaminen un 85% menos”; y describe cómo un equipo de ingenieros del Laboratorio de Investigación de Motores de la Universidad de Nueva Gales del Sur (UNSW) de Sídney, en Australia, ha logrado que un motor diésel funcione como híbrido de hidrógeno y diésel, con reducción en un 85% de emisiones de dióxido de carbono. Y, adicionalmente, sostienen que en tan solo un par de meses este nuevo sistema híbrido se puede adaptar en camiones y equipos eléctricos en las industrias del transporte, la agricultura y minería.

En Colombia, y más específicamente en la ciudad de Barranquilla, Guillín Estrada (2022) expone que mediante la gasificación del residuo agrícola y la sustitución parcial del combustible diésel por el gas de síntesis obtenido se puede reducir las emisiones y el consumo de combustible de las plantas estacionarias.

En su trabajo, Guillín Estrada (2022) evalúa la viabilidad técnica de la fumigación en motores gas de síntesis como estrategia para producir electricidad en regiones rurales del Atlántico. Adicionalmente realizó el diseño preliminar del gasificador y los resultados indican que la sustitución parcial del combustible diésel con gas de síntesis reduce las emisiones de NO_x hasta en un 60%.

Ávila Fajardo (2022), busca dar a conocer las grandes posibilidades que existen al implementar hidrógeno mezclado con combustibles tradicionales, creando una mejora significativa en la reducción de gases tóxicos y mejorar la eficiencia de los motores de combustión interna. La metodología principal del estudio radica en cómo se puede proporcionar la concentración de hidrogeno por medio de sensores de gas, se muestran detalles del proceso de electrolisis además de una serie de pruebas en la etapa de inyección hacia el motor con el fin de optimizar la cantidad de hidrógeno ideal en la combustión.

Por otro lado, Ródenas Cantó (2021) presenta su texto “Estudio de las prestaciones y emisiones del motor diésel de un vehículo operando en modo dual H₂-Diésel”. En dicho artículo el autor presenta los efectos del aporte del hidrógeno, o una mezcla gaseosa de hidrógeno y gas natural en el proceso de admisión, y manteniendo la inyección de diésel en el cilindro para producir la autoignición dentro de la cámara de combustión. El trabajo propuesto consiste en un estudio de las prestaciones y las emisiones que puede dar un motor diésel funcionando en modo dual, considerando la sustitución parcial del gasóleo. Para mayor generalidad, como combustible aportado en el colector de admisión se considera una mezcla hidrógeno-gas natural, con un factor de proporción de la mezcla de los dos gases, calculándose sus propiedades como combustibles y

buscando la proporción óptima de ambos gases. Con estas propiedades se calculan las emisiones de CO₂ y se comparan con el motor diésel original.

5. Metodología

Para la evaluación de la implementación del sistema de fumigación motores recíprocos en Colombia, y por tratarse de unas aplicaciones muy específicas la estrategia requiere de las siguientes actividades:

Para el diseño de mercado es indispensable proceder con

- Identificar el inventario de motores recíprocos de operación continuada
- Segmentación del mercado de acuerdo a variables como combustibles, ubicación, dueño de equipos.
- Identificar los proyectos de autogeneración y generación de energía al Sistema Interconectado Nacional SIN.
- Evaluar los requerimientos del mercado petrolero

Ha sido necesario el uso de correo electrónico, llamadas con los principales agentes de la cadena de generación de electricidad con motores recíprocos. Es decir, información validada con las fuentes primarias. Adicionalmente la información se ha corroborado con la experiencia publicada en las páginas de internet de los proveedores de servicios, y para los proyectos en el sector industrial se han revisado las bases de datos de las compañías que suministran el gas natural.

Para la parte técnica ha sido necesario

- Estimar emisiones actuales para cada proyecto
- Examinar el impacto de la implementación del sistema de inyección de hidrógeno de acuerdo con las metas de emisiones del país.
- Solicitar las ofertas de suministro de los equipos de producción de hidrógeno (Electrolizadores)
- Mirar expertos en el mercado para determinar la cantidad de hidrógeno requerido de acuerdo con las condiciones de cada equipo de generación.

- Desarrollar el estudio organizacional
- Identificar recursos necesarios de inversión
- Identificar recursos de operación

Para la parte legal se ha procedido con:

- Identificación la normatividad vigente del impuesto al carbono: precios actuales, moneda, tipo de indexación.
- Consideraciones para la implementación de la norma 1715

Para la parte financiera se han proyectado, flujos de caja, estados de resultados a 10 años y con los resultados de VPN y TIR la comprobación de la viabilidad financiera del desarrollo del proyecto.

6. Resultados

Por las características del producto de fumigación de energía en motores recíprocos el análisis del mercado se ha podido hacer de una manera muy sencilla, ya que los factores que normalmente son de vital importancia como tamaño del mercado, precio, competencia no representan en este caso variables de impacto y el objetivo debe estar enfocado en identificar puntualmente los usuarios que en este momento están generando energía eléctrica y como efecto secundario, en mayor o menor medida, emitiendo gases de efecto invernadero.

De acuerdo con las tablas que se presentan en el ANEXO 1 de este documento y que contiene el inventario de generación en Colombia con motores recíprocos se estima casi en 1.500 MW que corresponden casi un 10% de la capacidad del sistema eléctrico Nacional, que en la actualidad es de 17.000 MW sin contar con Hidroituango.

Por tratarse de un producto nuevo en el mercado, no hay competencia, al menos por ahora, en la implementación de este tipo de soluciones. Lógicamente, y debido al continuo interés en el calentamiento global, hay todo tipo de tendencias y medidas gubernamentales con estímulos para la generación de electricidad mediante granjas solares, turbinas eólicas, generación geotérmica, sin embargo, el desarrollo de estos sistemas es más complejo debido a las altas inversiones que se requieren adicionalmente el impacto social y ambiental que trae su implementación

Es un mercado en el que todo tipo de iniciativas son bien recibidas, aunque de acuerdo con los balances iniciales estimados, la reducción en las emisiones por el uso del sistema de fumigación en las centrales de generación con motores recíprocos supera las metas del gobierno colombiano en instalación de generación con fuentes no convencionales de energía renovable. Sin embargo, la diferencia radica en que, para 7.500 MW en energía solar, la inversión es de USD 6.000 MM, mientras que con el uso de la fumigación es de USD 30 MM. Adicional a las dificultades de tiempo de instalación y permisos requeridos para el desarrollo de una solución con energía fotovoltaica.

Así como la variable de precio que en cualquier mercado es una preocupación a la hora de la implementación de un desarrollo de un producto, en el caso de las emisiones de CO₂ ya es un valor fijo en moneda local establecido y con factores de indexación (Gil *et al.*, 2020).

En Colombia, el impuesto para el año 2022 tiene un valor de \$18.829 por tonelada y las compañías que lo pagan pueden acceder a una no causación para comprar en el mercado nacional de créditos, en vez de pagar a la DIAN.

De esta manera se encuentra un mercado con una demanda “infinita” del producto a un precio fijo y condiciones previamente establecidas. De esta manera el reto ha sido la identificación del mercado.

Ubicación en Colombia Motores reciprocantes de generación:

La producción de petróleo es demasiado intensiva en consumo de energía eléctrica para bombeo, de esta manera, y por estar los campos retirados del sistema interconectado la demanda de generación con motores reciprocantes se requiere en mayor medida en los campos de producción tal como lo indica la siguiente gráfica.

Se puede ver que el 60% del mercado objetivo se encuentra en los departamentos de Meta y Casanare, lo que simplifica mucho la implementación y operación del sistema de fumigación, ya que, a pesar de no estar concentrados y las dificultades propias de desplazamiento y seguridad, se pueden desarrollar centros técnicos especializados para atención de los sistemas instalados (Gerrero y Vergel, 2010).

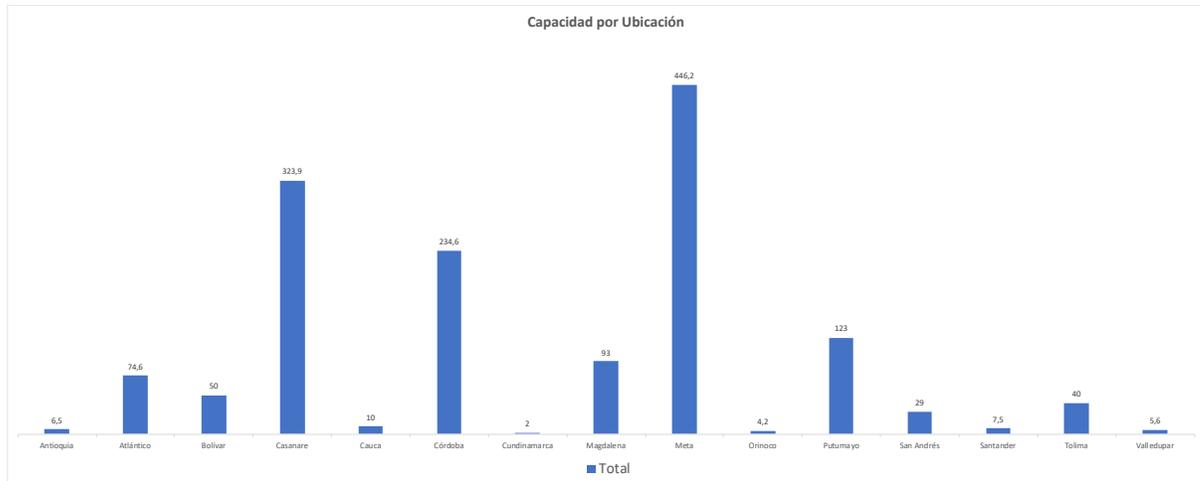


Ilustración 8. Capacidad por ubicación.

