

**Uso de energías alternativas en taladros de perforación de pozos de  
petróleo y gas en Colombia**

Diego Hernán Orozco Rojas

Daniel Arturo Plaza Castilla

José Orlando Vargas Rivera

Trabajo de grado

Asesor: María Cecilia Henao Arango

MBA, PMP<sup>®</sup>, DCEA

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN

MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN - MBA

BOGOTÁ

2025

## Índice de contenido

RESUMEN.....	5
INTRODUCCIÓN.....	7
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
JUSTIFICACIÓN.....	10
OBJETIVOS.....	11
Objetivo general .....	11
Objetivos específicos.....	11
MARCO TEÓRICO .....	12
Inicios de la industria petrolera en el mundo .....	12
Áreas de la industria de los hidrocarburos .....	12
Upstream: exploración, extracción y producción.....	12
Midstream: transporte y almacenamiento .....	13
Downstream: refinación y distribución .....	13
Perforación de pozos de petróleo y gas.....	13
Torre de perforación.....	13
Lodos de perforación.....	15
Geología y geomecánica de las rocas.....	15
Control y tratamiento de cortes y fluidos de perforación.....	15
Energías verdes alternativas .....	16
Energía hidráulica.....	16
Energía solar .....	16
Energía eólica .....	16
Energía geotérmica.....	16
Energía de la biomasa.....	17

Energía del mar .....	17
Beneficios del uso de energías alternativas .....	17
Marco legal en Colombia .....	17
Beneficios tributarios .....	17
Oportunidades para la implementación .....	18
DISEÑO METODOLÓGICO .....	21
DESARROLLO DEL TRABAJO .....	25
RESULTADOS .....	28
Viabilidad económica de la implementación de energías limpias .....	30
Viabilidad ambiental de la implementación de energías limpias .....	32
Reducción de emisiones y huella de carbono por motores híbridos .....	34
CONCLUSIONES.....	37
REFERENCIAS .....	38
ANEXOS.....	42

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Tipos de taladro de perforación.....	14
<b>Tabla 2.</b> Fuentes de alimentación energética.....	14
<b>Tabla 3.</b> Consumo de combustible por tipo de taladro de perforación.....	14
<b>Tabla 4.</b> Comparación de energías limpias (ventajas y limitaciones) .....	28
<b>Tabla 5.</b> Factores de emisión directos de combustibles .....	32
<b>Tabla 6.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> por tipo de taladro de perforación .....	33

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Fases de desarrollo de la metodología cualitativa .....	21
<b>Figura 2.</b> Ahorro de combustible y emisiones de CO <sub>2</sub> en operaciones con taladros de Nabors	34
<b>Figura 3.</b> Reducción de consumo de diésel con la utilización de hidrógeno para procesos de combustión .....	35
<b>Figura 4.</b> Reducción de consumo de diésel y emisiones de CO <sub>2</sub> a partir de la utilización de gas natural.....	36

## RESUMEN

La industria petrolera enfrenta el reto de avanzar hacia operaciones más eficientes y sostenibles en el marco de la transición energética global. Los taladros de perforación, tanto de tierra firme (*on-shore*) como de costa afuera (*off-shore*), presentan altas demandas energéticas. Tradicionalmente, estas se han cubierto con sistemas alimentados con diésel, que implican elevados costos operativos y significativas emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Por eso, la integración de fuentes renovables —como solar, fotovoltaica, eólica, hidrógeno verde, sistemas de almacenamiento de energía en baterías (*Battery Energy Storage Systems* [BESS]) y microrredes híbridas— representa una oportunidad estratégica para reducir el consumo de diésel, optimizar costos y disminuir la huella ambiental sin comprometer la confiabilidad operacional. La evidencia internacional (Arent et al., enero de 2019; Saber et al., 2019) muestra que, en el corto y mediano plazo, el esquema más viable es el híbrido renovable-diésel, que cubre la base de carga con energías limpias y utiliza los generadores diésel como respaldo para picos y contingencias. Este enfoque requiere analizar los perfiles de carga hora a hora, el consumo de combustible y las condiciones operativas de cada sitio. En Colombia, la disponibilidad de recursos solares y eólicos, junto con políticas de incentivo (Ley 1715 de 2014, *Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional*) y el interés de actores como Ecopetrol y Celsia, crea un entorno favorable para proyectos piloto de electrificación de taladros. Sin embargo, persisten desafíos: altos costos de capital (CAPEX), tiempos de retorno, complejidades regulatorias y consideraciones logísticas y ambientales, especialmente en regiones como La Guajira.

*Palabras clave:* Perforación pozos de petróleo y gas, combustibles fósiles, reducción huella de carbono, motores híbridos, energías renovables, optimización de beneficios ambientales

## ABSTRACT

The oil industry faces the challenge of advancing toward more efficient and sustainable operations within the context of the global energy transition. Drilling rigs - both onshore and offshore - have high energy demands. Traditionally, these demands have been met by diesel-powered systems, which entail high operating costs and significant carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions. For this reason, the integration of renewable energy sources - such as photovoltaic solar systems, wind power, green hydrogen, battery energy storage systems (BESS), and hybrid microgrids - represents a strategic opportunity to reduce diesel consumption, optimize costs, and decrease the environmental footprint without compromising operational reliability. International evidence (Arent et al., enero de 2019; Saber et al., 2019) shows that, in the short and medium term, the most feasible configuration is the renewable-diesel hybrid scheme, which supplies the base load with clean energy and uses diesel generators as backup for peak demand and contingencies. This approach requires analyzing hour-by-hour load profiles, fuel consumption, and the operational conditions of each site. In Colombia, the availability of solar and wind resources, along with incentive policies (Law 1715 of 2014, which regulates the integration of non-conventional renewable energies into the National Energy System) and the interest of key actors such as Ecopetrol and Celsia, create a favorable environment for pilot electrification projects in drilling operations. However, challenges persist: high capital expenditures (CAPEX), payback periods, regulatory complexities, and logistical and environmental considerations, especially in regions such as La Guajira.

*Keywords:* Oil and gas drilling wells, fossil fuels, carbon footprint reduction, hybrid engines, renewable energies, environmental benefits optimization.

## INTRODUCCIÓN

La transición energética en sectores industriales intensivos en combustibles fósiles ha impulsado la investigación sobre la integración de fuentes renovables en operaciones de extracción de hidrocarburos. En la industria petrolera, los taladros de perforación tanto *on-shore* como *off-shore* presentan un alto consumo energético, típicamente abastecido por grupos electrógenos a diésel. La electrificación parcial o total mediante fuentes renovables (solar o eólica) combinadas con sistemas de almacenamiento (baterías) y *microgrids* híbridos (Settemsdal, agosto de 2021) ofrece el potencial de reducir consumo de diésel, emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y costos operativos a mediano plazo.

Los taladros petroleros presentan demandas variables (como picos altos durante operaciones de levantamiento y tracción) y demandas base por sistemas auxiliares (bombas de lodo, sistemas de control, climatización de campamentos, etc.). Para dimensionar cualquier solución renovable es crucial disponer de perfiles de potencia hora a hora, consumo específico y horas operativas. Estudios de modelado (simulaciones MATLAB) usan esos perfiles para evaluar la potencia de producción, el ahorro de costos, la mitigación de la contaminación y la mejora de la calidad de la energía (Engel Cox & Newes, 24 de octubre de 2019).

Algunas tecnologías renovables aplicables a taladros de perforación de hidrocarburos son solar fotovoltaica (PV), eólica (*on-shore* y *offshore*, almacenamiento en baterías BESS), *microgrids* híbridas e hidrógeno/combustibles alternativos (Southwest Electronic Energy Group, 2016). Sin embargo, el desarrollo y aplicación de energías limpias a equipos de combustión interna en reemplazo de combustibles fósiles se ven limitadas por aspectos como decisiones gubernamentales, altas inversiones iniciales, regulaciones, adquisición de permisos y licencias ambientales para la perforación. Estos limitantes se podrán mitigar cuando haya ayudas y apoyo por parte del Gobierno para optimizar la manera de perforar pozos de petróleo y gas en Colombia.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, las operaciones de perforación de pozos de petróleo y gas se desarrollan a partir de la utilización de un taladro. La combustión necesaria para su funcionamiento se genera con combustibles fósiles como el diésel, uno de los mayores aportantes a la generación de GEI que afectan el medio ambiente e implican un impacto negativo en la capa de ozono.

La transición energética es una realidad que se está aplicando a todas las industrias en el mundo; sin embargo, es importante enfatizar en que el primer paso consiste en un análisis o investigación para definir los métodos de energías alternativas. No debería ser posible aplicar una fuente de energía alternativa sin tener el conocimiento previo de lo que existe en el mundo y lo que se puede hacer con ese recurso; por ejemplo, no es conveniente realizar una alta inversión de paneles solares o molinos de energía eólica sin saber si ese recurso va a aportar, o no, la misma eficiencia energética que un combustible fósil.

Por tal motivo, se plantea una problemática enfocada en la industria de los hidrocarburos (específicamente en el área de perforación de pozos de petróleo y gas) para analizar las diferentes tecnologías verdes y su posible aplicación a los procesos de perforación. Con esto se busca definir opciones de migración de energías fósiles a energías renovables de una manera transicional; es decir, aplicándolas a los procesos actuales, para evaluar su eficiencia antes de invertir en el nuevo recurso.

En Colombia, las energías alternativas con bajas emisiones de gas, como la eólica o la solar, son de alta calidad; pero a la fecha tienen una participación mínima en la matriz de la capacidad eléctrica del país. Esto se debe principalmente a los altos costos de inversión necesarios para implementar estas tecnologías, las ubicaciones específicas con condiciones óptimas

(presencia constante de viento y radiación solar) y las amplias extensiones de terreno requeridas para su montaje e instalación.

La exploración y producción de los pozos de petróleo y gas en la actualidad se encuentran en lugares bastante remotos, donde se debe acudir a grupos electrógenos cuyo combustible es el diésel, que depende de los combustibles fósiles. Frente a este escenario, con la transición hacia el uso de energías limpias no solo se estaría cumpliendo con regulaciones ambientales, sino que se podría mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos a largo plazo. Estos cambios, aunque desafiantes, representan un paso fundamental hacia la sostenibilidad y la competitividad de las empresas en un mercado global cada vez más consciente del impacto ambiental.

## JUSTIFICACIÓN

El enfoque principal para el desarrollo de este trabajo de grado es la investigación de las diferentes fuentes de energías alternativas y el análisis de su aplicación a operaciones de perforación de pozos de petróleo y gas. Con tal fin, se evidencian (de manera preliminar) las diferentes fuentes de energía: eólica, solar, geotermia, hidrógeno verde y biodiesel, entre otros.

Para un análisis detallado de la energía que podría ser más eficaz en la ecuación entre mayor eficiencia y menores emisiones de gases de efecto invernadero —donde el principal es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)—, considerando las inversiones necesarias, se presenta un breve estudio de las energías renovables, algunas de las cuales ya forman parte de la matriz de generación de nuestro país. Asimismo, se evalúan las opciones aplicables a generadores industriales (como los utilizados en operaciones de perforación) y que sean aptas para reemplazar el diésel inicialmente. Esta sustitución ayudará a entender el beneficio de la utilización de las energías alternativas sin afectación directa a la eficiencia de los procesos.