Tipo de Combustible:

A pesar de los precios, el combustible líquido tiene alta demanda en la generación de energía, y con un factor de emisiones superior al del gas natural, representa una oportunidad lo que aumenta el impacto de la aplicación del sistema de fumigación de hidrógeno. En la Ilustración 9 se aprecia el impacto que los sistemas de generación del sector petrolero, en el que el combustible producido se usa la producción de su propia electricidad, de esta manera es considerado como un costo asociado a la producción (Y tal vez inelástico).

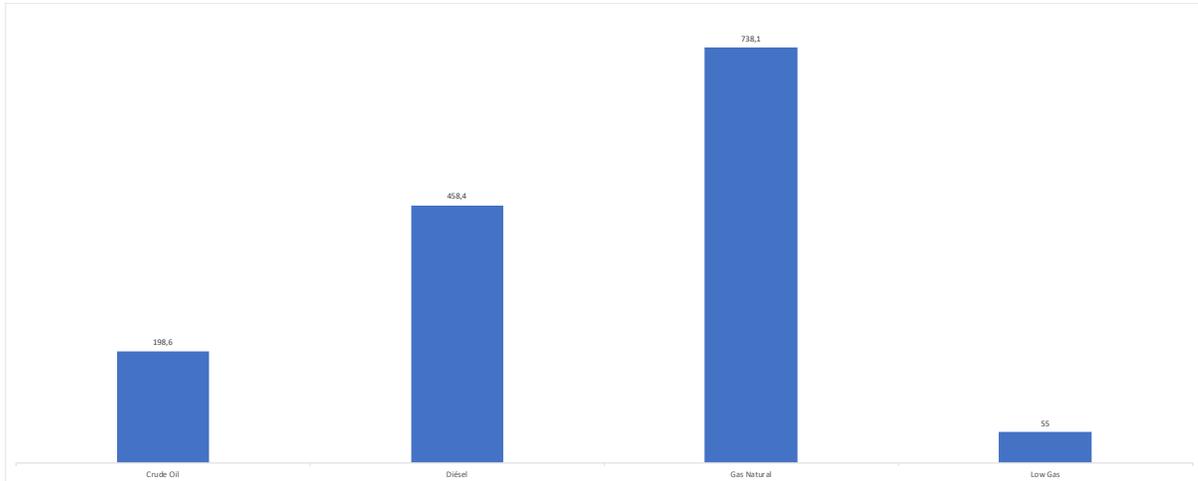


Ilustración 9. Impacto que los sistemas de generación del sector petrolero.

Así las cosas, en un sector que siempre ha sido estigmatizado como causante del calentamiento global puede empezar a proponer impacto significativo en el control de emisiones.

El impacto en las centrales de generación para las Zona No interconectada es aún mayor en las emisiones, ya que es necesario considerar los costos del transporte del combustible, es el caso de San Andrés y Providencia, donde el consumo de combustible al año es de 15 MM de galones de combustible al año.

Tipo de Industria:

El impacto de la generación en industria no es muy considerable (Ver Ilustración 10), mientras en los campos petroleros, por estar lejos del sistema interconectado, no hay alternativas para el suministro de energía eléctrica, en la industria hay competencia de los diferentes energéticos, de esta manera los esfuerzos realizados para la implementación de autogeneración, se ven compensados por la mejora en tarifas al usuario final.

La gran desventaja que se tiene es que el combustible gas natural se vende en dólares en el país, mientras que la energía eléctrica se paga en moneda local. Aunque en un análisis más

exhaustivo se encuentra que el componente de la energía llamado restricciones y que es el que refleja en la tarifa la generación fuera de mérito también se paga en dólares. Su impacto en la tarifa es del 20% aproximadamente.

Para la extracción del petróleo el Requerimiento de Energía es de aproximadamente 1 MW por cada 1.000 Barriles de combustible. El Reto es poder acceder, con equipos y combustible, a los sitios donde se necesita la electricidad.

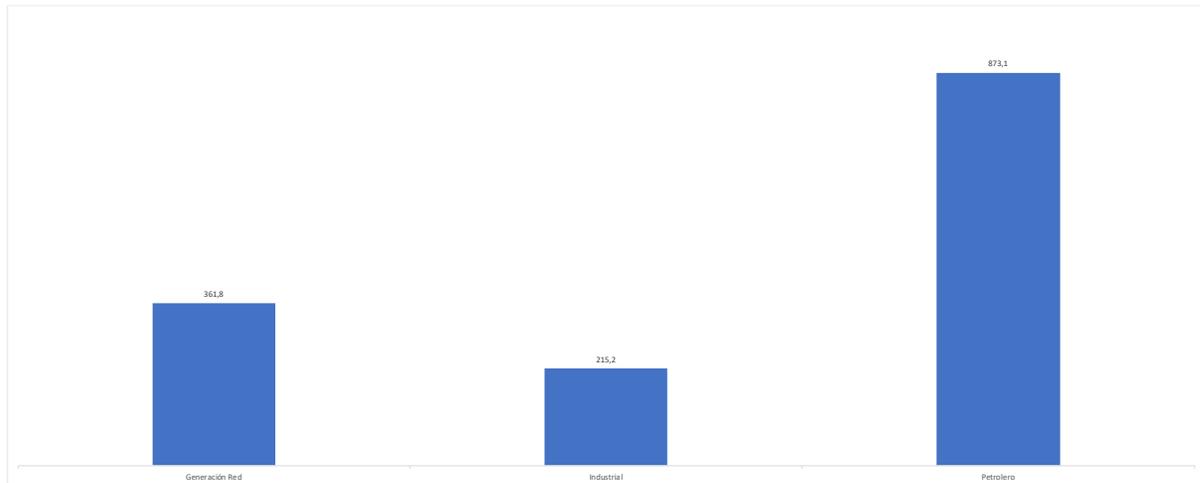


Ilustración 10. Impacto de generación.

La generación con motores en el mercado de industria se ha dado desde 2002 desde que fabricantes de motores de alta velocidad y tamaños pequeños, es decir más adaptables a los requerimientos de una mediana industria han penetrado el mercado.

El mayor desarrollo es en la ciudad de Barranquilla, en el que, por las condiciones de la calidad del suministro de energía eléctrica, y los precios del gas natural, los empresarios han visto las mejoras en las condiciones de suministro de la electricidad autogenerada (Guerrero y Vergel, 2010).

Los Beneficios que aumentan cuando se considera la aplicación del calor sobrante del proceso de combustión ya sea en acondicionamiento de aire, producción de vapor. De esta manera la eficiencia del proceso de generación de electricidad, que normalmente está alrededor del 40%, llega a valores hasta del 60%. En referencia al aprovechamiento útil de la energía química del combustible.

Inversión en motores recíprocos:

Las empresas quieren ocupar sus recursos en la especialización de producto, y que la generación de energía sea responsabilidad de un tercero, tal como pasa con la red eléctrica.

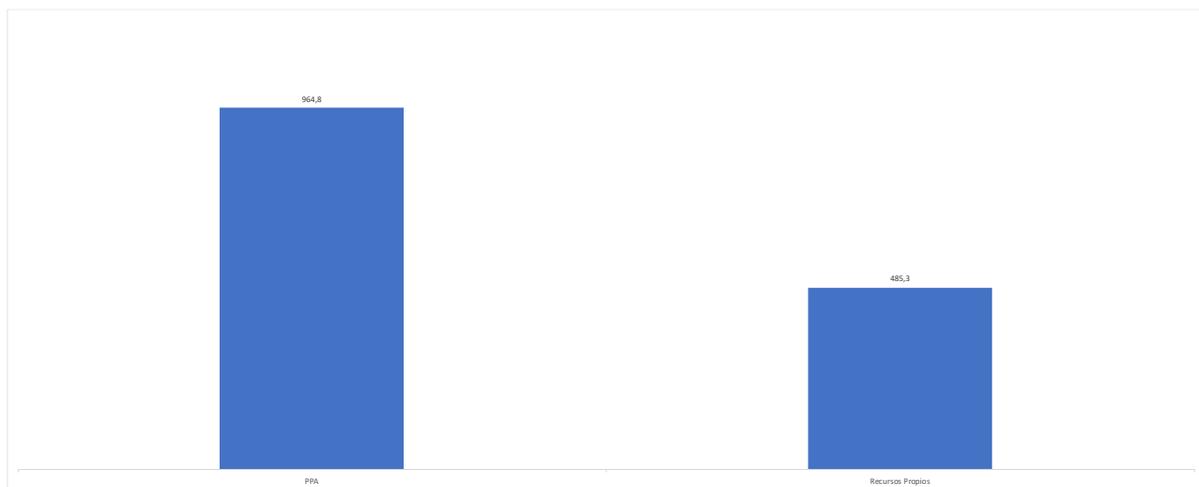


Ilustración 11. Porcentaje contrato tipo Power Purchase Agreement PPA .

Así las cosas, muchas compañías se han especializado en el desarrollo de contratos tipo Power Purchase Agreement PPA (Ver Ilustración 11) en el que se encargan de la compra de los equipos, la operación, mantenimiento mientras el usuario suministra el combustible y paga un valor por kWh.

Esta condición del mercado limita profundamente la cantidad de negociaciones necesarias para alcanzar un mercado objetivo, ya que no se trata de una relación uno-uno, es decir al acceder

a una negociación se llega a varios motores e nivel nacional y en algunos casos son compañías con presencia internacional.

El impacto de la generación con recursos propios en la gráfica, a pesar de verse “alto” comparativamente se debe a las. Empresas de generación de energía para la red, que corresponden a Tesorito, Termonorte y Termomechero.

Propietario de los Equipos

Una característica que favorece la implementación del sistema de fumigación es la concentración de los dueños de los equipos de generación. Con el acceso a las compañías dedicadas a suministro de contratos tipo PPA, o de inyección de energía a la red, fácilmente se puede alcanzar el 90% del mercado.

Con la ventaja que el acceso de un cliente implica la conversión de un número considerable de equipos. El acceso al mercado se facilita porque en 5 cuentas están repartidos más del 75% de los clientes Objetivo.

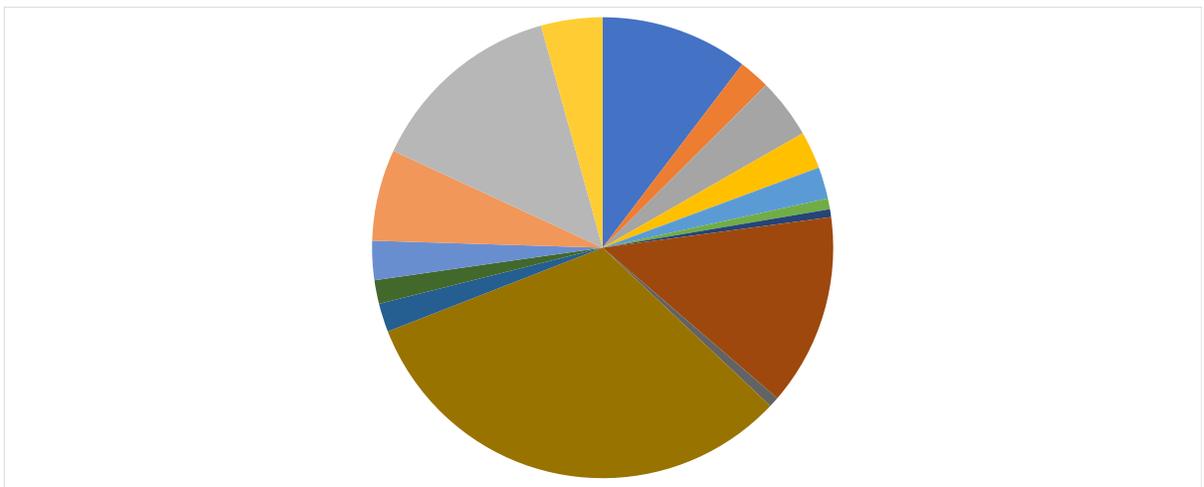


Ilustración 12. Distribución de dueños de equipos de generación de Colombia.

Por supuesto que estas compañías (Ver Ilustración 13) están interesadas en la disminución de emisiones sin tener que hacer inversiones, y adicionalmente muchas de ellas tienen presencia internacional, de esta manera se garantiza un rápido acceso a mercados futuros en otros países.

Un punto de interés adicional que merece atención es que hay doble beneficio por la instalación del sistema de fumigación, es decir en cuanto a las empresas que pueden mejorar su reputación en el mercado por disminuir emisiones. Por supuesto la compañía en la cual operan los motores recíprocos y que es la beneficiaria de la generación de energía en sitio y en segundo lugar las compañías que ofrecen los servicios de PPA.

Aggreko	150
AXIA	31,6
Cementos Argos	61
COPOWER	38
e2	32,1
Genser Power	11
MGM	8
Power Group	195
Promisol	10,5
SoEnergy	464,6
Sopesa	29
SurEnergy	24
Termomechero	39,8
Termonorte	93
Tesorito	200
(en blanco)	62,5
Total general	1450,1

Termonorte, con capacidad de 93 MW y ubicada en el municipio de Bonda, Magdalena, requiere un tratamiento especial por ser una central que opera con combustible dual, es decir puede operar con Gas natural o Combustible líquido.

Tesorito es una compañía que apenas está entrando en operación en 2.022 y por decisión estratégica de los dueños, en inversión en energía renovable tendrían todo el interés en el desarrollo e implementación del sistema de fumigación en sus equipos

De la misma manera SoEnergy y Aggreko han manifestado el interés en el estudio de la solución planteada.

*Ilustración 13.
Porcentajes empresas
generadoras.*

6.1. Resultado técnica

El proceso de implementación del sistema de fumigación parte de una oferta comercial para los motores recíprocos que están funcionando permanentemente, independiente del combustible o aplicación.

El modelo de negocio se hace en los siguientes pasos:

Oferta comercial de Suministro e instalación de equipos en calidad de comodato, los ingresos que se obtienen por la venta de certificados de reducción de emisiones se usan para:

- Pago de inversión en suministro e instalación de los sistemas electrolizadores
- Instalación del sistema electrolizador en el motor
- Operación, mantenimiento, pólizas
- Costos del mercado del carbono, verificación de reducción de emisiones.

El usuario suministra energía para el electrolizador y recibe las certificaciones de operación con menos emisiones.

Para la instalación del sistema y Operación del sistema se requiere:

- Proveedores del sistema de producción de hidrógeno
- Ingenieros especializados en cálculo de requerimientos de hidrógeno para cada tipo de motor.
- Accesorios de instalación
- Equipos de pruebas de emisiones.
- Sistema de supervisión remota
- Personal de Operación y Mantenimiento de electrolizadores, este es un sistema bastante conocido y popular en el mercado, de tal manera que se pueden encontrar diferentes proveedores de acuerdo con el sitio de instalación y de la misma manera son los encargados

de mantener el equipo en condiciones ideales de operación. De esta manera no se tiene dependencia de un solo proveedor de los sistemas de producción de hidrógeno, lo cual trae beneficios por la descentralización y la mejora continua de la tecnología.

- Se requiere incluir al menos una visita mensual de los técnicos especializados

Referente a los tiempos de instalación, por tratarse de un sistema muy sencillo en la producción e implementación, no debe tomar más de ocho semanas. Adicionalmente no hay partes móviles, lo que implica una vida útil de 20 – 25 años del electrolizador, tal vez sea necesario cambiar las plaquetas correspondientes al ánodo y cátodo. Y más bien su vida útil se encuentra limitada de acuerdo con la duración del motor recíprocante.

Los fabricantes normalmente especifican 60.000 horas para el primer overhaul (reparación total) del equipo. Dependiendo de la disponibilidad, puede operar 10 años.

6.2. Resultados estructura organizacional

La compañía que se dedicará a la comercialización y administración del sistema de fumigación no es intensiva en requerimientos de personal. De esta manera se pueden contratar los servicios de apoyo y el incremento se hace de acuerdo con el crecimiento.

Una vez acordadas las condiciones del contrato de instalación del sistema y comercialización de emisiones, se procede a contratar:

- Fabricación Electrolizador
- Instalación en motor
- Sistema de Control
- Sistema de Supervisión
- Mantenimiento

Se espera contar con proveedores locales, o al menos que por su ubicación tengan fácil y rápido acceso a los sitios en los que se instalan los sistemas de fumigación. De esta manera se está especializando la mano de obra local y se logra un rápido cubrimiento del mercado. Adicionalmente con la participación de estos agentes locales en el negocio de fumigación se disminuye las posibilidades de tener competencia.

Con los equipos funcionando se procede a contratar la verificación de la reducción de emisiones y bajo un esquema tipo “sombrija” en el que se acuerdan previamente los procedimientos para la expedición de los certificados se procede a la comercialización.

La labor siguiente es la supervisión, por parte del personal interno (Ver Ilustración 14), desde un centro de control de todas las variables de operación: emisiones, temperaturas de operación, generación de energía, consumo de agua, producción de hidrógeno.

Para la supervisión permanente de los sistemas es indispensable la garantía de personal, se divide en tres turnos de ocho horas y disponibilidad para descansos. Sin embargo, debido a la no criticidad de la operación con hidrógeno, las intervenciones de mantenimiento programado y/o no programado pueden hacerse de acuerdo con la disponibilidad de los técnicos encargados de la inspección y puesta en operación.