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Documentar la innovación de energías alternativas para proponer su uso en taladros de perforación

### Objetivos específicos

- Describir las energías alternativas disponibles en Colombia para uso en equipos de combustión interna
- Comparar la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) usando motores híbridos vs. combustibles fósiles
- Determinar el beneficio económico y ambiental del uso de energías alternativas vs. combustibles fósiles en operaciones con taladros de perforación

## MARCO TEÓRICO

### **Inicios de la industria petrolera en el mundo**

Las raíces de la industria del petróleo se documentan desde el año 1859, cuando un obrero ferroviario de nombre Edwin Drake perforó el primer pozo de petróleo en Pensilvania Estados Unidos con una profundidad total de 21 metros. Allí, Drake pasó mucho tiempo explorando y enfrentando numerosos y graves contratiempos, como la hostilidad de la población local, problemas financieros e, incluso, incendios. El descubrimiento de la extracción de petróleo fue posible gracias a las innovadoras técnicas de perforación para la época, que marcaron un punto clave en la historia de esta actividad en Estados Unidos.

Aunque el pozo de Edwin Drake produjo varios beneficios, también desencadenó un auge de extracción de hidrocarburos. El rápido crecimiento reflejó el fenómeno de la *fiebre del oro* vivida en el oeste una década antes y que atrajo a empresarios deseosos de sacar provecho de la recién descubierta industria petrolera (Lastiri, agosto de 2023).

### **Áreas de la industria de los hidrocarburos**

El proceso de extracción del petróleo tiene actividades específicas que comienzan desde la exploración hasta la distribución y se dividen en las siguientes tres fases generales (Ericson et al., enero de 2019).

#### ***Upstream: exploración, extracción y producción***

El proceso de exploración, como fase inicial, busca evaluar e identificar la presencia de hidrocarburos en los yacimientos que se encuentran en el subsuelo antes de proceder a la extracción del hidrocarburo. Se perforan pozos con el fin de crear una comunicación entre un punto en la superficie y el yacimiento que contiene los hidrocarburos. Por último, en la etapa del *upstream* se busca obtenerlos, sacarlos a la superficie y transferirlos a la fase de *midstream*.

***Midstream: transporte y almacenamiento***

Una vez obtenido el hidrocarburo en la superficie, comienza su proceso de transporte a través de oleoductos, gasoductos, camiones y buques cisterna, entre otros. El objetivo es que lleguen al punto donde se almacenan para su posterior tratamiento.

***Downstream: refinación y distribución***

En esta fase se realiza la refinación del petróleo. Se trata de un proceso industrial que convierte el petróleo crudo en productos útiles y comercializables, tales como gasolina, diésel, queroseno, asfaltos, productos, químicos, etc. Posteriormente, se realiza la respectiva distribución de estos derivados, según la necesidad asociada.

**Perforación de pozos de petróleo y gas**

La perforación de pozos de petróleo y gas es un proceso que consiste en generar una comunicación entre un punto en superficie y el yacimiento que contiene los hidrocarburos en el subsuelo. Este proceso busca llegar de una manera segura hasta el yacimiento, donde se deben perforar diferentes formaciones geológicas con diversas propiedades fisicoquímicas. Para lograr la ejecución de los pozos de petróleo es necesario contar con diferentes equipos y subprocesos. Los principales se explican a continuación.

***Torre de perforación***

Es una máquina especializada para crear pozos en el subsuelo y extraer los hidrocarburos presentes en el yacimiento. La tabla 1 muestra los tipos de taladros de perforación: terrestres y marinos (plataformas fijas, autoelevables, semisumergibles, buques autopropulsados):

**Tabla 1.***Tipos de taladro de perforación*

<b>Tipo de taladro</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Características</b>
<b>Terrestre</b>	Tierra	Alta capacidad y adaptabilidad a diferentes tipos de pozos	Estructura fija
<b>Marino</b>	Aguas costa afuera	Alta capacidad y adaptabilidad a diferentes tipos de pozos	Estructura fija
<b>Marino autoelevable</b>	Aguas de baja profundidad	Menor costo en comparación con otras plataformas	Plataforma con extensiones retráctiles
<b>Marino autopropulsado</b>	Aguas de alta profundidad	Aplicado para exploración en altamar	Buque autopropulsado con torre de perforación
<b>Marino semisumergible</b>	Aguas de alta profundidad	Mayor estabilidad	Flota parcialmente sumergida

*Nota.* Elaboración propia a partir de *Classification of Drilling Systems*, por ABS, 2021, Spring.

La tabla 2 muestra las fuentes de alimentación energética: mecánica, eléctrico/diésel, hidráulica, híbrida, totalmente eléctrica:

**Tabla 2.***Fuentes de alimentación energética*

<b>Sistema</b>	<b>Fuente principal</b>
Mecánico	Motores diésel con embragues, ejes y poleas
Eléctrico/diésel	Generador diésel, motor eléctrico
Hidráulico	Motor diesel/eléctrico con fluidos presurizados
Híbrido	Diesel más baterías (almacenamiento)

*Nota.* Elaboración propia a partir de *Drilling Rigs*, por Ipieca, junio de 2023.

La tabla 3 presenta el consumo promedio de combustible de cada equipo de perforación:

**Tabla 3.***Consumo de combustible por tipo de taladro de perforación*

<b>Tipo de taladro</b>	<b>Consumo estimado de diésel (L/día)</b>
<b>Terrestre</b>	4000 - 6000
<b>Marino fijo</b>	15 000 – 32 000
<b>Marino autoelevable</b>	10 000 – 20 000
<b>Marino de buque autopropulsado</b>	30 000 – 45 000
<b>Marino semisumergible</b>	25 000 – 40 000

*Nota.* Elaboración propia a partir de Ipieca (junio de 2023), Seadrill (2022) y SIA (marzo de 2023).

### ***Lodos de perforación***

Consisten en los fluidos a base de agua o aceite que sirven para acarrear todos los cortes que estén siendo perforados hacia la superficie. Cubren otras funciones cómo mantener presiones estabilizadas con las formaciones geológicas perforadas, lubricación de herramientas y transmisión de información, entre otros.

### ***Geología y geomecánica de las rocas***

La geología se encarga de la caracterización de las formaciones perforadas y la identificación litológica de cada una de ellas. Los estudios geomecánicos de las rocas son aquellos que se realizan para determinar sus propiedades mecánicas y determinar la interacción entre la roca perforada y el fluido de perforación. De esa manera se evitan inconvenientes como colapsos de las paredes de hueco perforado y atascamientos de la tubería de perforación, entre otros.

### ***Control y tratamiento de cortes y fluidos de perforación***

Una vez recibidos los sólidos perforados, estos deben ser tratados para separar líquidos de sólidos y disponerlos a conformidad del cumplimiento con las normas ambientales vigentes de cada país.

## **Energías verdes alternativas**

A continuación, se exponen las energías alternativas que actualmente han tenido un mayor desarrollo alrededor del mundo y podrán tener una aplicación para reemplazar los combustibles fósiles (Saber, 2019).

### ***Energía hidráulica***

La energía hidráulica, también llamada energía hidroeléctrica, aprovecha la energía mecánica del agua en movimiento y la transforma en energía eléctrica por medio de las centrales hidroeléctricas. Estas, a su vez, pueden ser de varios tipos: centrales hidroeléctricas de embalse, de agua fluyente, reversibles o de bombeo.

### ***Energía solar***

Se obtiene a partir de la radiación procedente del sol y puede ser de dos tipos: energía solar fotovoltaica (aprovecha la luz del sol y la transforma en electricidad mediante el uso de paneles solares fotovoltaicos) y energía solar térmica (aprovecha el calor por medio de colectores térmicos que absorben y concentran dicho calor).

### ***Energía eólica***

Es la que se obtiene del viento. Por medio de un aerogenerador eólico, se aprovecha la energía cinética de las masas de aire en movimiento y se transforma en electricidad. Según la ubicación de los parques eólicos, existen dos tipos de energía eólica: terrestre u *on-shore* y marina u *off-shore*.

### ***Energía geotérmica***

La energía geotérmica surge del aprovechamiento del calor procedente del interior de nuestro planeta. Este recurso energético está presente en cualquier geografía, pero solo se puede aprovechar en localizaciones con unas condiciones físicas concretas; en las más favorables se manifiesta de forma natural mediante fuentes termales, géiseres o volcanes.

### ***Energía de la biomasa***

La biomasa es toda materia orgánica susceptible de ser utilizada como fuente de energía (bioenergía) de múltiples maneras. Por ejemplo, gracias a un proceso de biodegradación producido por microorganismos, se puede obtener biogás; o, mediante el uso de los llamados cultivos energéticos (cultivos no destinados a la alimentación), los biocombustibles, cuya principal característica es ser neutros en carbono.

### ***Energía del mar***

La energía marina, a veces también llamada energía de los océanos, puede ser de varios tipos. Los principales son: energía mareomotriz, que aprovecha la subida y la bajada de las mareas; y energía undimotriz, que aprovecha el movimiento procedente de las olas.

## **Beneficios del uso de energías alternativas**

### ***Marco legal en Colombia***

- **Ley 1715 de 2014:** Su objeto es promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía (principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional) mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Ley 697 de 2001:** Su objeto es establecer el uso racional y eficiente de la energía como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional. De igual manera, esta ley busca asegurar el abastecimiento energético, promover la competitividad de la economía colombiana, proteger al consumidor y fomentar el uso de energías alternativas

### ***Beneficios tributarios***

Empresas que usen energías alternativas pueden obtener beneficios tributarios como:

- **Deducción del impuesto sobre la renta:** Las empresas pueden deducir hasta el 50% del valor de la inversión en proyectos de energía renovable del impuesto sobre la renta. Esta deducción se puede aplicar en un periodo de hasta 15 años.
- **Exención del IVA:** Las empresas pueden estar exentas del IVA sobre los equipos y materiales necesarios para la instalación de proyectos de energía solar.

Para acceder a los beneficios tributarios, las organizaciones deben presentar una solicitud a la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) que debe incluir todos los documentos que se describen en el artículo 4 de la Resolución UPME 203 de 2020 para FNCE (fuentes no convencionales de energía) y en el artículo 3 de la Resolución UPME 196 de 2020 para GEE (gestión eficiente de energía). Los tipos de proyectos FNCE donde pueden aplicar beneficios tributarios son: biomasa, eólica, PCH, solar y geotérmico.

### ***Oportunidades para la implementación***

- **Reducción de costos operativos:** El uso de energías renovables como hidrógeno, biodiesel y energía fotovoltaica reduce la dependencia de combustibles fósiles, lo que las hace más asequibles y competitivas a nivel global. Se espera que, para 2030, el 65% del suministro eléctrico mundial provenga de fuentes renovables.
- **Mejora de eficiencia operacional:** El uso de tecnologías avanzadas de perforación optimiza las operaciones y tiempos no productivos, al mismo tiempo reduce el uso de combustibles en la operación. La adopción de energías renovables reduce la dependencia de los combustibles fósiles importados, lo que puede aumentar la seguridad energética de un país y disminuir su vulnerabilidad a las fluctuaciones de precios y a las tensiones geopolíticas.
- **Políticas ambientales:** Los gobiernos están implementando políticas más estrictas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Las energías renovables

juegan un papel crucial en el cumplimiento de estos objetivos ambientales y en la lucha contra el cambio climático. La reducción de la huella de carbono al utilizar energías renovables trae consigo alivios tributarios e incremento en la reputación de las compañías.

- **Desarrollo económico y empleo:** La transición hacia energías limpias puede aportar al desarrollo económico y creación de empleo en diversos sectores, como la manufactura y los combustibles fósiles, además de la instalación de facilidades de tecnologías renovables. La Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2025) prevé que la transición hacia emisiones cero netas creará millones de nuevos puestos de trabajo en el sector energético y relacionado.
- **Inversiones y subvenciones:** Los gobiernos están destinando fondos significativos a la investigación y desarrollo de tecnologías de energía limpia, así como a subvenciones para fomentar su adopción. Esto puede influir en las decisiones políticas y económicas a nivel nacional e internacional.
- **Relaciones internacionales:** La cooperación en proyectos de energía limpia fortalece las relaciones con entes internacionales y fomenta, a su vez, alianzas estratégicas entre varios países con objetivos en común en sostenibilidad y reducción de emisiones. Las energías renovables están disponibles en la mayoría de los países, lo que disminuye la dependencia de importaciones de combustibles fósiles y la vulnerabilidad a crisis geopolíticas. La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) estima que el 90 % de la electricidad mundial podría provenir de fuentes renovables para 2050 (Ude Cataluña, s.f.) .
- **Beneficios para la salud:** La transición a energías limpias puede mejorar la calidad del aire y reducir las muertes relacionadas con la contaminación. La Organización

Mundial de la Salud (OMS) señala que el 99% de la población mundial respira aire de mala calidad, principalmente debido a la quema de combustibles fósiles (DW, 6 de abril de 2022).

En resumen, la adopción de energías alternativas no solo tiene beneficios ambientales y económicos, sino que también influye en la política energética, la seguridad nacional y las relaciones internacionales.

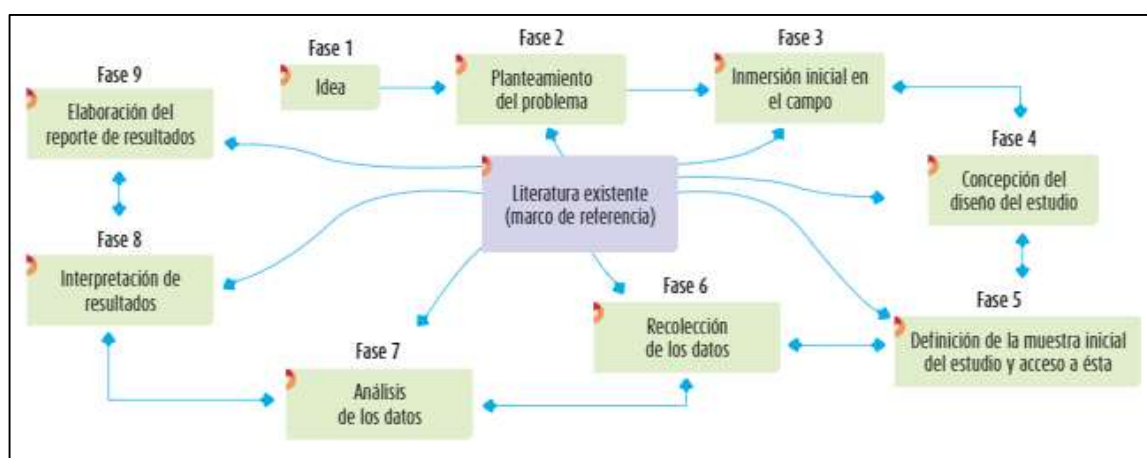
## DISEÑO METODOLÓGICO

Este trabajo de grado consiste en una investigación metodológica de tipo cualitativo que utiliza la recolección y análisis de datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevos interrogantes en el proceso de interpretación. El objetivo principal de la metodología cualitativa es examinar la forma como las personas perciben una temática en específico; estas personas generalmente tienen un conocimiento puntual del tema, lo que ayuda a recopilar diferentes fuentes de información para llegar a la solución de un problema.

El enfoque cualitativo cuenta con nueve fases, que comienzan con el rastreo bibliográfico y finalizan con los resultados de la investigación (Hernández Sampieri et al., 2014).

**Figura 1.**

*Fases de desarrollo de la metodología cualitativa*



*Nota.* Obtenido de *Metodología de la investigación* (6ª ed.), por Hernández Sampieri et al., 2014, McGraw-Hill.

Aunque este proceso tiene unos pasos con actividades específicas, no se limita a una única manera de cumplirlo: la literatura se puede ir revisando conforme se vaya avanzando, y es posible regresar a etapas previas para complementar los resultados con nuevos hallazgos que surjan. Lo

importante es conservar la coherencia a lo largo del desarrollo del objetivo que persigue la metodología.

Con base en lo expuesto anteriormente, se puede definir cada fase así:

- 1. Idea:** La investigación parte de la necesidad de identificar alternativas sostenibles para reducir tanto el consumo de diésel como las emisiones asociadas a las operaciones de perforación en la industria petrolera. La idea central es analizar, desde un enfoque cualitativo, cuáles son las fuentes de energía renovable más adecuadas (considerando la solar, eólica e hidrógeno verde) para su integración progresiva en taladros *on-shore* y *off-shore*, sin comprometer la confiabilidad ni la eficiencia operativa.
- 2. Planteamiento del problema:** En el contexto de la transición energética, la industria de perforación enfrenta el desafío de optimizar sus procesos mediante soluciones energéticas sostenibles. Sin embargo, existe escasa evidencia sobre la viabilidad técnica, económica y operativa de las diferentes fuentes renovables aplicadas a taladros. Por ello, la pregunta de investigación se formula así: ¿Cuáles son las fuentes renovables más adecuadas para complementar o sustituir los sistemas diésel en taladros de perforación, considerando su aplicabilidad técnica, eficiencia energética y condiciones operativas en Colombia?
- 3. Inmersión inicial en el campo:** Comprende una exploración preliminar del entorno operativo y técnico de los taladros, mediante revisión de proyectos piloto y entrevistas con ingenieros de perforación, especialistas en energías renovables y proveedores tecnológicos. Esta inmersión permite comprender los factores determinantes en la selección de fuentes renovables y las barreras existentes en la implementación.

- 4. Concepción del diseño del estudio:** El diseño es de tipo cualitativo, exploratorio y descriptivo. Se orienta a comprender percepciones, experiencias y criterios técnicos de los actores del sector frente al uso de energías renovables en taladros. Se emplean técnicas como entrevistas semiestructuradas, revisión documental de estudios previos y análisis comparativos de casos internacionales y nacionales.
- 5. Definición de la muestra inicial del estudio y acceso a esta:** La muestra es intencional y está conformada por expertos del sector energético y petrolero como ingenieros de perforación, especialistas en energía renovable, representantes de empresas operadoras y autoridades técnicas. El acceso se gestiona mediante contactos institucionales, redes profesionales y convenios de cooperación para garantizar la diversidad de perspectivas técnicas y regionales.
- 6. Recolección de los datos:** La información se obtiene a través de entrevistas en profundidad, revisión de informes técnicos y análisis de documentos regulatorios y académicos. Se emplea una guía de entrevista que permite explorar criterios de selección, experiencias de implementación, beneficios percibidos, desafíos y expectativas frente al uso de energías limpias en operaciones de perforación.
- 7. Análisis de los datos:** Se identifican categorías emergentes relacionadas con la factibilidad técnica, económica y ambiental de las diferentes fuentes renovables y se sigue un enfoque inductivo que permite a los hallazgos surgir de la interpretación de las entrevistas y los documentos analizados con el apoyo en herramientas de análisis cualitativo.
- 8. Interpretación de resultados:** A partir del análisis, se interpretan los significados, tendencias y relaciones entre las categorías para identificar las fuentes de energía

renovable con mayor potencial de integración a las operaciones de perforación. Se contrastan los hallazgos con la literatura existente y con las condiciones del contexto colombiano para establecer factores críticos de éxito y oportunidades de mejora.

**9. Elaboración del reporte de resultados:** El informe final presenta los resultados, organizados alrededor de los criterios de evaluación de las fuentes renovables, acompañados de conclusiones y recomendaciones para el desarrollo de proyectos piloto en la industria de perforación. Además, incluye una propuesta de líneas futuras de investigación orientadas al escalamiento y optimización de sistemas híbridos en el sector energético colombiano.

## DESARROLLO DEL TRABAJO

El desarrollo de este trabajo sigue una metodología cualitativa que busca conocer a través de entrevistas los avances actuales de las compañías petroleras para lograr el funcionamiento de sus procesos. Se ha creado un formato de entrevista cuyo objetivo es recopilar información de personas con experiencia en operaciones de perforación, que conozcan el funcionamiento de los procesos y que estén enterados de los avances del país y del mundo para lograr reemplazar los combustibles fósiles por fuentes energéticas limpias o verdes.

A continuación, se presenta el formato de la entrevista utilizada para el desarrollo de la investigación:

Ciudad y fecha: \_\_\_\_\_

Yo, \_\_\_\_\_, una vez informado sobre el propósito de esta investigación y los posibles riesgos que se puedan generar de ella, autorizo a **José Orlando Vargas, Diego Hernán Orozco, Daniel Arturo Plaza**, estudiantes de la Universidad EAFIT, para los siguientes procedimientos:

- Realización de una entrevista
- Grabación de audio y video de la entrevista
- Análisis con la información recolectada

Adicionalmente se me informó que:

- Mi participación es completamente libre y voluntaria y estoy en libertad de retirarme de ella en cualquier momento.
- No recibiré ningún beneficio personal de ninguna clase por la participación en este proyecto de investigación. Sin embargo, se espera que la información aquí obtenida

sirva para la elaboración de una investigación para la aplicación de energías limpias renovables en procesos de perforación de pozos de petróleo y gas en Colombia.

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, se hacen las siguientes preguntas:

1. ¿En qué aplicaciones se está trabajando actualmente para migrar los procesos de perforación de petróleo y gas a energías alternativas en Colombia?
2. ¿Qué fuentes de energía se podrían utilizar para equipos de combustión interna y cuáles no?
3. ¿Qué regulaciones ambientales se requieren para lograr aplicar energías alternativas?
4. ¿Qué beneficio tributario tiene el aplicar energías alternativas?
5. ¿Qué energía alternativa cree usted que pueda ser utilizada para el funcionamiento de un taladro de perforación y por qué?
6. ¿En qué tiempo cree usted que pueda ser aplicada una energía alternativa en los procesos de perforación?

La información que usted suministre es de carácter confidencial y únicamente será utilizada para fines académicos en la presente investigación, de acuerdo con la *Ley de Protección de Datos* (Ley 1581 de 2012). Con su firma usted manifiesta la aceptación y consentimiento para el manejo de la información aportada y su veracidad; así mismo, su participación voluntaria en ella.