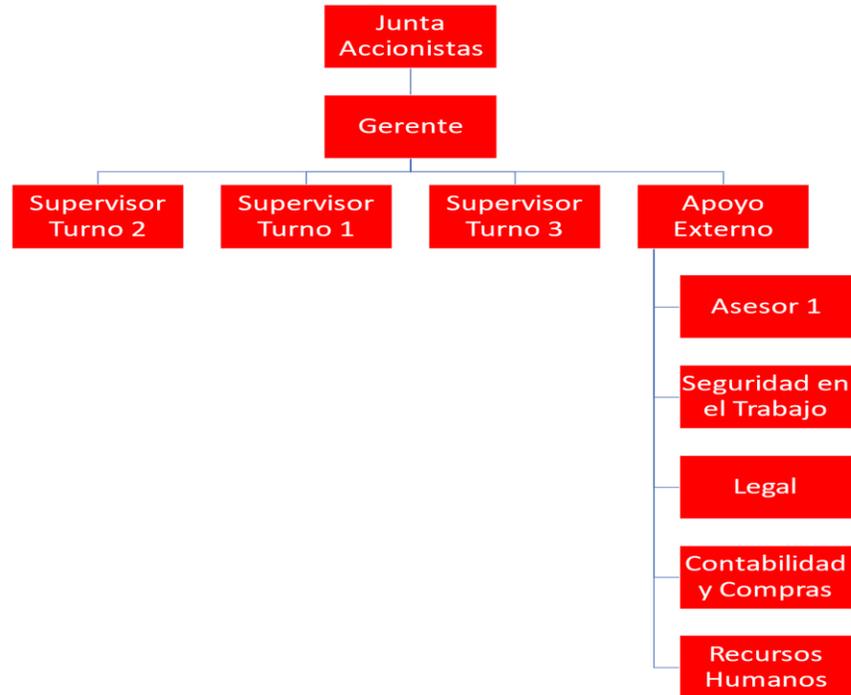


Ilustración 14. Clasificación jerárquica Organizacional.

6.3. Resultado legal

La Corte Constitucional ha definido el medioambiente como un derecho; de tal manera, el ambiente sano forma parte de los derechos de la sociedad y su conservación asigna deberes a la sociedad, al Estado, a las empresas y la comunidad internacional y, por supuesto, los particulares. Se acepta al medioambiente sano como un derecho y los dueños son todas las personas, quienes pueden participar en las decisiones que lo pueden afectar y así mismo deben ayudar a su conservación.

De esta manera, el Estado tiene la obligación de: i) proteger su diversidad e integridad; ii) salvaguardar las riquezas naturales de la Nación; iii) conservar las áreas de especial importancia ecológica; iv) fomentar la educación ambiental; v) planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para así garantizar su desarrollo sostenible, su

conservación, restauración o sustitución; vi) prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental; vii) imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados al ambiente; y viii) cooperar con otras Naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas de frontera. (Sentencia C-595 de 2010)

El derecho a un medioambiente sano, es el principio de la tributación ambiental, pues el hecho de que esté reconocido en sede constitucional hace que todo el ordenamiento se informe de la necesidad de proteger el medioambiente por intermedio del uso de los instrumentos que sean necesarios (Betancor et al., 2002).

La Constitución Política de Colombia incluye los siguientes artículos para identificar los deberes del Gobierno para protección del medioambiente, y además justifica la intervención para su protección, mecanismos de intervención al mercado o por medio regulación directa. En este sentido se encuentran Derecho a un medioambiente sano, Artículo 79; Saneamiento ambiental, Artículo 49; Función ecológica de la propiedad, Artículo 58; Bienes de uso público, Artículo 63; Desarrollo sostenible, Artículo 80; El ambiente como límite a la libertad económica, Artículo 333; y también Intervención del Estado en la Economía para la preservación de un ambiente sano, Artículo 334.

La Constitución de 1991 cambió la relación de la sociedad colombiana con el medio ambiente. Tanto así que se conoce como una real “constitución ecológica”, que contiene todas las regulaciones de la relación entre la sociedad y la naturaleza.

Igualmente, la Corte ha precisado que esta Constitución ecológica tiene dentro del ordenamiento colombiano una triple dimensión: de un lado, la protección al medioambiente es un principio que irradia todo el orden jurídico puesto que es obligación del Estado proteger las riquezas naturales de la Nación. De otro lado, aparece como el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano, derecho constitucional que es exigible por diversas vías judiciales.

Y, finalmente, de la constitución ecológica derivan un conjunto de obligaciones impuestas a las autoridades y a los particulares. Es más, en varias oportunidades, la Corte ha insistido en que la importancia del medioambiente en la Constitución es tal que implica para el Estado, en materia ecológica, "unos deberes calificados de protección". (Sentencia C-126 de 1998)

En esta medida se garantiza, como política, el trabajo conjunto de orden jurídico y privado para lograr el derecho al medio ambiente sano. De igual manera, se han planteado estrategias tributarias que beneficien el trabajo para el bienestar ecológico medioambiental. Al respecto, Bokobo Moiche (2000) afirma que

Los incentivos tributarios son instrumentos económicos que contemplan una excepción a la aplicación de la regla tributaria ordinaria. Con este mecanismo, el Estado, en su facultad recaudatoria, deja de recibir algunos recursos, con el fin de producir o promocionar ciertas conductas o comportamientos que deben ser favorables con el medioambiente: "los incentivos fiscales ambientales son tratamientos excepcionales, en el sentido de que constituyen una excepción respecto de los tratamientos ordinarios. Por medio de ellos la administración tributaria deja de percibir determinadas cantidades para promocionar determinadas conductas ecológicas o favorables con el medioambiente. En este sentido pueden ejercer una influencia considerable sobre los hábitos de consumo y de comportamiento".

Los tributos ambientales "son las prestaciones pecuniarias exigidas por un ente público con la finalidad principal de producir efectos de conservación, reparación, mejora y, en general protección del medio ambiente" (Bokobo Moiche, 2000); es decir que el tributo ambiental mide y cobra por las emisiones de materias que afectan el medioambiente.

Ministerio de Hacienda y Crédito Público y el Ministerio de Ambiente son apoyados por la dirección de Ambiente y Desarrollo Sostenible con el diseño de instrumentos económicos para cuantificar los costos sociales y ambientales del cambio climático.

Estos instrumentos crean incentivos para que se considere como un costo el impacto negativo por la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible (s.f.) y se estimule la generación de energía mediante fuentes renovables no convencionales. FERNC.

Ley 1819 Impuesto al Carbono

Reducir los gases de efecto invernadero (GEI) ha sido preocupación de los gobiernos de Iván Duque y Gustavo Petro, quienes han ratificado el interés en tomar acciones para el cumplimiento del acuerdo de París de 2015 y han incluido herramientas operativas y financieras con objeto de reducir el 20% las emisiones antes de 2030. Como resultado por medio del artículo 221 de la ley 1819 de 2016 (Reforma tributaria estructural) se creó el impuesto al Carbono (Valora Analitk, 2022).

Estos fondos no llegan a sumar caja como otros ingresos del presupuesto general de la nación, su ejecución se debe limitar a los fines para los que fue establecido. Como consecuencia los proyectos que se financian con este impuesto, adicional a que no deben presentar retrasos, se deben ejecutar con eficiencia y eficacia.

A pesar que, el impuesto al carbono lleva apenas 6 años, la aplicación de su reglamentación aplicable ha tenido cambios importantes en su administración y manejo, así como su destino en las actividades del medio ambiente por financiar.



Ilustración 15. Evolución de la Ley al impuesto al carbono. Fuente: propia

De las normas mencionadas en la Ilustración 15 se puede apreciar improvisación, tanto en la creación del fondo que manejaría los recursos, como en las entidades a las que se adscribiría. El Fondo para una Colombia Sostenible se creó y modificó mediante leyes anuales de presupuesto. La primera en el año 2016 que lo adscribió al ministerio de hacienda y crédito público y la segunda lo trasladó a la presidencia de la república y actualmente se encuentra adscrito al DAPRE (Departamento Administrativo de la presidencia de la República).

El impuesto consiste en el pago de una tarifa proporcional con las emisiones de carbono. Los combustibles gravados son: Gasolina, Kerosene, Jet Fuel, ACPM y Fuel Oil. El gas natural solo cuando se usa para industria petroquímica y refinación de hidrocarburo, y el gas licuado de petróleo (GLP) pero solo para la venta a usuarios industriales.

Este impuesto se liquidó a partir del primero de febrero de este año y la tarifa asignada es de \$18.829 por tonelada de CO₂ generada y la aplicación se hace de acuerdo con los factores de emisión de CO₂ de cada uno. La tarifa se ajusta cada primero de febrero con la inflación del año anterior, y un punto porcentual hasta que sea equivalente a una unidad de valor tributario (UVT) por tonelada de CO₂.

El impuesto Nacional al Carbono se paga desde enero de 2017. El distribuidor mayorista de cada combustible lo paga al productor o importador del combustible quien se encarga del recaudo. De esta manera todos los usuarios de acuerdo a las reglas de la cadena de distribución de combustible.