Una vez recopiladas las entrevistas, se hará un análisis de los resultados en donde se identificarán similitudes entre las mismas buscando reforzar dichos hallazgos con investigaciones en documentos para validar la información recibida. Esta información se puede encontrar en las páginas web de cada compañía, donde se realizan publicaciones de las nuevas

oportunidades en las que se está trabajando, y puede ser presentada en informes técnicos, informes de sostenibilidad anuales, leyes, regulaciones, etc.

Adicionalmente, se detallarán los cálculos para determinar la generación de gases y para identificar si el uso de energías limpias genera valor a operaciones de perforación de pozos de petróleo y gas en Colombia.

---

Nombre:

Cargo:

## RESULTADOS

El análisis a los resultados obtenidos a partir de las entrevistas realizadas evidencia varias oportunidades viables para reemplazar los combustibles fósiles por energías limpias. Estas oportunidades fueron identificadas con la ayuda de profesionales en el área de los hidrocarburos que actualmente están trabajando en pro de migrar sus servicios y/o procesos a este tipo de energías en las operaciones de perforación de pozos de petróleo y gas en Colombia.

Se han identificado varias oportunidades, por ejemplo: energía solar, hidrógeno, baterías y gas natural. Estas implican muchos factores que van desde las altas inversiones en infraestructura hasta la dependencia de los gobiernos para lograr su aplicación. La tabla 4 presenta una comparación general de las diferentes energías:

**Tabla 4.**

*Comparación de energías limpias (ventajas y limitaciones)*

Tipo de energía	Desventajas	Ventajas
<b>Solar fotovoltaica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intermittencia día/noche</li> <li>• Alta infraestructura</li> <li>• Inversión elevada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción en emisiones de CO<sub>2</sub></li> <li>• Aplicable en zonas de alta radiación</li> </ul>
<b>Eólica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dependencia del viento local</li> <li>• Impacto visual</li> <li>• Inversión elevada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprovechamiento de recurso en zonas costeras</li> <li>• Reducción de consumo de diésel</li> </ul>
<b>Almacenamiento de baterías</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta inversión</li> <li>• Degradación con el tiempo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite operación constante</li> </ul>

<b>Híbrido (diésel-solar)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dependencia del diésel</li> <li>• Complejidad operativa</li> <li>• Elevados costos de inversión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor consumo de diésel</li> </ul>
<b>Híbrido (diésel-eólica)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dependencia del diésel, Altos costos de mantenimiento</li> <li>• Inversión elevada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor consumo de diésel</li> </ul>

*Nota.* Elaboración propia a partir de *Classification of Drilling Systems*, por ABS, 2021, Spring.

Actualmente, se identifica aplicabilidad para la utilización de energía solar e inyección de hidrógeno; los cuales ya tienen proyectos piloto en marcha. Sin embargo, las compañías de taladros de perforación no optan por arriesgar el capital adquirido para afectar sus retornos de inversión.

Una oportunidad óptima para este tipo de aplicación es la utilización del gas natural, que será adquirido desde los mismos pozos perforados en Colombia. No obstante, como actualmente el país está enfrentando una escasez de este recurso, su utilización se vería afectada por los costos de importación correspondientes. En cuanto a la utilización de energías fotovoltaicas y baterías, su aplicación sería conveniente en campamentos y oficinas, pero no serían aptos para el funcionamiento de taladros de perforación por las altas cargas requeridas para operar estos equipos.

La aplicación de las energías limpias en Colombia se concibe actualmente como inviable por la imposibilidad de adquirir licencias, permisos ambientales y regulatorios para la perforación de pozos de desarrollo y exploración. Esto se debe a las políticas estatales y la falta de aprobación

por parte del Gobierno para aplicar nuevos estudios y oportunidades que puedan reemplazar los combustibles fósiles por energías limpias. Por ejemplo, podrían aplicar beneficios como deducción del 50% en renta, exclusión de IVA y exención arancelaria.

De igual manera, y excluyendo los inconvenientes gubernamentales, se requiere de lugares que cuenten con irradiancia, velocidad del viento y oportunidad de aprovechar la baja y media entalpía de fluidos, etc. Lo mismo ocurre con espacios aptos para el montaje de la alta infraestructura que exige la implementación de una nueva energía limpia, como es el caso de motores a gas y taladros eléctricos. En Colombia, los lugares para perforación se ven cada vez más reducidos debido a que las compañías no están construyendo nuevas locaciones, por su alto costo; en cambio, están aprovechando las locaciones ya construidas, para optimizar los equipos que estas albergan. Por lo mismo, cada vez se requieren equipos de perforación más pequeños y de menor capacidad para lograr ubicarlos con otros, como tanques de producción, en la locación.

### **Viabilidad económica de la implementación de energías limpias**

La inversión en nuevas energías requiere una alta inversión de CAPEX (*capital expenses*). Como estas soluciones no son rentables, sino un concepto en desarrollo, su viabilidad está por verse y dependerá de avances tecnológicos, incentivos gubernamentales y condiciones de mercado favorables. Por el contrario, como beneficio económico se presentaría una nueva oportunidad de ahorro en OPEX (*operative expenses*), que requeriría menos combustible, logística y mantenimiento (Engel Cox & Newes, 24 de octubre de 2019).

Como retos principales están los costos de inversión y retorno inciertos, escasez de gas natural en Colombia, espacio e infraestructura limitada en locaciones, regulación y estabilidad política insuficientes y, finalmente, aceptación social y capacitación técnica. Actualmente, el país no cuenta con una oportunidad para la implementación de nuevas energías para reemplazar los

combustibles fósiles, ya que hay la necesidad de articular políticas públicas, incentivos fiscales, estabilidad normativa y alianzas con compañías/inversionistas para la transición. Estas nuevas inversiones e incentivos se podrían aplicar en el país dentro de dos o tres años, cuando un cambio de gobierno las apoye y genere oportunidades de desarrollo en nuevos proyectos de perforación.

Asimismo, se ve una reducción de la huella de carbono que representa beneficios en gastos operativos (OPEX) y de capital (CAPEX) al momento de reemplazar el uso de diésel o *fueloil* por hidrógeno verde u otra energía alternativa (Engel Cox & Newes, 24 de octubre de 2019).

En términos generales, las soluciones híbridas con almacenamiento de baterías (BESS) y respaldo diésel ofrecen la ruta más práctica actualmente. Proyectos a escala mayor (eólica flotante) demuestran potencial para perforación costa afuera (*off-shore*) pero requieren inversión y coordinación con planes de operación.

Para una investigación aplicada, es recomendable:

- Definir el alcance del taladro (*on-shore/off-shore*)
- Recopilar perfiles de carga y el recurso solar/eólico del sitio
- Modelar alternativas
- Realizar análisis de sensibilidad sobre precio del diésel y las baterías

En ausencia de incentivos fiscales y esquemas de apoyo como deducciones tributarias, exenciones arancelarias o mecanismos de depreciación acelerada, el periodo de recuperación de la inversión puede superar los diez años. Esto impacta negativamente el retorno sobre la inversión (ROI) y desincentiva la adopción por parte de contratistas y operadores. Aunque las leyes 1715 de 2014 y 2099 de 2021 ofrecen beneficios relevantes, aún se requiere una mayor claridad en su aplicación operativa para garantizar efectividad en proyectos de transición energética.

### Viabilidad ambiental de la implementación de energías limpias

La viabilidad ambiental para la evaluación del beneficio de utilización de energías limpias se mide al comparar su generación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) con la de los combustibles fósiles, que domina más del 95% de las emisiones en el mundo. La fórmula para el cálculo de la emisión de dióxido de carbono se presenta a continuación (Gómez & Watterson, 2006):

$$\text{Emisiones (kg CO}_2\text{)} = \text{Consumo de combustible (L)} \times \text{Factor de emisión (kg } \frac{\text{CO}_2}{\text{L}}\text{)}$$

El consumo de combustible se registra bajo el valor conocido del utilizado según la operación que se esté realizando. Este valor puede ser tanto el consumo de combustible como el consumo eléctrico medido en kilovatios por hora (kW/h).

Según la fórmula arriba descrita, el valor del factor de emisión relaciona la cantidad de CO<sub>2</sub> liberado a la atmósfera con una actividad específica que lo produce, como es el caso de la quema de combustible o el consumo de energía (SIA, marzo de 2023). A continuación se presentan los factores de emisión directos para los diferentes combustibles fósiles:

**Tabla 5.**

*Factores de emisión directos de combustibles*

Combustible	Factor de emisión directo (kg CO <sub>2</sub> )
<b>Diesel</b>	2,68
<b>Gasolina</b>	2,31
<b>Gas Natural (líquido o comprimido)</b>	2,74
<b>Fuel Oil Pesado</b>	3,11
<b>Gas Natural Licuado (GLP)</b>	2,75

*Nota.* Elaboración propia a partir de *Chapter 2: Stationary Combustion*, por Gómez & Watterson, 2006.

Según estos factores de emisión, y tomando como referencia el consumo de diésel registrado en la tabla 3, se obtiene la emisión de CO<sub>2</sub> por día según cada tipo de taladro.

**Tabla 6.**

*Emisiones de CO<sub>2</sub> por tipo de taladro de perforación*

<b>Tipo de taladro</b>	<b>Emisiones (kg CO<sub>2</sub>)</b>
Terrestre	10 720 – 16 080
Marino fija	40 200 – 85 760
Marino autoelevable	26 800 – 53 600
Marino de buque autopropulsado	80 400 – 120 600
Marino semisumergible	67 000 – 107 200

*Nota.* Elaboración propia a partir de Chapter 2: Stationary Combustion, por Gómez & Watterson, 2006.

Estas emisiones son un estimado, ya que el tipo de taladro depende de cada tipo de pozo a ser perforado; puede haber variaciones en función del tiempo de perforación, diseño del pozo, esfuerzos a los que se expone el equipo de perforación, materiales y equipos utilizados. Sin embargo, se presenta como una base para determinar el consumo de combustible que pueda tener cada equipo cuando se utiliza el 100% de energía a diésel (el más común y utilizado en operaciones de perforación en Colombia).

Para la definición de la reducción de los gases efecto invernadero que se emiten en operaciones de perforación de pozos de gas y petróleo en Colombia, se toma como referencia la utilización de motores híbridos para reducir el consumo de diésel. Este se representa en ahorro en costos operativos, disminución de emisiones y desarrollo de operaciones de perforación para la aplicación de una transición energética responsable.

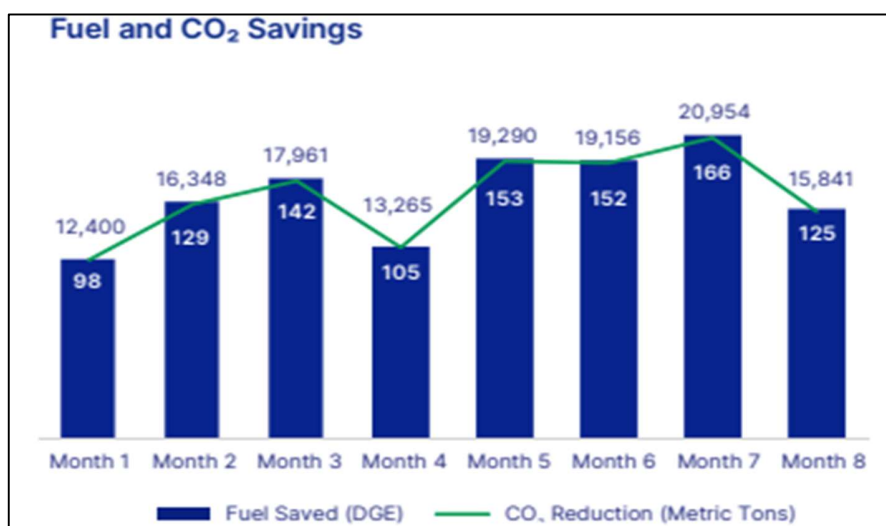
Para la determinación de las emisiones de dióxido de carbono en motores híbridos, hay experiencias alrededor del mundo donde estos ya se han utilizado. Bajo información publicada por las compañías, se relaciona el beneficio en cuanto a emisiones por la utilización de este tipo de motores en las mismas operaciones de perforación.

### Reducción de emisiones y huella de carbono por motores híbridos

La compañía Nabors está desarrollando sistemas híbridos para utilizar en sus operaciones de perforación y, según los reportes de sostenibilidad, se evidencia una reducción del 20% de combustible (Nabors, 2021b). Estos sistemas, denominados *Hybrid Energy Management System* (hEMS), integran diferentes fuentes de energía como solar, viento y almacenamiento de batería. En el caso de la compañía Nabors, se integró la utilización del diésel con el almacenamiento de batería. Gracias a esta optimización se logró disminuir el consumo de este combustible en 16 000 galones al mes por taladro y se alcanzó una reducción 125 000 toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> al mes por taladro de perforación (Nabors, 2021a).

**Figura 2.**

*Ahorro de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub> en operaciones con taladros de Nabors*

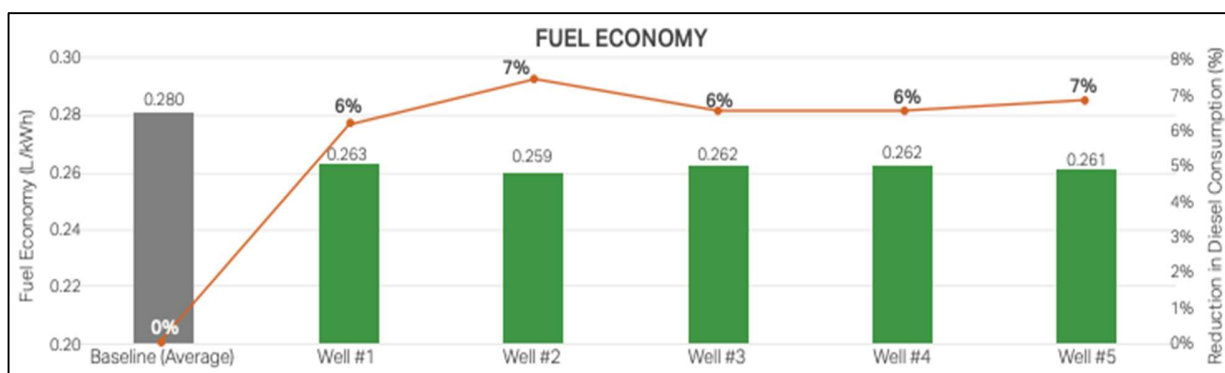


*Nota.* Obtenido de *Environmental, Social and Governance*, por Nabors, 2021b.

Actualmente, en Canadá y en Reino Unido, existen pilotos de inyección de hidrógeno a generadores utilizados en la perforación para reducir el consumo de diésel. El hidrógeno se inyecta bajo unas cantidades medidas en la entrada de aire de los motores. Gracias a esta aplicación, se ha reportado una reducción del 7% de las emisiones de dióxido de carbono (Nabors, 2021b).

**Figura 3.**

*Reducción de consumo de diésel con la utilización de hidrógeno para procesos de combustión*



Nota. Obtenido de *Transforming Drilling Operations with Hydrogen Injection Technology Resulting in up to 7% Reduction in Greenhouse Gas (GHG) Emissions*, por Precision Drilling, s.f.

### **Reducción de emisiones huella de carbono en motores de gas natural**

La compañía Patterson-UTI (2024) está desarrollando proyectos para reemplazar el diésel por gas natural, y ha observado una reducción de hasta el 30 % de emisiones de CO<sub>2</sub> en operaciones de perforación.

**Figura 4.**

*Reducción de consumo de diésel y emisiones de CO<sub>2</sub> a partir de la utilización de gas natural*

<b>GridAssist Savings (cumulative)</b>	
Generator Runtime (hrs)	4,290
Diesel Fuel (gals)	784,251
CO <sub>2</sub> Savings (kg)	7,982,567
CO Savings (kg)	13,436
NOx Savings (kg)	52,206
THC Savings (kg)	3,123
PM Savings (kg)	1,469

*Nota.* Obtenido de *Sustainability Report 2024*, por Patterson–UTI, 2024.

De igual manera, esta compañía se ha asociado con Northeast Natural Energy para utilizar motores de gas natural en la perforación de pozos de este recurso. Esta iniciativa registra una reducción del 7% de emisiones de CO<sub>2</sub> en las operaciones de perforación (Northeast Natural Energy, 25 de octubre de 2022)

## CONCLUSIONES

La migración del uso de combustibles fósiles a energías limpias en Colombia aún es un desarrollo incierto, ya que depende principalmente de factores externos. Esto ata los nuevos proyectos al apoyo para su aplicación por parte del Gobierno y condiciona su posibilidad de aportar a que la industria de los hidrocarburos pueda continuar con fases de exploración y desarrollo. Asimismo, las inversiones para la aplicación de energías limpias en taladros de perforación son muy altas. Por ello, si no se tiene un panorama estructurado del futuro de la perforación en Colombia, no habrá apoyo de inversionistas para aplicar a estas oportunidades.

El camino hacia una transición energética coherente y responsable se debe recorrer de manera paulatina, para evitar que se reduzca el rendimiento de los taladros de perforación y esto pueda tener un impacto negativo por el aumento de tiempos operacionales.

La disminución de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para operaciones de perforación es mayor cuando se utiliza una energía limpia: puede ser hasta del 100%; la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> para operaciones de perforación con motores híbridos o motores a gas natural puede ser de hasta el 30%, en comparación con las emisiones generadas por el uso del diésel. Una buena oportunidad en Colombia para el funcionamiento de motores de combustión interna es la utilización de inyección de hidrógeno, que ya ha mostrado resultados exitosos en otros países (Canadá y Reino Unido) por aportar una solución híbrida.

Los beneficios económicos y ambientales de la utilización de energías limpias en taladros de perforación se verán reflejados en el largo plazo conforme se continúe con la perforación de pozos en Colombia y se tenga retorno de la inversión. También al cuantificar el beneficio de la generación de emisiones en reportes anuales de sostenibilidad.

## REFERENCIAS

- ABS. (2021). *Classification of Drilling Systems*. Spring.
- Arent, D., Engel-Cox, J., & Ericson, S. (Enero de 2019). *Approaches for Integrating Renewable Energy Technologies in Oil and Gas Operations*. The Joint Institute for Strategic Energy Analysis. Technical Report NREL/TP-6A50-72842. <https://doi.org/10.2172/1491378>
- DW. (6 de abril de 2022). *La OMS advierte que el 99% de la población mundial respira aire contaminado*. <https://www.dw.com/es/la-oms-advierte-que-el-99-de-la-poblaci%C3%B3n-mundial-respira-aire-contaminado/a-61384908>
- Engel Cox, J. & Newes, E. (24 de octubre de 2019). Clean energy technologies for oil & gas industry operations. JISEA, *The Environmental Partnership Annual Conference*. Houston, Texas. NREL/PR-6A50-75171. <https://docs.nrel.gov/docs/fy20osti/75171.pdf>
- Ericson, S., Engel-Cox, J., & Arent, D. (Enero de 2019). *Approaches for integrating renewable energy technologies in oil and gas operations*. Joint Institute for Strategic Energy Analysis. Technical Report NREL/TP-6A50-72842. <https://docs.nrel.gov/docs/fy19osti/72842.pdf>
- Hernández Sampieri, R. F., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación (6° ed.)*. McGraw-Hill.
- Gómez, D. R., & Watterson, J. D. (2006). Chapter 2: Stationary Combustion. En Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2: Energy*. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2\\_Volume2/V2\\_2\\_Ch2\\_Stationary\\_Combustion.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf)
- International Energy Agency [IEA]. (2025). CO2 Emissions. *Global Energy Review 2025*. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2025/co2-emissions>

Ipieca. (Junio de 2023). *Drilling Rigs*. <https://www.ipieca.org/resources/energy-efficiency-compendium/drilling-rigs-2023>

Lastiri, L. (Agosto de 2023). Edwin Drake y el nacimiento de la extracción de crudo en América. *Earn2Trade*. <https://www.earn2trade.com/blog/es/edwin-drake-extraccion-de-petroleo/>

Ley 697 de 2001. (3 de octubre de 2001). Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. *Diario Oficial No. 44.573*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4449>

Ley 1715 de 2014. (13 de mayo de 2014). Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. *Diario Oficial No. 49.150*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>

Ley 2099 de 2021. (10 de julio de 2021). Por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones. *Diario Oficial No. 51.731*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=166326>

Nabors. (2021a). *Our Goal: To deliver responsible hydrocarbon production with smart, sustainable solutions*. Nabors.

Nabors. (2021b) *Environmental, Social and Governance*. Nabors. <https://nabors.com/wp-content/uploads/2022/07/Nabors-2021-ESG-Report.pdf>

Northeast Natural Energy. (25 de octubre de 2022). Northeast Natural Energy Reducing Emissions with Natural Gas-Powered Drilling Rigs.

<https://northeastnaturalenergy.com/drilling-for-gas-with-gas/>

Patterson–UTI. (2024). 2024 *Sustainability Report*.

[https://esg.patenergy.com/content/documents/Sustainability\\_Report\\_2024.pdf](https://esg.patenergy.com/content/documents/Sustainability_Report_2024.pdf)

Precision Drilling (s.f.). *Transforming Drilling Operations with Hydrogen Injection Technology Resulting in up to 7% Reduction in Greenhouse Gas (GHG) Emissions*.

<https://www.precisiondrilling.com/wp-content/uploads/2024/04/Hydrogen-Injection-Case-Study.pdf>

Saber, A. (2019). *A Hybrid Wind-Wave Energy System with Batteries for Offshore Oil and Gas Platforms* [Tesis, Master of Science in Electrical Power and Machines Engineering].

Faculty of Engineering, Cairo University, Giza, Egypt. ResearchGate.

Saber, A. M., Boghdady, T. A., & Ibrahim, D. K. (2021). Multi-objective sizing of a standalone renewable power system for offshore oil and gas applications. *International Journal of Renewable Energy Research*, 11, 1597-608.

Seadrill. (2022). *Sustainability Report 2022*.

[https://www.responsibilityreports.com/HostedData/ResponsibilityReportArchive/s/NYS\\_E\\_SDRL\\_2022.pdf](https://www.responsibilityreports.com/HostedData/ResponsibilityReportArchive/s/NYS_E_SDRL_2022.pdf)

Settemsdal, S. (Agosto de 2021). Applications of lithium-ion batteries in offshore oil & gas: the journey to building a low-emissions drilling rig. *Offshore Technology Conference*. OTC.