Hay tres momentos en la cadena de distribución para causar el impuesto y se cómo hecho generador del impuesto: 1) Cuando se vende en Colombia; 2) Cuando el productor del combustible lo retira para su autoconsumo; y 3) Cuando el combustible se importa. El impuesto se causa una vez respecto a lo que ocurra primero, es decir que el cobro se hace con lo primero que suceda de venta, retiro o importación.

Con respecto al uso, los proyectos elegibles deben asegurar transparencia en su implementación, una buena metodología y un registro público de los resultados, adicionalmente debe quedar claro quién es el propietario de las reducciones de emisiones y finalmente deben ser verificados por un tercero con las respectivas acreditaciones.

El Decreto 926 de 2017 establece las características de las reducciones de emisiones y establece que el origen debe corresponder a iniciativas de mitigación implementadas en el país y usando programas de certificación con experiencia en aval de metodologías del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), y similares.

Un ejemplo de las iniciativas de mitigación entre muchos otros puede ser:

- Energías renovables No convencionales
- Proyectos forestales
- Proyectos que reduzcan las emisiones de metano a la atmosfera en rellenos sanitarios, Proyectos de ganadería sostenible
- Incremento en eficiencia energética en calderas y generadores

Las reducciones no podrán provenir de una actividad requisito de la autoridad ambiental ni proyectos MDL fuera de Colombia.

Si los proyectos hayan iniciado su ciclo mecanismo MDL y luego hayan pasado a mercado voluntario, es necesario hacer el “des registro” MDL.

Los organismos de verificación, deben cumplir con los esquemas de acreditación establecidos en el capítulo 1 del título 11 del Decreto 1076 de 2015 (adicionado por el artículo 3 del Decreto 926 de 2017).

El impuesto al carbono será deducible del impuesto sobre la renta, y el uso de su certificación solo es válida una vez.

El alcohol carburante para la mezcla con gasolina y el biocombustible de con destino a la combinación con ACPM para motores diésel, no están sujetos al impuesto nacional al carbono (Ministerio de Ambiente, s.f.).

La ley también incluye otras exenciones, como el alcohol de combustible (etanol), el biodiesel, los combustibles vendidos en los departamentos de Guainía, Vaupés y Amazonas; y la venta de diésel marino y reabastecimiento de combustible para envíos internacionales

Ley 1715: Incentivos tributarios para la generación de energía

Ley 1715 de 2014 establece el marco regulatorio de incentivos para generación de energía con fuentes no convencionales y el objetivo es apoyar el desarrollo y uso de las FNCE y principalmente las Renovables (FNCER), a través de la Integración al Sistema Interconectado Nacional (SIN), el empleo en Zonas No Interconectadas (ZNI), la reducción de gases de efecto invernadero y la seguridad suministro de energía; como objeto complementario tiene que promover la gestión eficiente de la energía, tanto en la eficiencia energética como en la respuesta a la demanda. (Congreso de la República). En esta ley se especifican los beneficios fiscales relacionados con impuesto a la renta (Deducción Especial y Depreciación Acelerada), impuesto sobre las ventas y el gravamen arancelario (Moreno Suárez, 2017).

A. Impuesto sobre la Renta

1. Deducción Especial: el artículo 11 de la Ley 1715 del 2014: Se pueden deducir hasta en 15 años el 50% del total de la inversión a partir del año siguientes en que se ejecutó la inversión.

Este artículo aplica para los contribuyentes del Impuesto a la Renta que realicen directamente nuevas erogaciones en investigación, desarrollo e inversión en el ámbito de la producción y utilización de energía a partir de FNCE. Si la inversión sea hecha por medio de leasing financiero con opción irrevocable de compras, el beneficio tributario aplicará a partir del año siguiente en el cual se suscriba el contrato.

2. Depreciación acelerada:

El artículo 14 Ley 1715 del 2014 señala que se podrá realizar depreciación acelerada a las maquinarias, equipos y obras civiles para la preinversión, inversión y operación de las FNCE. Solo para este fin, la tasa anual de depreciación no podrá ser mayor a treinta y tres por ciento (33%).

A este beneficio pueden acceder los generadores de energía, a partir de FNCE que realicen nuevas inversiones en maquinaria, equipos y obras civiles adquiridos y/o construidos con posterioridad de la vigencia de la Ley 1715 de 2014.

Para acceder a estos beneficios es necesario obtener la certificación del beneficio ambiental que expide el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenibles y la certificación expedida por la UPME.

Las certificaciones de la ANLA y la UPME se solicitarán de manera conjunta desarrollará de manera conjunta, es decir, se abordarán impuesto a la Renta, Impuesto a las ventas y Gravamen Arancelario en un solo numeral.

B. Impuesto sobre las ventas

El artículo 12 de la Ley 1715 de 2014 indica que los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados para la pre inversión, inversión, producción y utilización de FNCE estarán excluidos de IVA. Para lo cual el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible certificará los equipos y servicios de acuerdo con un listado.

Para acceder al beneficio es necesaria la certificación de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales en la que se incluirán cantidades y subpartidas arancelarias para soportar en la declaración de importación ante la DIAN la exclusión del IVA, como para solicitar la exclusión del IVA en las adquisiciones nacionales. Es necesario obtener la certificación expedida por el Ministerio de Minas y Energía, a través de la UPME en la cual se avalará el proyecto de FNCE y los equipos, elementos y maquinaria, nacionales o importados, o la adquisición de servicios.

C. Gravamen arancelario

El artículo 13 Ley 1715 de 2014 indica que los titulares de inversiones en proyectos de FNCE contarán con exención del pago de los derechos arancelarios de importación para los casos de maquinaria, equipos, materiales e insumos, exclusivos para pre inversión e inversión. Para obtener este incentivo, debe solicitarse con 15 días antes de la importación a la DIAN.

Descripción del proceso de solicitud

El procedimiento para personas naturales o jurídicas es el siguiente.

1. Registro del proyecto de Generación y Cogeneración en la UPME.

La UPME tomará un máximo de 30 días calendario para expedir el certificado de registro en cualquiera de sus fases

Los anexos de la resolución contienen los formatos: El primero de los cuales consiste en la información general del proyecto, identificación de la empresa, ubicación, costos y el 1 segundo

formato tiene que ver con las características específicas, poder calorífico de la fuente, descripción de los equipos principales.

2. Certificación que avala la documentación de los equipos, elementos, maquinarias y/o servicios: destinados a nuevos proyectos de generación a partir de FNCE. Para tal fin, la UPME expidió la Resolución 045 de 2016, en la cual se encuentra la Lista de Bienes y Servicios Excluidos de IVA y Exentos de Gravamen Arancelario (Congreso de la República).

La UPME tiene 15 días calendario para expedir la certificación, y/o solicitar aclaraciones, y a partir de la respuesta 15 días adicionales para aceptar o rechazar la solicitud.

3. Certificado de Beneficio Ambiental por Nuevas Inversiones en Proyectos de Generación con FNCER expedido por la ANLA

Es necesario radicar ante la ANLA el formato único de solicitud de beneficios tributarios para FNCER, firmado por el representante legal o apoderado del solicitante, acompañado, de una descripción detallada de la inversión en proyectos de FNCER y una descripción de los beneficios ambientales asociados al proyecto.

Cuando el proyecto está en fase de inversión o de operación, se debe adjuntar copia de la licencia ambiental y en el caso de no requerir de licencia, documento expedido por la autoridad competente que certifique este hecho.

Cuando se trate de la exclusión del IVA, se necesita el formato de "Especificaciones del Elemento, Equipo, Maquinaria" y, si se incluyen servicios, se debe entregar el formato de "Especificaciones de los Servicios" de acuerdo con las listas expedidas por la UPME.

La ANLA tiene 5 días hábiles para expedir el acta de inicio de trámite; en los siguientes 10 días hábiles, requerir al solicitante información adicional. Desde la fecha del inicio de trámite o de

entrega de la información adicional, la ANLA tiene 25 días hábiles para expedir o negar la certificación de beneficios ambientales, decisión que debe estar soportada exponiendo las razones.

El trámite de la certificación expedida por la ANLA se debe hacer en la Ventanilla de Trámites Ambientales en Línea (VITAL). La ANLA debe enviar copia de la certificación a la Subdirección de Gestión de Fiscalización Tributaria o a quien haga sus veces en la DIAN y a la UPME; dicha certificación solo tendrá vigencia de un año.

6.4. Resultados financieros

Partiendo del análisis de mercado y análisis técnico, la parte legal y organizacional, se procede a hacer flujo de caja, balance. La evaluación se hace para el desarrollo de 100 MW en motores recíprocos combustible líquido y con la estructura proporcional para funcionamiento.

Los ingresos están representados por la venta de los certificados de emisión correspondientes a esta capacidad durante 10 años de acuerdo con las certificaciones técnica del fabricante de los motores y con el objeto de la adquisición de los recursos para la inversión, se accede a banca local que ofrece tasas muy bajas (oscilando entre 4% - 6% EA) para la implementación de tecnologías de control de emisiones.

Para este proyecto se considera Equity del 20% con una tasa del 15%, se considera una deuda del 80% a tasa del 6%. De tal manera que el costo de Capital promedio ponderado fue de 8%. Tal como se detalla en la tabla 5

A pesar que los ingresos y los costos son en dólares, pensando en la proyección internacional del producto se hace el flujo en dólares y se deja constante la TRM. En \$ 5.000/USD.

Se trabaja el supuesto que se conserva la misma estructura de capital durante los 10 años

La misma tasa de impuestos, la misma volatilidad del mercado accionario

No se consideran fenómenos inflacionarios, ni variaciones en la política cambiaria

Tabla 1.

Item	Descripción	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total
TRM	\$ 5.000 / USD			
1	Electrolizador	USD 10.000 /MW	100	USD 1.000.000
2	Mano de Obra	USD 440.000	Global	USD 100.000
3	Adecuaciones y accesorios para Instalación Electrolizador			USD 55.000
4	Transporte		1	USD 50.000
Subtotal (Incluye tableros de Control)				USD 1.205.000
Imprevistos 10,0 %				USD 120.500
Total Inversión				USD 1.325.500

El componente principal del sistema de fumigación es el electrolizador, que es fabricado localmente. Como se ha mencionado a lo largo del texto es un sistema muy sencillo. Los otros componentes corresponden a mangueras, racores necesarios para la instalación.

Adicionalmente, se deja un margen para imprevistos.

Tabla 2

Flujo de Caja: Contempla el comportamiento de ingresos y costos del proyecto que se está analizando en el tiempo. De esta manera, se conoce su comportamiento a lo largo de su vida útil y se pueden calcular indicadores financieros que concluyan sobre su viabilidad.

De la diferencia entre Ingresos y costos se obtiene el EBITDA (earnings before interest, taxes, depreciation and amortization). Es decir, los beneficios de la compañía antes de hacer las

consideraciones de pagos de la inversión, impuestos de la operación del negocio, depreciación de equipos y la amortización. De esta manera se tiene una imagen real de lo que la empresa está ganando o perdiendo como resultado del negocio, es decir si el negocio es rentable o no por sí mismo.

También se usa para comparar empresas, datos históricos, ya que muestra una información que no se afecta por el apalancamiento financiero. Incluso permite medir en los mismos términos la rentabilidad de diferentes empresas, incluso en diferentes países. Obviamente con las correcciones de las monedas.

Así como, este indicador a simple vista nos muestra la solvencia de la empresa. Y es que permite mirar el flujo real de caja disponible. Es decir, muestra qué dinero queda para pagar deudas después de considerar los gastos de operación.

Tabla 3

FLUJO INVERSIONISTA											
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
EBITDA		USD 289.557									
+Intereses		-USD 63.624	-USD 60.443	-USD 54.080	-USD 47.718	-USD 41.356	-USD 34.993	-USD 28.631	-USD 22.268	-USD 15.906	-USD 9.544
+Depreciaciones		-USD 106.040									
Utilidad antes de impuestos		USD 119.893	USD 123.075	USD 129.437	USD 135.799	USD 142.162	USD 148.524	USD 154.887	USD 161.249	USD 167.611	USD 173.974
-CAPEX	-USD 1.325.500	USD 0									
Provisión Impuesto de Renta	35%	USD 41.963	USD 43.076	USD 45.303	USD 47.530	USD 49.757	USD 51.983	USD 54.210	USD 56.437	USD 58.664	USD 60.891
+/- WK											
+Desembolsos	USD 1.060.400										
Utilidad después de impuestos		USD 77.931	USD 79.998	USD 84.134	USD 88.270	USD 92.405	USD 96.541	USD 100.676	USD 104.812	USD 108.947	USD 113.083
-Amortización deudas	USD 0	-USD 106.040									
Total Flujo Inversionista	-USD 265.100	USD 77.931	USD 79.998	USD 84.134	USD 88.270	USD 92.405	USD 96.541	USD 100.676	USD 104.812	USD 108.947	USD 113.083
Flujo Acumulado	-USD 265.100	-USD 187.169	-USD 107.170	-USD 23.036	USD 65.233	USD 157.638	USD 254.179	USD 354.855	USD 459.667	USD 568.615	USD 681.698
TIR INVERSIONISTA	30,47%										
VPN	USD 681.698										

Falta WK y rendimientos

Tabla Flujo de Inversionista: Toma la utilidad bruta obtenida por el flujo de caja inicial (Ingresos menos costos) e incorpora otros elementos al análisis financiero. Así, permite obtener una vista completa del proyecto y arroja:

- **Utilidad Después de Impuestos (UDI):** Al UAI se le descuenta el impuesto de renta que será calculado con una tasa impositiva del 35%, y se le suman o restan aumentos y decrecimientos del capital de trabajo (WK).
- **Flujo Inversionista:** Al UDI se le descuenta la amortización de deudas que adquirió para financiar el proyecto. Se tiene al final una visión del dinero que le quedaría al inversionista en cada periodo de observación.

VPN: El valor presente neto utiliza el valor del dinero en el tiempo para traer al período actual los flujos de caja que arroje un proyecto. Si este es positivo quiere decir que la riqueza de la empresa incrementará en ese monto, si es negativo indica que la empresa perderá el valor indicado.

TIR: Este valor nos indica el rendimiento porcentual de reinvertir 1 peso (o divisa escogida) en un proyecto. Para decidir invertir en el mismo debe ser superior al Costo de Capital Promedio (WACC).

Tabla 4

WACC: Es la tasa de descuento que se debe utilizar para determinar el valor presente de un flujo de caja futuro. Este valor se calcula con el valor de los fondos propios, el valor de endeudamiento y el coste financiero en el que se incurriría al realizar el proyecto.

COSTO DE CAPITAL PROMEDIO PONDERADO (Tasa de descuento)			
Descripción Fuente de Financiación	Porcentaje de Participación	Costo del Recurso	Porcentaje Ponderado de participación
Deuda	80%	6%	5%
Equity	20%	15%	3%
Total	100%		WACC 8%

A partir de los indicadores y razones financieras se logró recopilar los datos contables con los cuales se concretó el estudio. Cada uno de los componentes de este, tienen un gran significado para la definición de la estructura contable y financiera de la empresa.

Este análisis financiero ayudó a concretar la toma de decisiones con respecto al tipo de crédito a solicitar, conocer sobre los impuestos que la empresa debe pagar, controlar y supervisar a la empresa mediante los estados financieros (Balance General y Estado de Resultados), proponer las estrategias más convenientes para la gestión y los resultados,

Por otro lado, con el análisis financiero se logró definir una viabilidad positiva muy atractiva para funcionamiento del proyecto “perse” como para los inversionistas.

Y de la misma manera ayudó a definir que el proyecto es viable financieramente, al obtener una TIR para el inversionista del 30,47% y un VPN de USD 681.698

Tabla 1

Características demográficas y tipo de tratamiento de hemodiálisis y diálisis peritoneal con la adherencia (SMAQ)

	Adherencia (SMAQ)				Valor P
	No		Sí		
	N	%	N	%	
Sexo					0.13
Hombre	55	58.	45	70.	
Mujer	39	41.	19	29.	
		5	7		
Edad					
19 a 25	7	7.4	1	1.6	0.246
27 a 59	69	73.	51	79.	
60 años o más	18	19.	12	18.	
		1	8		
Estado civil					0.036*
Soltero	26	27.	11	17.	
Casado / unión libre	57	60.	36	56.	
Viudo / divorciado	11	11.	17	26.	
		7	6		
Ocupación					0.045*
Hogar	37	39.	15	23.	
Empleado	8	8.5	3	4.7	
Otro	49	52.	46	71.	
		1	9		

*Valor p < 0.05

7. Conclusiones

El calentamiento global está afectando cada día a la población mundial, y los gases de efecto invernadero son una de las principales causas. De esta manera, es responsabilidad de toda la sociedad establecer compromisos claros para la mitigación. En este sentido la fumigación de los motores con hidrógeno se convierte en una estrategia no solo efectiva en el ámbito ambiental.

De acuerdo con la posición de cada uno en la sociedad se pueden establecer diferentes compromisos con el medio ambiente, como la limitación del uso de vehículos de combustión interna, el consumo de carnes rojas en entre otros. Sin embargo, la solución que plantea este documento es de fácil diseño e implementación, pero con un alto impacto; adicionalmente ayuda a poner a Colombia a la vanguardia en el cumplimiento de los compromisos adquiridos en las últimas Conferencias de las partes de París y Sharm el-Sheikh.

El sistema de Fumigación de hidrógeno ya ha sido probado con éxito en muchos países, principalmente en motores de uso vehicular. Por lo que no hay dudas con respecto al efecto en la disminución de CO₂. El reto principal es en la penetración del mercado, teniendo presente que las multinacionales petroleras serán un fuerte adversario, en tanto ellos tienen la hegemonía en el mercado.

El apalancamiento del estado ha asignado un costo al impuesto del carbono, es indispensable para garantizar el éxito del proyecto; no obstante, de manera alternativa está la posibilidad de acceso a mercados internacionales, desde los cuales se pueda establecer sinergias organizacionales que permitan el reconocimiento del proceso y, por ende, la búsqueda del éxito en el mismo. En esta medida es necesario garantizar la propiedad intelectual del desarrollo.