SIA. (Marzo de 2023). *Offshore Oil and Gas platforms: Electrification Technologies*.

<https://www.sia-partners.com/en/insights/publications/offshore-oil-and-gas-platforms-electrification-technologies>

Southwest Electronic Energy Group. (2016). *Safe Subsea Lithium Ion Batteries for Oil & Gas Subsea and ROVs*. <https://ln.run/8P9PD>

Ude Cataluña. (s.f.). *Transición energética: retos, estrategias y auge renovable*. Blog UC. <https://www.ucatalunya.edu.co/blog/transicion-energetica-retos-estrategias-y-auge-renovable>

## ANEXOS

### Anexo 1. Entrevista a Cristian Ducuara

Ciudad y fecha: Bogotá, D. C. mayo 29 de 2025

Yo, Cristian Alexis Ducuara Castaño, una vez informado sobre el propósito de esta investigación y los posibles riesgos que se puedan generar de ella, autorizo a **José Orlando Vargas, Diego Hernán Orozco y Daniel Arturo Plaza**, estudiantes de la Universidad EAFIT, para los siguientes procedimientos:

- Realización de una entrevista
- Grabación de audio y video de la entrevista
- Análisis con la información recolectada

Adicionalmente se me informó que:

Mi participación es completamente libre y voluntaria, y estoy en libertad de retirarme de ella en cualquier momento. No recibiré ningún beneficio personal de ninguna clase por la participación en este proyecto de investigación. Sin embargo, se espera que la información aquí obtenida sirva para la elaboración de una investigación sobre la aplicación de energías limpias renovables en procesos de perforación de pozos de petróleo y gas en Colombia.

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, se realizan las siguientes preguntas:

**¿En qué aplicaciones o tecnologías están actualmente trabajando para usar energías alternativas en los procesos de perforación de pozos en la empresa donde usted trabaja o que usted conozca en otras empresas?**

**R/** Generación de hidrógeno verde a partir de electrólisis de agua asociada a la actividad de perforación, con un electrolizador que funciona con energía fotovoltaica. El hidrógeno verde obtenido se utiliza como parte de combustible para los generadores, lo que disminuye en un porcentaje menor al 10 % la necesidad de diésel o *fueloil*; en dicho porcentaje también reduce emisiones de CO<sub>2</sub>.

**¿Qué fuentes de energía se podrían utilizar para equipos de combustión interna y cuáles no?**

**R/** En la respuesta anterior se mencionan dos tipos de energías alternativas que pueden ser utilizadas para equipos de combustión interna, como es la energía que se obtiene en la combustión de hidrógeno y la energía fotovoltaica. De todos modos, cualquier electrolizador que funcione a partir de energías limpias nos puede generar hidrógeno verde; estas pueden ser eólica, geotérmica de baja o media entalpía. Entre las más comunes, especialmente dependiendo de la ubicación de los equipos de combustión interna a ser utilizados, si está por ejemplo cerca de la costa, la energía mareomotriz puede ser una alternativa.

**¿Qué regulaciones ambientales se requieren o aplican para lograr la utilización de energías alternativas?**

**R/** Lo que conozco, aunque no es desde el punto de vista ambiental, es la Ley 1715 de 2014, que regula la integración de las fuentes no convencionales de energía renovable al sistema energético nacional; también la Ley 2099 de 2021, que es conocida como la Ley de Transición Energética. Estas leyes son usadas por las diferentes empresas para dar soporte a las solicitudes ante Ministerio de Ambiente, ANLA y Corporaciones Autónomas Regionales para tramitar permisos y licencias.

**¿Qué beneficios tributarios se tienen al aplicar energías alternativas en las operaciones asociadas a los taladros de perforación y cómo impactan en su organización?**

**R/** Los beneficios tributarios no necesariamente estarían ligados al uso de energías alternativas en las operaciones de perforación. Cualquier inversión en las mismas para cualquier área de la empresa se puede aplicar en un descuento hasta por el 100 % de la inversión aprobada por la UPME en el impuesto de renta del año siguiente hasta en un 50 % del valor del impuesto. También está la aplicación de la depreciación acelerada de la inversión en los activos usados para la tecnología a un 33 % anual, importación de equipos para la tecnología con 0 % arancel.

**¿Cuál(es) energía(s) alternativa(s) cree usted que pueda(n) ser la(s) más opcionada(s) para ser utilizada(s) en el funcionamiento de un taladro de perforación y por qué?**

**R/** Con el avance de la tecnología se puede pensar que las que apliquen, dependiendo de la zona donde se ubique la operación, ya que para cada una de las alternativas a ser consideradas también se necesitan unas condiciones especiales, como irradiancia, velocidad del viento, capacidad de captar de los paneles (FV), oportunidad de aprovechar la baja y media entalpía de fluidos, etc.

**¿En qué tiempo cree usted que pueda ser aplicada una energía alternativa en los procesos de perforación en Colombia? y ¿de qué considera que depende ese tiempo?**

**R/** Se aplica actualmente desde algunas empresas, como Petroworks. Más promovido por solicitud de las empresas operadoras, ya que hace parte de los pliegos de invitación a licitar y genera puntos extra en la evaluación final de adjudicación. El crecimiento e implementación masivamente va a depender también de qué tanto quieren las empresas operadoras pagar estas opciones en sus tarifas, ya que al final significan costo para las partes.

**¿Cómo cree que la reducción de la huella de carbono al usar energías alternativas en los procesos de perforación ayuda en la optimización del CAPEX u OPEX en su organización?**

**R/** Actualmente la reducción de la huella de carbono se puede ver en impacto en OPEX y CAPEX al momento de reemplazar el uso de diésel o *fueloil* por hidrógeno verde, o reemplazar por alguna energía alternativa. Pero esto realmente se da por los beneficios tributarios que otorga el Gobierno nacional. Si no fuera por esto, realmente los proyectos de energías alternativas no cierran o su recuperación en inversión va por encima de los 10 años.

**¿Cuáles son los principales obstáculos o retos que se tienen hoy en día para la implementación del uso de energías alternativas en los procesos de perforación en Colombia?**

**R/** Actualmente se vería en los costos de implementación de los equipos que se requiere instalar. También requieren algún espacio adicional, y lo que las empresas operadoras buscan cada vez más es reducir las áreas de sus plataformas debido a los altos costos de obras civiles.

**¿En qué países ve mayores oportunidades de expansión y por qué? ¿Cree que Colombia es un país con potencial para el desarrollo y expansión de proyectos?**

**R/** Dependiendo de la ubicación, cada uno de los países tiene sus ventajas y desventajas para cada una de las diferentes alternativas de energías limpias. Con esto quiero decir que no estoy seguro de que sea una limitante geográfica, más bien es un tema de permisos ambientales, que deberían ser flexibles para estos casos; así como los incentivos tributarios, ya que la mayoría de los equipos se producen en Europa y Asia.

**¿Cuál considera que será el alcance de las energías alternativas en las operaciones de los taladros de perforación en Colombia en los próximos 10–20 años?**

**R/** Probablemente los motores puedan funcionar con energía nuclear, reduciendo sus tamaños. También la opción de usar hidrógeno o hasta agua como combustible sería un cambio muy importante que seguramente se va a dar en los años venideros.

**¿Qué mensaje transmitiría usted a los gobiernos, compañías e inversionistas para apoyar los proyectos que involucren estas tecnologías?**

**R/** La transición energética se debe dar responsablemente, especialmente cuando un Gobierno depende de los combustibles fósiles, como Colombia y otros de Latinoamérica. Desacelerar abruptamente estos proyectos lo que va a generar es una falta de caja, que igual se requiere para la implementación de las energías alternativas, lo que generaría un hueco en las finanzas del Estado, ya que no habría una industria que reemplaza los ingresos con la celeridad que se requiere al hacer que la industria de los combustibles fósiles se detenga.

La información que usted suministre será de carácter confidencial y únicamente será utilizada para fines académicos en la presente investigación, de acuerdo con la Ley de Protección de Datos (Ley 1581 de 2012). Con su firma usted manifiesta la aceptación y consentimiento para el manejo de la información aportada y su veracidad; así mismo, su participación voluntaria en ella.

---

Nombre: Cristian A. Ducuara

Cargo: Consultor Externo

## **Anexo 2. Entrevista a Helton Bezerra**

Ciudad y fecha: Regensburg, 23 de junio de 2025

Yo, Helton Henrique dos Santos Bezerra, una vez informado sobre el propósito de esta investigación y los posibles riesgos que se puedan generar de ella, autorizo a **Diego Hernán Orozco, Daniel Arturo Plaza y José Orlando Vargas**, estudiantes de la Universidad EAFIT, para los siguientes procedimientos:

- Realización de una entrevista
- Grabación de audio y video de la entrevista
- Análisis con la información recolectada

Adicionalmente se me informó que:

Mi participación es completamente libre y voluntaria, y estoy en libertad de retirarme de ella en cualquier momento. No recibiré ningún beneficio personal de ninguna clase por la participación en este proyecto de investigación. Sin embargo, se espera que la información aquí obtenida sirva para la elaboración de una investigación sobre la aplicación de energías limpias renovables en procesos de perforación de pozos de petróleo y gas en Colombia.

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, se realizan las siguientes preguntas:

**¿En qué aplicaciones o tecnologías están actualmente trabajando para usar energías alternativas en los procesos de perforación de pozos en la empresa que usted trabaja o que usted conozca en otras empresas?**

**R/** Desde mi posición actual en Maschinenfabrik Reinhausen (MR), observo un creciente interés en el uso de energías renovables (especialmente hidrógeno verde) para alimentar

operaciones industriales, incluida la perforación de pozos. Aunque MR no actúe directamente en la perforación, colaboramos con empresas energéticas y EPCs que desarrollan soluciones de electrificación verde para estos procesos. En regiones como Medio Oriente y Europa ya existen proyectos donde la electricidad proveniente de fuentes renovables se utiliza para alimentar unidades de perforación mediante sistemas híbridos con almacenamiento, y a largo plazo se visualiza el uso de hidrógeno como portador de energía en zonas remotas sin red eléctrica.

**¿Qué fuentes de energía se podrían utilizar para equipos de combustión interna y cuáles no?**

**R/** De mi conocimiento, y es posible que no sea el panorama completo, para reemplazar los combustibles fósiles en motores de combustión interna se pueden utilizar alternativas como biodiésel, biometano e incluso hidrógeno, siempre que los motores estén adaptados. Por otro lado, fuentes como la solar y la eólica no son directamente compatibles sin un sistema de conversión eléctrica. Las tecnologías que suministran energía en forma de electricidad o combustibles gaseosos compatibles son viables.

**¿Qué regulaciones ambientales se requieren o aplican para lograr la utilización de energías alternativas?**

**R/** Las regulaciones varían según el país; pero, en general, incluyen políticas públicas que incentiven la inversión en energía renovable, normas para la conexión a la red eléctrica y esquemas de certificación de origen renovable, especialmente para el hidrógeno verde. En muchos países de Sur de América se han dado avances con la Ley de Transición Energética, aunque todavía se necesita una hoja de ruta clara para incorporar estas fuentes en el sector de petróleo y gas, hasta donde tengo conocimiento yo.