Por la sencillez del sistema, los bajos costos de inversión, y el planteamiento los siguientes pasos deben estar orientados a la ejecución, iniciar con presentar la tecnología y hacer las propuestas en firme a los usuarios identificados en el estudio de mercado.

Para el desarrollo de los proyectos de este tipo, en cuanto a la fumigación con hidrógeno, es importante resaltar la presentación de resultados, que surgen de la implementación de la tecnología; en esta medida, se trata de presentar las emisiones antes y después de la ejecución de la tecnología, y de la misma manera una verificación experimental de los motores.

8. Referencias

- Ávila Fajardo, C., & Silva Leal, V. (2022). Revisión Exploratoria de la Implementación de Hidrógeno en Motores de Combustión Interna. *Revista EJE-Engineering Journal ECCI*, 2(1), 22-34.
- Ávila Fajardo, C., & Silva Leal, V. (2022). Revisión Exploratoria de la Implementación de Hidrógeno en Motores de Combustión Interna. *Revista EJE-Engineering Journal ECCI*, 2(1), 22-34.
- Baca, G. (2013). *Evaluación de proyectos (7ª)*. McGraw Hill.
- Baca, G. (2013). *Evaluación de proyectos (7ª)*. McGraw Hill.
- Chain, N. S., Chain, R. S., & Puelma, J. M. S. (2000). *Preparación y evaluación de proyectos*. McGraw-Hill Interamericana.
- Chain, N. S., Chain, R. S., & Puelma, J. M. S. (2000). *Preparación y evaluación de proyectos*. McGraw-Hill Interamericana.
- Cifuentes Vásquez, K. (2013). *Estudio de factibilidad para la creación de una empresa productora y comercializadora de muebles con iluminación led en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura*. [Trabajo de grado]. Universidad Técnica del Norte.
- Cifuentes Vásquez, K. (2013). *Estudio de factibilidad para la creación de una empresa productora y comercializadora de muebles con iluminación led en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura*. [Trabajo de grado]. Universidad Técnica del Norte.
- Decreto 926 de 2017. (2017, 1 de junio). <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20926%20DEL%2001%20DE%20JUNIO%20DE%202017.pdf>
- Decreto 926 de 2017. (2017, 1 de junio). <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20926%20DEL%2001%20DE%20JUNIO%20DE%202017.pdf>
- El Sistema que hace que los motores diésel funcionen con hidrógeno y contaminen un 85% menos. (2022, 6 de noviembre). *El Comercio*. <https://elcomercio.pe/tecnologia/inventos/el-sistema->

que-hace-que-los-motores-diesel-funcionen-con-hidrogeno-y-contaminen-un-85-menos-espana-estados-unidos-mexico-noticia/ El Sistema que hace que los motores diésel funcionen con hidrógeno y contaminen un 85% menos. (2022, 6 de noviembre). El Comercio. <https://elcomercio.pe/tecnologia/inventos/el-sistema-que-hace-que-los-motores-diesel-funcionen-con-hidrogeno-y-contaminen-un-85-menos-espana-estados-unidos-mexico-noticia/>

Gil, C. L., Martínez, G. S., & Jiménez, J. D. (2020). ¿Influyen el clima y la contaminación atmosférica en la transmisión e incidencia de la nueva enfermedad COVID19? *Revista Diecisiete: Investigación Interdisciplinar para los Objetivos de Desarrollo Sostenible*, (3), 43-54. Gil, C. L., Martínez, G. S., & Jiménez, J. D. (2020). ¿Influyen el clima y la contaminación atmosférica en la transmisión e incidencia de la nueva enfermedad COVID19? *Revista Diecisiete: Investigación Interdisciplinar para los Objetivos de Desarrollo Sostenible*, (3), 43-54.

Gore, E. (2006). *Aprendizaje y organización: una lectura educativa de teorías de la organización*. Ediciones Granica. Gore, E. (2006). *Aprendizaje y organización: una lectura educativa de teorías de la organización*. Ediciones Granica.

Guerrero, J.J., y Verjel, R.D. (2010). *Causas de huecos de tensión: análisis de propagación*. Guerrero, J.J., y Verjel, R.D. (2010). *Causas de huecos de tensión: análisis de propagación*.

Guillín Estrada, W. (2022). *Viabilidad técnica de la sustitución parcial con gas de síntesis enriquecido con hidrógeno en motores diésel como alternativa en la producción de energía eléctrica en zonas rurales del Departamento del Atlántico*. [Tesis de Maestría, Universidad del Norte]. <http://manglar.uninorte.edu.co/flexpaper/handle/10584/10835/1143254596.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=1> Guillín Estrada, W. (2022). *Viabilidad técnica de la sustitución parcial con gas de síntesis enriquecido con hidrógeno en motores diésel como*

alternativa en la producción de energía eléctrica en zonas rurales del Departamento del Atlántico. [Tesis de Maestría, Universidad del Norte].
<http://manglar.uninorte.edu.co/flexpaper/handle/10584/10835/1143254596.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=1>

Gutiérrez, M. S. (2012). Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos. TMVG0409: Mantenimiento del motor y sus sistemas auxiliares. IC Editorial. Gutiérrez, M. S. (2012). Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos. TMVG0409: Mantenimiento del motor y sus sistemas auxiliares. IC Editorial.

Laidler, K. (2018). Historia de la electrólisis. Educación Química, 1(3), 128-132. Laidler, K. (2018). Historia de la electrólisis. Educación Química, 1(3), 128-132.

Lema, I. I. (2002). El cambio climático y la salud humana. Gaceta ecológica, (65), 24-42. Lema, I. I. (2002). El cambio climático y la salud humana. Gaceta ecológica, (65), 24-42.

Ley 1715 de 2014 (2014 Mayo 13). Congreso de Colombia. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Ley 1715 de 2014 (2014 Mayo 13). Congreso de Colombia. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.

Ley 1819 de 2016. (2016, diciembre 29). Congreso de Colombia. Impuesto sobre la renta de personas naturales. Ley 1819 de 2016. (2016, diciembre 29). Congreso de Colombia. Impuesto sobre la renta de personas naturales.

Linares, J., y Moratilla B. (2007) Origen del hidrógeno producido en la actualidad [imagen]. El hidrógeno y la energía. Universidad Pontificia Comillas. Linares, J., y Moratilla B. (2007) Origen del hidrógeno producido en la actualidad [imagen]. El hidrógeno y la energía. Universidad Pontificia Comillas.

- López Parra, M., González Navarro, N., Osobampo, S., Cano, A., Gálvez Chang, R. (2008). Estudio Técnico.... Elemento indispensable en la evaluación de proyectos de inversión. <https://www.itson.mx/publicaciones/pacioli/documents/no56/estudiotecnico.pdf> López Parra, M., González Navarro, N., Osobampo, S., Cano, A., Gálvez Chang, R. (2008). Estudio Técnico.... Elemento indispensable en la evaluación de proyectos de inversión. <https://www.itson.mx/publicaciones/pacioli/documents/no56/estudiotecnico.pdf>
- Méndez, R. (2004). Formulación y evaluación de proyectos. Quebecor World. Méndez, R. (2004). Formulación y evaluación de proyectos. Quebecor World.
- Méndez, R. (2004). Formulación y evaluación de proyectos. Quebecor World. Méndez, R. (2004). Formulación y evaluación de proyectos. Quebecor World.
- Ministerio de Amambiente. (s.f.). Principales preguntas frente al impuesto nacional al carbono y la solicitud de no causación por carbono neutralidad. <https://www.andi.com.co/Uploads/ABC%20del%20impuesto%20al%20carbono.pdf>
- Ministerio de Amambiente. (s.f.). Principales preguntas frente al impuesto nacional al carbono y la solicitud de no causación por carbono neutralidad. <https://www.andi.com.co/Uploads/ABC%20del%20impuesto%20al%20carbono.pdf>

9. Anexos

ANEXO 1 Inventario de motores recíprocos de generación de electricidad.