**¿Qué beneficios tributarios se tienen al aplicar energías alternativas en las operaciones asociadas a los taladros de perforación y cómo impactan en su organización?**

**R/** En algunos países, los proyectos que reducen las emisiones de carbono acceden a exenciones fiscales, depreciación acelerada de equipos y bonos verdes. Si en los países amplían estos incentivos al sector de perforación, la transición será facilitada. En MR este tipo de políticas acelera la implementación de soluciones tecnológicas relacionadas con la calidad y estabilidad de la energía, fundamentales en operaciones remotas como la perforación.

**¿Cuál(es) energía(s) alternativa(s) cree usted que pueda(n) ser la(s) más opcionada(s) para ser utilizada(s) en el funcionamiento de un taladro de perforación y por qué?**

**R/** La electrificación mediante fuentes solares y eólicas, combinada con almacenamiento (baterías o hidrógeno), es la vía más viable. A mediano plazo, el hidrógeno verde —por su alta densidad energética y capacidad de ser transportado a sitios remotos— tiene un gran potencial. Ya existen prototipos y pruebas en Europa y Medio Oriente que demuestran su viabilidad técnica para taladros de perforación.

**¿En qué tiempo cree usted que pueda aplicarse una energía alternativa en los procesos de perforación en Colombia? y ¿de qué considera que depende ese tiempo?**

**R/** En un escenario optimista se podrían ver pilotos en 3 a 5 años. Su adopción a gran escala dependerá de tres factores: 1) disponibilidad de infraestructura de generación renovable cerca de los pozos, 2) políticas públicas claras y estables, y 3) compromiso de las empresas del sector para invertir en soluciones sostenibles con retorno a largo plazo. Tener en cuenta que empresas como EPM ya tienen planta de producción de hidrógeno, aunque sea en pequeña escala.

**¿Cómo cree que la reducción de la huella de carbono al usar energías alternativas en los procesos de perforación ayuda en la optimización del CAPEX u OPEX en su organización?**

**R/** Reducir la huella de carbono no solo responde a exigencias ESG, sino que también permite optimizar el OPEX al disminuir la dependencia del diésel, cuyos costos son volátiles. A largo plazo, sistemas basados en energía solar o hidrógeno pueden ser más estables económicamente y disminuir costos asociados al transporte de combustibles y mantenimiento. En MR observamos esta tendencia en aplicaciones industriales y mineras.

**¿Cuáles son los principales obstáculos o retos de hoy en día para la implementación del uso de energías alternativas en los procesos de perforación en Colombia?**

**R/** Los principales desafíos podrían ser como los ejemplos de: falta de infraestructura eléctrica en zonas de perforación, escasa normativa específica para el uso de renovables en petróleo y gas, percepción de alto riesgo tecnológico y limitaciones logísticas para transportar equipos como electrolizadores o baterías al campo. Además, el alto costo inicial sigue siendo un obstáculo en ausencia de incentivos gubernamentales robustos.

**¿En qué países ve mayores oportunidades de expansión y por qué? ¿Cree que Colombia es un país con potencial para el desarrollo y expansión de proyectos?**

**R/** Al momento, percibimos un avance en países como Arabia Saudita, Alemania, Brasil y Suecia (donde los proyectos de hidrógeno ya son una realidad). Colombia tiene un gran potencial: alta radiación solar, abundancia de recursos hídricos y experiencia en el sector energético. Si logra establecer una regulación sólida y un marco de incentivos adecuado, podría posicionarse como un actor relevante en la transición energética regional. He estado en contacto con la comunidad de hidrógeno desde Colombia, donde me dicen que el Gobierno sí recién ha firmado proyecciones para el desarrollo intensivo de hidrógeno. Se apunta a Colombia en casi todos los reportes internacionales como un *hub* de producción de hidrógeno importante para el mundo —como mencioné anteriormente, no solo la abundancia de los recursos naturales, sino la conexión logística—.

**¿Cuál considera que será el alcance de las energías alternativas en las operaciones de los taladros de perforación en Colombia en los próximos 10–20 años?**

**R/** Desde mi visión, en 10 años veremos integración parcial de sistemas híbridos (solar + baterías) en algunos campos. En 20 años es probable que los nuevos desarrollos adopten energías alternativas desde el diseño, y que el hidrógeno tenga un rol clave tanto en la movilidad de equipos como en la generación descentralizada de energía para plataformas remotas.

**¿Qué mensaje transmitiría usted a los gobiernos, compañías e inversionistas para apoyar los proyectos que involucren estas tecnologías?**

**R/** Creo que la transición energética ya no es solo una obligación ambiental, sino una oportunidad estratégica y de mucha importancia para la soberanía de un país. Invertir hoy en energías limpias —como el hidrógeno verde— permitirá a las empresas y países liderar los mercados del futuro, diversificar economías y asegurar independencia energética. Creo que el momento de actuar ya pasó, incluso; pero aún podemos aprovechar esta ola de oportunidad, con visión de largo plazo, una colaboración público-privada y foco en la innovación.

La información que usted suministre es de carácter confidencial y únicamente se utilizará para fines académicos en la presente investigación, de acuerdo con la Ley de Protección de Datos (Ley 1581 de 2012). Con su firma usted manifiesta la aceptación y consentimiento para el manejo de la información aportada y su veracidad; así mismo, su participación voluntaria en ella.

---

Nombre: Helton Henrique dos Santos Bezerra

Cargo: Global Account Manager

### **Anexo 3. Entrevista a Marco Molina**

Ciudad y fecha: Bogotá, 27 de mayo

Yo, Marco Molina, una vez informado del propósito de esta investigación y los posibles riesgos que se puedan generar de ella, autorizo a **Diego Hernán Orozco, Daniel Arturo Plaza y José Orlando Vargas**, estudiantes de la Universidad EAFIT, para los siguientes procedimientos:

- Realización de una entrevista
- Grabación de audio y video de la entrevista
- Análisis con la información recolectada

Adicionalmente se me informó que:

Mi participación es completamente libre y voluntaria, y estoy en libertad de retirarme de ella en cualquier momento. No recibiré ningún beneficio personal de ninguna clase por la participación en este proyecto de investigación. Sin embargo, se espera que la información aquí obtenida sirva para la elaboración de una investigación sobre la aplicación de energías limpias renovables en procesos de perforación de pozos de petróleo y gas en Colombia.

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, se realizan las siguientes preguntas:

**¿En qué aplicaciones o tecnologías están actualmente trabajando para usar energías alternativas en los procesos de perforación de pozos en la empresa que usted trabaja o que usted conozca en otras empresas?**

**R/** Laboro para la compañía Petroworks, la cual es una contratista de perforación y cuenta con una flota de 22 taladros entre perforación y reacondicionamiento. Actualmente, los modelos

o proyectos de uso de energías alternativas se están aplicando en el grupo electrógeno del campamento usado como vivienda del personal en los taladros y el grupo electrógeno del equipo.

Las tecnologías usadas en nuestra empresa y la mayoría de empresas del sector en este momento se enfocan en energía solar (fotovoltaica), generación y uso de hidrógeno, uso de aditivos químicos para disminución de consumo de combustible y baterías de almacenamiento de energía residual.

**¿Qué fuentes de energía podrían utilizarse para equipos de combustión interna y cuáles no?**

**R/** En mi opinión, se pueden usar la inyección de hidrógeno, el uso de aditivos y la energía solar directamente en ciertas aplicaciones. En orden general, como reemplazo podría decir que se pueden usar todas las fuentes de energía.

**¿Qué regulaciones ambientales se requieren o aplican para lograr la utilización de energías alternativas?**

**R/** Sin respuesta

**¿Qué beneficios tributarios se tienen al aplicar energías alternativas en las operaciones asociadas a los taladros de perforación y cómo impactan en su organización?**

**R/** Ley 1715 de 2014

**¿Cuál(es) energía(s) alternativa(s) cree usted que pueda(n) ser la(s) más opcionada(s) para ser utilizada(s) en el funcionamiento de un taladro de perforación y por qué?**

**R/** Energía solar e hidrógeno, debido a que tienen aplicación directa y en relevo para disminuir la huella de carbono a través de disminuir el consumo de combustible en los taladros.

**¿En qué tiempo cree usted que pueda ser aplicada una energía alternativa en los procesos de perforación en Colombia? y ¿de qué considera que depende ese tiempo?**

**R/** Actualmente se están implementando algunas energías alternativas; sin embargo, no reemplazan el 100 % de la energía requerida para el proceso de perforación de un pozo en Colombia. Como potencial de ideas, en la medida en que tengamos campos completamente electrificados y hagamos conexiones directas a los sistemas, se puede avanzar en grandes pasos. Desde el punto de vista autónomo, implementando las alternativas listadas en el punto uno (1), podría tomar unos 10 a 15 años tener el proceso.

**¿Cómo cree que la reducción de la huella de carbono al usar energías alternativas en los procesos de perforación ayuda en la optimización del CAPEX u OPEX en su organización?**

**R/** El uso de energías alternativas en los procesos de perforación de pozos actualmente beneficia el OPEX de la organización por cuenta de la disminución de costos del ACPM, menores costos de logística del combustible y mantenimiento con menores frecuencias para los equipos que usan las energías alternativas.

**¿Cuáles son los principales obstáculos o retos que se tienen hoy en día para la implementación del uso de energías alternativas en los procesos de perforación en Colombia?**

**R/** El principal reto es conseguir que el CAPEX de los proyectos de energías alternativas tenga un buen cierre financiero enfocado en el retorno de la inversión.

**¿En qué países ve mayores oportunidades de expansión y por qué? ¿Cree que Colombia es un país con potencial para el desarrollo y expansión de proyectos?**

**R/** Creo que Chile, México y Brasil llevan la iniciativa y delantera en expansión e implementación de proyectos de energías alternativas. Lo anterior, considerando la apropiación presupuestal que destinan los gobiernos para este fin. Creemos que en Colombia tenemos potencial; sin embargo, no logramos integrar los factores que requieren un desarrollo y expansión exitosos. Por ejemplo, alineación de la política gubernamental y leyes.

**¿Cuál considera que será el alcance de las energías alternativas en las operaciones de los taladros de perforación en Colombia en los próximos 10–20 años?**

**R/** Yo creo que es posible que los taladros de perforación puedan contar con un sustituto del 50% al consumo de combustible fósil, generado a través de energía solar hidrógeno y baterías de almacenamiento residual.

**¿Qué mensaje transmitiría usted a los gobiernos, compañías e inversionistas para apoyar los proyectos que involucren estas tecnologías?**

**R/** Gobiernos: mayores incentivos en el ámbito de generación de créditos blandos para estos proyectos, ajustados al tiempo de retorno de la inversión. Compañías e inversionistas: generar visión a largo plazo con las inversiones destinadas para estos proyectos, independizar el objetivo de I+D corporativo con la estrategia de disminución de huella de carbono en la compañía y flexibilizar las condiciones patrimoniales para retorno en este tipo de inversiones.