Item	Ubicación	Capacidad	Sector	Combustible	Uso	Usuario	Inversión	Propietario Equipos	Observaciones
1	San Andrés	24,0 MW	Generación Red	Diésel	Zona No Interconectada	San Andrés	Recursos Propios	Sopesa	Combustible llevado desde Territorio Continental
2	Providencia	5,0 MW	Generación Red	Diésel	Zona No Interconectada	Providencia	Recursos Propios	Sopesa	Combustible llevado desde Territorio Continental
3	Cari Cari	11,0 MW	Petrolero	Low Gas	AutoGeneración	OXY	PPA	Genser Power	
4	Casanare	19,9 MW	Generación Red	Gas Natural	Generación	TermoMechero I	Recursos Propios	Termomechero	
5	Casanare	19,9 MW	Generación Red	Gas Natural	Generación	TermoMechero II	Recursos Propios	Termomechero	
6	Santa Marta	93,0 MW	Generación Red	Gas Natural	Generación	Termonorte	Recursos Propios	Termonorte	Posibilidad Uso Combustible líquido
7	Sahagún	200,0 MW	Generación Red	Gas Natural	Generación	Tesorito	Recursos Propios	Tesorito	
8	Montelíbano	18,6 MW	Industria	Gas Natural	AutoGeneración	Cerromatoso	PPA	AXIA	
9	Barranquilla	6,5 MW	Industria	Gas Natural	AutoGeneración	Unibol	PPA	AXIA	
10	Medellín	6,5 MW	Industria	Gas Natural	AutoGeneración	Productos Familia	PPA	AXIA	
11	Monterrey	22,0 MW	Petrolero	Gas Natural	AutoGeneración	Geopark	PPA	SurEnergy	Adicional hay equipos con Turbina
12	Barranquilla	9,0 MW	Industria	Gas Natural	AutoGeneración	AAA	PPA	e2	
13	Barranquilla	5,3 MW	Industria	Gas Natural	AutoGeneración	Farmacápsulas	PPA	e2	
14	Barranquilla	2,0 MW	Industria	Gas Natural	AutoGeneración	Procaps	PPA	e2	
15	Barranquilla	2,5 MW	Industria	Gas Natural	AutoGeneración	Aeropuerto Barranquilla	PPA	e2	
16	Bogotá	2,0 MW	Industria	Gas Natural	AutoGeneración	Pastas Doria	Recursos Propios		
17	Barranquilla	2,0 MW	Industria	Gas Natural	AutoGeneración	Litoplas	PPA	e2	
18	Barranquilla	5,3 MW	Industria	Gas Natural	AutoGeneración	Canon	PPA	e2	
19	Barranquilla	8,0 MW	Industria	Gas Natural	AutoGeneración	Tecnoglass	PPA	MGM	Proceso de instalación
21	Costayaco	12,0 MW	Petrolero	Low Gas	Generación	Gran Tierra	PPA	SoEnergy	
22	Chiquillo P-135	30,0 MW	Petrolero	Crude Oil	AutoGeneración	Ocensa	PPA	SoEnergy	
23	Barranquilla	2,0 MW	Petrolero	Gas Natural	AutoGeneración	Corpacero	PPA	SoEnergy	
24	Putumayo	17,0 MW	Petrolero	Low Gas	AutoGeneración	Gran Tierra	PPA	SoEnergy	
25	Providencia	10,0 MW	Petrolero	Diésel	AutoGeneración	Gran Tierra	PPA	SoEnergy	
26	Rubiales	13,0 MW	Petrolero	Diésel	AutoGeneración	Pacific Rubiales	PPA	SoEnergy	
27	Rubiales	134,0 MW	Petrolero	Diésel	AutoGeneración	Pacific Rubiales	PPA	SoEnergy	
28	Rubiales	4,2 MW	Petrolero	Diésel	AutoGeneración	Pacific Rubiales	PPA	SoEnergy	
29	Meta	15,0 MW	Petrolero	Low Gas	AutoGeneración	Gran Tierra	PPA	SoEnergy	
30	Rubiales	7,5 MW	Petrolero	Crude Oil	AutoGeneración	Pacific Rubiales	PPA	SoEnergy	
31	Moquetá	2,0 MW	Petrolero	Gas Natural	AutoGeneración	Gran Tierra	PPA	SoEnergy	
32	Kona	7,0 MW	Petrolero	Diésel	AutoGeneración	Párex	PPA	SoEnergy	
33	kitaro	3,6 MW	Petrolero	Gas Natural	AutoGeneración	Párex	PPA	SoEnergy	
34	Guando	20,0 MW	Petrolero	Gas Natural	AutoGeneración		PPA	SoEnergy	
35	Meta	15,0 MW	Petrolero	Crude Oil	AutoGeneración	Metapetroleum	PPA	SoEnergy	
36	Meta	22,5 MW	Petrolero	Crude Oil	AutoGeneración	EBR	PPA	SoEnergy	
37	Meta	5,0 MW	Petrolero	Crude Oil	AutoGeneración	Ecopetrol	PPA	SoEnergy	
38	Miraflores	12,0 MW	Petrolero	Crude Oil	AutoGeneración	Ocensa	PPA	SoEnergy	
39	Meta	22,5 MW	Petrolero	Crude Oil	AutoGeneración	Metapetroleum	PPA	SoEnergy	
40	Copey	5,6 MW	Petrolero	Diésel	AutoGeneración	Ecopetrol	PPA	SoEnergy	
41	Cusiana	4,2 MW	Petrolero	Diésel	AutoGeneración	British Petroleum Company	PPA	SoEnergy	
42	Casanare	3,9 MW	Petrolero	Diésel	AutoGeneración	Petróleos Sudamericanos	PPA	SoEnergy	
43	Casanare	2,5 MW	Industria	Diésel	AutoGeneración	C&C	PPA	SoEnergy	
44	Cartagena	5,0 MW	Industria	Gas Natural	AutoGeneración	Cémex	PPA	SoEnergy	
45	Barranquilla	5,0 MW	Petrolero	Diésel	AutoGeneración	Erazo Valencia	PPA	SoEnergy	
46	Meta	56,5 MW	Petrolero	Crude Oil	AutoGeneración	Metapetroleum	PPA	SoEnergy	
47	Meta	27,6 MW	Petrolero	Crude Oil	AutoGeneración	Metapetroleum	PPA	SoEnergy	
48	Casanare	40,0 MW	Petrolero	Diésel	AutoGeneración		PPA	Aggreko	
49	Meta	25,0 MW	Petrolero	Diésel	AutoGeneración		PPA	Aggreko	
50	Putumayo	10,0 MW	Petrolero	Diésel	AutoGeneración		PPA	Aggreko	
51	Casanare	10,0 MW	Petrolero	Gas Natural	AutoGeneración		PPA	Aggreko	
52	Meta	25,0 MW	Petrolero	Gas Natural	AutoGeneración		PPA	Aggreko	
53	Putumayo	40,0 MW	Petrolero	Gas Natural	AutoGeneración		PPA	Aggreko	
54	Cartagena	45,0 MW	Industrial	Gas Natural	AutoGeneración	Cementos Argos	Recursos Propios	Cementos Argos	
55	Tolú	16,0 MW	Industrial	Gas Natural	AutoGeneración	Cementos Argos	Recursos Propios	Cementos Argos	
56	Tolima	40,0 MW	Industrial	Gas Natural	AutoGeneración	Cemex	Recursos Propios		
57	Cauca	10,0 MW	Industrial	Gas Natural	AutoGeneración	Kymerli	Recursos Propios		
58	Barranquilla	5,3 MW	Industrial	Gas Natural	AutoGeneración	Zona Franca Puerto Brisa	Recursos Propios		
59	Barranquilla	5,3 MW	Industrial	Gas Natural	AutoGeneración	Corpipe	Recursos Propios		

60	Barranquilla	10,5 MW	Industrial	Gas Natural	AutoGeneración	Zonagen	PPA	Promisol
61	Barranquilla	6,0 MW	Industrial	Gas Natural	AutoGeneración	Industrias Cannon	PPA	e2
62	Casanare	2,0 MW	Industrial	Gas Natural	AutoGeneración	Canacol	PPA	SurEnergy
63	Casanare	6,0 MW	Petrolera	Diésel	AutoGeneración	Parex	PPA	Power Group
64	Meta	11,0 MW	Petrolera	Diésel	AutoGeneración	Parex	PPA	Power Group
65	Meta	32,0 MW	Petrolera	Diésel	AutoGeneración	Parex	PPA	Power Group
66	Meta	13,0 MW	Petrolera	Diésel	AutoGeneración	Parex	PPA	Power Group
67	Meta	14,0 MW	Petrolera	Diésel	AutoGeneración	VETRA	PPA	Power Group
68	Putumayo	14,0 MW	Petrolera	Gas Natural	AutoGeneración	Parex	PPA	Power Group
69	Meta	6,0 MW	Petrolera	Diésel	AutoGeneración	Pacific Rubiales	PPA	Power Group
70	Meta	74,0 MW	Petrolera	Diésel	AutoGeneración	Pacific Rubiales	PPA	Power Group
71	Meta	9,0 MW	Petrolera	Diésel	AutoGeneración	TECPETROL	PPA	Power Group
72	Meta	16,0 MW	Petrolera	Gas Natural	AutoGeneración	Parex	PPA	Power Group
73	Meta	3,5 MW	Petrolera	Gas Natural	AutoGeneración	Ecopetrol	PPA	COPOWER
74	Casanare	6,0 MW	Petrolera	Gas Natural	AutoGeneración	PAREX	PPA	COPOWER
75	Casanare	12,0 MW	Petrolera	Gas Natural	AutoGeneración	OXY	PPA	COPOWER
76	Meta	3,0 MW	Petrolera	Gas Natural	AutoGeneración	Ecopetrol	PPA	COPOWER
77	Meta	6,0 MW	Petrolera	Gas Natural	AutoGeneración	Ecopetrol	PPA	COPOWER
78	Santander	1,0 MW	Petrolera	Gas Natural	AutoGeneración	Petróleos del Norte	PPA	COPOWER
79	Santander	1,5 MW	Petrolera	Gas Natural	AutoGeneración	ECOPETROL	PPA	COPOWER
80	Santander	5,0 MW	Petrolera	Gas Natural	AutoGeneración	ECOPETROL	PPA	COPOWER

Aproximación al sistema de generación en Colombia con motores reciprocantes. Fuente:

propia