La información que usted suministre es de carácter confidencial y únicamente se utilizará para fines académicos en la presente investigación, de acuerdo con la Ley de Protección de Datos (Ley 1581 de 2012). Con su firma usted manifiesta la aceptación y consentimiento para el manejo de la información aportada y su veracidad; así mismo, su participación voluntaria en ella.

---

Nombre: Marco Molina  
Cargo: Gerente BD

#### Anexo 4. Entrevista a Gonzalo Bolaños

Ciudad y fecha: Bogotá, junio 3 de 2.025

Yo, Gonzalo Bolaños, una vez informado sobre el propósito que se llevará a cabo en esta investigación y los posibles riesgos que se puedan generar de ella, autorizo a **Jose Orlando Vargas, Diego Hernan Orozco y Daniel Arturo Plaza**, estudiantes de la Universidad EAFIT, para la realización de los siguientes procedimientos:

- Realización de una entrevista
- Grabación de audio y video de la entrevista
- Realización de un análisis con la información recolectada

Adicionalmente se me informó que:

- Mi participación es completamente libre y voluntaria y estoy en libertad de retirarme de ella en cualquier momento.
- No recibiré ningún beneficio personal de ninguna clase por la participación en este proyecto de investigación. Sin embargo, se espera que la información aquí obtenida sirva para la elaboración de una investigación para la aplicación de energías limpias renovables en procesos de perforación de pozos de petróleo y gas en Colombia.

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, se realizan las siguientes preguntas:

1. ¿En que aplicaciones o tecnologías están actualmente trabajando para usar energías alternativas en los procesos de perforación de pozos en la empresa que usted trabaja? ¿O que usted conozca en otras empresas?

La industria de perforación terrestre está adoptando tecnologías avanzadas y fuentes de energía alternativas para optimizar la eficiencia operativa y reducir el impacto ambiental. Las principales estrategias incluyen:

- i. **Transición energética:** Implementación de taladros de perforación eléctricos y a gas natural para minimizar costos y emisiones.
- ii. **Super-spec rigs:** Equipos de alto rendimiento con mayor automatización y eficiencia energética.
- iii. **Optimización energética:** Aplicación de tecnologías que mejoran el rendimiento y reducen el impacto ambiental.
- iv. **Diversificación de fuentes:** Integración de electricidad, gas natural, baterías, celdas solares y soluciones híbridas para reducir la huella de carbono.

2. Qué fuentes de energía se podrían utilizar para equipos de combustión interna? ¿Y cuáles no?

El gas natural se posiciona actualmente como la alternativa más viable para la transición energética en la perforación terrestre, gracias a su disponibilidad, eficiencia operativa y menor impacto ambiental en comparación con el diésel. Si bien existen otras opciones como el hidrógeno y el bioetanol, su desarrollo aún se encuentra en fases experimentales. Los altos costos asociados a la investigación y pruebas dificultan su adopción a gran escala, por lo que, por ahora, no representan una opción realista para la industria.

La evolución hacia soluciones más sostenibles dependerá de avances tecnológicos y económicos que permitan la viabilidad de estas fuentes energéticas emergentes. Sin embargo, en el contexto actual, el gas natural sigue siendo la mejor opción para optimizar la eficiencia y reducir la huella de carbono. No obstante, lo anterior sabemos que actualmente en Colombia estamos afrontando una escasez en la oferta de gas natural, por lo que estamos importando a precios altos para poder cubrir el consumo nacional, es decir quemar gas para mover un taladro de perforación no es una opción actualmente viable en Colombia.

**¿Qué regulaciones ambientales se requieren o aplican para lograr la utilización de energías alternativas?**

Las regulaciones ambientales para la implementación de energías alternativas varían según cada país y región, pero generalmente contemplan:

- i. **Licencias ambientales:** En Colombia, el Gobierno evalúa exonerar proyectos de energía renovable de hasta 100 megavatios para agilizar su desarrollo.
- ii. **Normativas de impacto ambiental:** Se establecen requisitos para minimizar los efectos de proyectos solares, eólicos, geotérmicos y de biomasa en el ecosistema.
- iii. **Regulación de emisiones:** Se imponen límites a los gases contaminantes y se fomenta la adopción de tecnologías limpias.
- iv. **Incentivos fiscales y financieros:** Algunos países ofrecen beneficios tributarios para impulsar la inversión en energías renovables.
- v. **Consultas previas:** En ciertos casos, se exige la participación de comunidades locales antes de aprobar proyectos energéticos.

**3. ¿Qué beneficios tributarios se tienen al aplicar energías alternativas en las operaciones asociadas a los taladros de perforación y cómo impacta en su organización?**

Igual que el punto anterior, estas dependen de cada país, por ejemplo en Colombia: Se ofrecen beneficios específicos para fomentar el uso de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) y la eficiencia energética, entre los que destacan:

- I. **Deducción del impuesto de renta:** Hasta el 50% del valor de la inversión en proyectos de energías renovables.
- II. **Exclusión de IVA:** Exención para equipos y servicios destinados a proyectos de energía alternativa.

III. **Exención arancelaria:** Beneficio en la importación de equipos para proyectos renovables.

IV. **Depreciación acelerada:** Reducción más rápida del valor fiscal de activos para mejorar la rentabilidad.

4. ¿Cuál o cuáles energías alternativas cree usted que pueda (n) ser la (s) más opcionada (s) para ser utilizada (s) en el funcionamiento de un taladro de perforación? ¿Por qué?

La viabilidad de las soluciones energéticas en perforación varía según el país. En Colombia, el uso de motores a gas y rigs eléctricos en pozos exploratorios no es viable por el momento para desarrollar campañas de perforación de pozos exploratorios, debido a la falta de infraestructura en las locaciones.

En contraste, en EE. UU., el gas natural es ampliamente utilizado, y el High Line Power está en expansión. Sin embargo, su implementación requiere inversiones de CAPEX adicionales por parte de las empresas contratantes.

5. ¿En qué tiempo cree usted que pueda ser aplicada una energía alternativa en los procesos de perforación en Colombia? ¿De qué considera que depende ese tiempo?

La implementación generalizada de estas soluciones en perforación no será viable en los próximos 2 o 3 años, dadas las condiciones políticas y socioeconómicas actuales. Su materialización dependerá de la viabilidad técnica, financiera y legal que el país pueda ofrecer a los inversionistas extranjeros.

6. ¿Como cree que la reducción de la huella de carbono al usar energías alternativas en los procesos de perforación ayudan en la optimización del CAPEX u OPEX en su organización?

La incorporación de tecnologías para el uso de energías alternativas y fuentes más limpias requiere una inversión significativa en CAPEX e investigación y desarrollo, lo que eleva la exigencia de los modelos económicos para garantizar un ROI aceptable para los inversionistas.

Actualmente, estas soluciones no representan una alternativa rentable, sino más bien un concepto en desarrollo, cuya viabilidad a largo plazo está por verse y dependerá de avances tecnológicos, incentivos gubernamentales y condiciones de mercado favorables.

7. ¿Cuáles son los principales obstáculos o retos que se tienen hoy en día para la implementación del uso de energías alternativas en los procesos de perforación en Colombia?

Las principales barreras para la adopción de energías alternativas en la perforación terrestre incluyen falta de regulación clara, inestabilidad legal y tributaria, infraestructura insuficiente, permisos complejos, costos elevados, riesgos de seguridad, factores sociales y falta de capacitación técnica.

Superar estos desafíos requiere estabilidad regulatoria, incentivos financieros y desarrollo de infraestructura adecuada.

8. ¿En qué países ve mayores oportunidades de expansión y por qué? ¿Cree que Colombia es un país con potencial para el desarrollo y expansión de proyectos?

El Medio Oriente se ha consolidado como una región estratégica para la industria de oil & gas, gracias a su legislación favorable, tributación mínima o nula, alta seguridad para la ejecución de proyectos y ausencia de obstáculos sociales. Además, ofrece remuneraciones competitivas por tecnologías avanzadas y permite desarrollar campañas de perforación extensas.

En Latinoamérica, Argentina se posiciona como el mercado más atractivo por su apertura a inversionistas extranjeros en oil & gas, seguido por Ecuador y Brasil. En Colombia, aunque existe potencial, las condiciones actuales aún no favorecen una inversión sostenida en el sector.

9. ¿Cuál considera que será el alcance de las energías alternativas en las operaciones de los taladros de perforación en Colombia en los próximos 10–20 años?

El futuro de la perforación terrestre en Colombia está profundamente ligado a la estabilidad política y económica del país. Las constantes fluctuaciones en las políticas gubernamentales han generado incertidumbre para los inversionistas, afectando el desarrollo sostenido de nuevos proyectos.

Sin embargo, si las condiciones regulatorias y de mercado evolucionan favorablemente en los próximos 10-20 años, es probable que se adopten rigs con motores 100% a gas natural como una alternativa más eficiente y sostenible. Asimismo, en algunos proyectos de producción, la implementación de High Line Power podría optimizar el rendimiento energético y reducir costos operativos en programas de perforación de pozos en zonas de desarrollo.

10. ¿Qué mensaje transmitiría usted a los gobiernos, compañías e inversionistas para apoyar los proyectos que involucren estas tecnologías?

Colombia no es un país petrolero, pero sí depende del petróleo para su funcionamiento, lo que hace que el desarrollo de sus propios recursos sea una estrategia esencial para su estabilidad energética y económica. El petróleo y el gas, bien gestionados, siguen siendo fuentes de energía fundamentales para el desarrollo global, y su impacto depende más de cómo se administran que de su composición intrínseca. Al igual que las medicinas, un manejo adecuado maximiza sus beneficios, mientras que una gestión deficiente puede generar consecuencias negativas.

Recomendaciones para los gobiernos:

- I. Facilitar regulaciones y políticas públicas que incentiven la inversión en tecnologías limpias, reduciendo barreras burocráticas y agilizando permisos.
- II. Ofrecer incentivos fiscales y financiamiento para que las empresas puedan migrar a fuentes renovables sin comprometer su competitividad.
- III. Promover estabilidad regulatoria, asegurando un entorno predecible que genere confianza en los inversionistas y fortalezca el desarrollo de proyectos energéticos sostenibles.
- IV. Regulación específica del componente social en proyectos de perforación de oil & gas. Desarrollar un marco normativo integral que garantice una gestión social responsable, promoviendo la participación comunitaria, el respeto mutuo entre empresas del sector y sus empleados, la protección ambiental y el desarrollo sostenible de las regiones involucradas.

Este enfoque debe equilibrar realismo y visión estratégica, asegurando que la transición energética sea viable sin comprometer la seguridad energética ni la estabilidad económica del país. Asimismo, se debe evitar el abuso por parte de comunidades, autoridades y/o las empresas, garantizando la aplicación efectiva de la regulación existente, ya que actualmente la industria se encuentra desprotegida.

La información que usted suministre será de carácter confidencial y únicamente será utilizada para fines académicos en la presente investigación, de acuerdo con la Ley de Protección de Datos (Ley 1581 de 2012). Con su firma usted manifiesta la aceptación y consentimiento para el manejo de la información aportada y su veracidad; así mismo su participación voluntaria en ella.

**Gonzalo Bolaños**  
 Digitally signed by  
 Gonzalo Bolaños  
 Date: 2025.06.03  
 16:41:23 -05'00'

Nombre:  
 Cargo: