



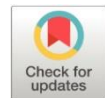


Soluciones energéticas sostenibles: un estudio sobre estrategias para el uso de gas asociado a la extracción de petróleo en la industria ecuatoriana

Sustainable energy solutions: a study on strategies for the use of gas associated with oil extraction in Ecuadorian industry

- ¹ Sandra Elizabeth Travez Osorio  <https://orcid.org/0000-0002-4546-4541>
Investigadora independiente
sandt197@gmail.com
- ² Carlos Jeanpier Yagos Arias  <https://orcid.org/0009-0000-4978-2574>
Universidad de las Fuerzas Armadas. Carrera de Petroquímica, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica. Ecuador.
cjyagos@espe.edu.ec
- ³ Jefferson Steeven Endara Lagaquiza  <https://orcid.org/0009-0004-7724-5003>
Investigador independiente. Maestrante en Ingeniería en Petróleo y Gas Natural de la Universidad de Buenos Aires
[jsendar01@gmail.com](mailto:jsendara01@gmail.com)
- ⁴ Juan Carlos Tapia Molina  <https://orcid.org/0009-0008-3777-7901>
Magister en Petróleos Mención en Procesos de Producción e Industrialización de Hidrocarburos
juanctapiam90@gmail.com



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 11/01/2024

Revisado: 13/02/2024

Aceptado: 04/03/2024

Publicado: 05/04/2024

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v6i2.467>

Cítese:

Trávez Osorio, S. E., Yagos Arias, C. J., Endara Lagaquiza, J. S., & Tapia Molina, J. C. (2024). Soluciones energéticas sostenibles: un estudio sobre estrategias para el uso de gas asociado a la extracción de petróleo en la industria ecuatoriana. AlfaPublicaciones, 6(2), 52–72. <https://doi.org/10.33262/ap.v6i2.467>



ALFA PUBLICACIONES, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://alfapublicaciones.com>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec

Esta revista está protegida bajo una licencia **Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International**. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Palabras claves:

Gas asociado,
Generación
eléctrica, primus
SGT+,
reinyección de
gas, factor de
recuperación.

Resumen

Introducción: Por años en la industria ecuatoriana del petróleo & gas, la producción de hidrocarburos genera gas asociado, que en la actualidad mayormente es quemado, aunque existen normativas medioambientales que exigen un control de emisiones para el cumplimiento de buena calidad del aire. La iniciativa mundial “Cero quemas regulares de gas para 2030” de la que Ecuador es parte, impulsa el cambio hacia la utilización del gas frente a la quema en teas. Este artículo propone estrategias como la generación de energía eléctrica, la conversión de gas en líquido y la reinyección de gas para mejorar la sostenibilidad y la eficiencia de los recursos, en consonancia con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 13. **Objetivo:** Proponer tres estrategias para el aprovechamiento del gas asociado, utilizando datos de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables de Ecuador y EP Petroecuador se asume un gas dulce, con las estrategias propuestas que son; generación de electricidad; proceso de síntesis de gas a gasolina STG+ y reinyección de gas en recuperación secundaria. **Metodología:** El presente es un estudio cualitativo y comparativo de tres opciones estratégicas para el uso de gas asociado en la industria ecuatoriana del petróleo & gas. Se detalla y explica desde la teoría los fundamentos y funcionamiento de cada estrategia. Se ha asumido la presencia de gas asociado dulce, los todos usados para este estudio fueron obtenidos de reportes oficiales de la agencia de regulación y control de energía y recursos naturales no renovables de Ecuador, así como otras fuentes confiables de información. **Resultados:** El dar uso al gas asociado mediante generación eléctrica con turbinas de gas podría ahorrar \$1801,8/día o \$1831,8/mes en costo de consumo eléctrico. La síntesis de gas a gasolina STG+ podría costar \$167-440 millones con un TRC estimado de 3 a 6 años. En cuanto a la reinyección de gas en recuperación secundaria, aumentaría la recuperación de crudo hasta 20% y reduce el impacto ambiental. **Conclusiones:** Se concluye que las estrategias planteadas son sostenibles, variables económicamente apuntan a mejorar la eficiencia energética y medioambiental. La generación de electricidad con gas asociado reduce el costo energético y disminuye las emisiones de gases de combustión de las teas. La síntesis de gas a gasolina STG+ es rentable y sostenible y coadyuva a reducir de

la huella de carbono. Finalmente, reinyección de gas en recuperación secundaria ayuda a la extracción de crudo y se adapta a las características del reservorio, además, mitiga riesgos ambientales. **Área de estudio general:** Oil & gas. **Área de estudio específica:** Gas asociado. **Tipo de estudio:** caso de estudio, revisión bibliográfica.

Keywords:

Associated gas, power generation, primus SGT+, gas reinjection, recovery factor, technology, environment.

Abstract

Introduction: For years in the Ecuadorian oil & gas industry, hydrocarbon production generates associated gas, which is currently mostly flared, although there are environmental regulations that require emission control for compliance with good air quality. The global initiative "Zero Regular Gas Flaring by 2030", of which Ecuador is part, promotes the shift towards the use of gas instead of flaring. This article proposes strategies such as electric power generation, gas-to-liquid conversion and gas re-injection to improve sustainability and resource efficiency, in line with Sustainable Development Goal 13. **Objetivo:** Proponer tres estrategias para el aprovechamiento del gas asociado, utilizando datos de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables de Ecuador y EP Petroecuador se asume un gas dulce, con las estrategias propuestas que son; generación de electricidad; proceso de síntesis de gas a gasolina STG+ y reinyección de gas en recuperación secundaria. **Methodology:** The present is a qualitative and comparative study of three strategic options for the use of associated gas in the Ecuadorian oil & gas industry. The fundamentals and operation of each strategy are detailed and explained from a theoretical point of view. The presence of sweet associated gas has been assumed, the all used for this study were obtained from official reports of the agency of regulation and control of energy and non-renewable natural resources of Ecuador, as well as other reliable sources of information. **Results:** Making use of the associated gas through gas turbine power generation could save \$1801.8/day or \$1831.8/month in electricity consumption cost. Gas-to-gasoline STG+ synthesis could cost \$167-440 million with an estimated TRC of 3 to 6 years. As for gas reinjection in secondary recovery, it would increase crude oil recovery up to 20% and reduce environmental impact. **Conclusions:** It is concluded that the strategies proposed

are sustainable, economically variable aim to improve energy and environmental efficiency. The generation of electricity with associated gas reduces the energy cost and decreases the emissions of combustion gases from the plants. Gas-to-gasoline synthesis STG+ is cost-effective and sustainable and helps reduce the carbon footprint. Finally, gas reinjection in secondary recovery helps crude extraction and adapts to the characteristics of the reservoir, in addition, it mitigates environmental risks.

Introducción

En la industria del petróleo y gas ecuatoriana, la producción de hidrocarburos genera toneladas de gas asociado, el cual mayormente es quemado es combustionado, aunque en la materia de las regiones donde esto sucede las regulaciones ambientales obligan a controlar las emisiones de gas, con la finalidad de tener una buena calidad del aire en cumplimiento de las leyes ambientales y el artículo 14 de la Constitución de la República del Ecuador, reconociendo el derecho de los ciudadanos a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, asegurando el Sumak Kawsay como medio para lograr la sostenibilidad y el bienestar en las poblaciones vecinas. Según la norma ISO 23251 referente a las industrias del petróleo y gas asociado, gas natural: sistemas de alivio y despresurización, vinculada a las mejores prácticas para instalaciones petroleras, las unidades de proceso en plantas y refinerías deben contar con accesorios e instalaciones adecuadas para el alivio de presión, por lo que la eliminación de antorchas de quema de gas asociado a la producción petrolera es cada vez más una realidad, ya que Ecuador es parte de la iniciativa mundial denominada “Cero quema regular de gas para 2030”. Y es por ello por lo que, la industria ecuatoriana tiene premura en el esfuerzo continuo de mejorar las tecnologías vigentes en el uso del gas asociado.

El objetivo de este artículo científico es proponer tres estrategias para el aprovechamiento del gas asociado, utilizando datos de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables de Ecuador y EP Petroecuador se asume un gas dulce. Las estrategias propuestas son las siguientes

- Generación de electricidad; en esta estrategia se propone el uso de turbinas de gas para generar electricidad a partir del gas asociado.
- Proceso de síntesis de gas a gasolina más STG; implica un proceso de síntesis para convertir el gas asociado en gasolina de alta calidad, utilizando la tecnología syn gas to gasoline plus (STG+).

- Esta estrategia consiste en reinyectar gas asociado en los yacimientos para mejorar la recuperación secundaria de hidrocarburos.

Con las que buscan maximizar la utilización del gas asociado, contribuyendo a la eficiencia energética y a la optimización de los recursos en el contexto de la industria petrolera en Ecuador.

Se propone estas estrategias alineadas con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 13 con el que se pretenden optimizar la eficiencia energética, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuir a la sostenibilidad medioambiental a mediano y largo plazo, idealizando el mitigar daños a las comunidades, los ecosistemas circundantes y la infraestructura de procesamiento de petróleo en Ecuador.

Metodología

En este estudio, la metodología adoptada sigue un enfoque de investigación cualitativa, centrándose específicamente en un análisis comparativo de tres opciones estratégicas propuestas para la utilización del gas asociado en la industria ecuatoriana del petróleo y el gas. El diseño de la investigación abarca una revisión bibliográfica exhaustiva de los estudios, informes y datos industriales existentes relativos a la extracción de petróleo y gas en Ecuador.

Dada la naturaleza del estudio, principalmente exploratorio y analítico, se considera apropiado un diseño de investigación cualitativo para profundizar en las complejidades y matices de las opciones estratégicas propuestas. Mediante una síntesis de la bibliografía y los datos pertinentes, este estudio pretende aportar valiosas ideas y recomendaciones a los responsables políticos, las partes interesadas del sector y los investigadores interesados en optimizar la utilización de los recursos de gas asociado en el contexto ecuatoriano.

Estrategia 1: Generación eléctrica

El gas asociado, una vez acondicionado, puede utilizarse en la generación de electricidad en función de su caracterización y poder calorífico, debido al enfoque de esta investigación se propone la generación de electricidad para un gas dulce, con alto contenido de metano. Teniendo en cuenta que, la turbina se ha diseñado para extraer energía de un fluido en movimiento y convertirla en energía útil, dentro de este dispositivo, las partículas del flujo a alta velocidad sufren un cambio en su dirección de movimiento, lo que da lugar a una variación del momento y, en consecuencia, a una fuerza (Ulloa-de Souza, 2023).

Las turbinas de gas en función de su diseño tienen un motor de combustión interna que sirve como dispositivo de conversión de energía, transformando la energía almacenada

en el combustible en energía mecánica útil en forma de potencia rotacional. El término "gas" se refiere al aire ambiente introducido en el motor y utilizado como medio de trabajo en el proceso de conversión de energía (Solar Turbines a Caterpillar Company, 2024). Por lo tanto, una turbina es un dispositivo que aprovecha la energía cinética de un fluido, como el agua, el vapor, el aire o los gases de combustión, y la convierte en movimiento de rotación del propio dispositivo (Sidebotham, 2022).

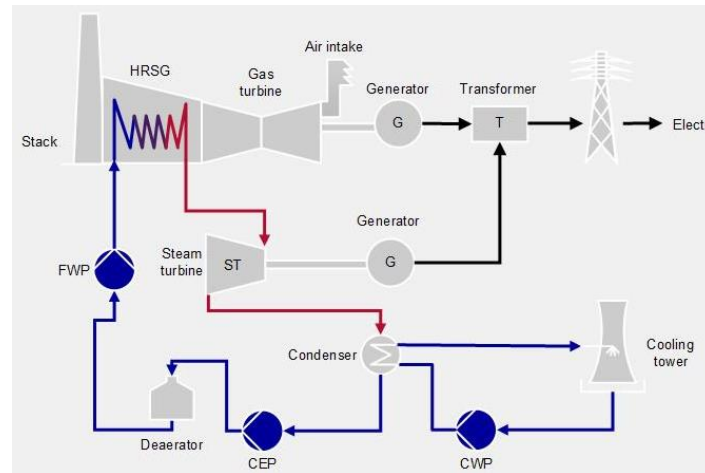
La generación de electricidad a partir del gas

Se produce mediante centrales de ciclo convencional o de ciclo combinado. También puede lograrse mediante micro generación, una producción combinada de energía eléctrica y térmica a partir de una única fuente de energía primaria de baja potencia. El uso del gas como combustible en la generación de electricidad en centrales de ciclo combinado ofrece dos ventajas significativas: mayor eficiencia energética y menor impacto ambiental. El ciclo combinado (turbina de gas y turbina de vapor) permite un aprovechamiento óptimo del calor de combustión, lo que se traduce en una eficiencia superior al 55%, mientras que las centrales térmicas tradicionales tienen eficiencias que no superan el 35%.

Además, las centrales de ciclo combinado son más flexibles que las convencionales, capaces de funcionar a plena carga o a carga parcial según las necesidades. El gas se quema en un quemador de turbina de gas que acciona un generador para producir electricidad. Los gases de escape calientes de la turbina de gas se dirigen a un generador de vapor con recuperación de calor (HRSG) para generar vapor subcrítico o supercrítico. Este vapor se envía a una unidad turbina/generador para producir electricidad adicional y, posteriormente, pasa por un condensador para convertirse de nuevo en agua desmineralizada. En este proceso se utilizan varias bombas, como bombas de agua de alimentación de caldera (FWD), bombas de extracción de condensado (CED), bombas de agua de refrigeración (CWP), bombas de inyección de combustible, bombas de alivio de NOx, bombas de reposición y otras bombas de servicios auxiliares, como se muestra en la figura siguiente. La cogeneración con turbina de gas es un proceso en el que la generación de energía con turbina de gas se combina con la generación de vapor para mejorar la eficiencia (Sulzer, 2024).

Figura 1

Central eléctrica de combustión de gas



Fuente: FWP es la bomba de agua de alimentación (Feed water pump). CEP, es bomba de extracción de condensado (Condensate extraction pump) y CWP es bomba de agua de refrigeración (Cooling water pump) (Sulzer, 2024).

Según Cogenera México (2024), las turbinas de gas son capaces de generar energía mecánica mediante la combustión de una mezcla de combustible y aire, con temperaturas que oscilan entre 280 y 700°C a la salida de la turbina. Estas turbinas funcionan según el ciclo Brayton, que consta de un compresor, una cámara de combustión y una turbina de gas. Tienen una amplia gama de aplicaciones, como la propulsión y la generación de electricidad, con potencias de hasta 500 MW. Las turbinas de gas ofrecen ventajas como un alto rendimiento, tiempo de arranque rápido y requisitos de espacio mínimos, pero también tienen limitaciones como un rendimiento reducido a cargas parciales y limitaciones de combustible (Lozano, 1998; Aguilar, 2023).

La cogeneración con turbinas de gas destaca por su eficiencia, sus bajos costes de inversión. Esta tecnología es alabada por su versatilidad y sus beneficios medioambientales, ya que reduce las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) hasta en un 75% y ofrece un importante ahorro de costes a las industrias. Las turbinas de gas pueden quemar distintos combustibles, como gas natural o asociado, gasóleo, biogás, gas de vertedero y gas de síntesis, lo que las hace adaptables a diversas condiciones ambientales de la industria oil y gas en Ecuador y fuentes de combustible (Aguilar, 2023).

La selección de la turbina óptima para la generación de electricidad utilizando gas asociado procedente de la explotación petrolífera en Ecuador depende de varios factores, como la cantidad y calidad del gas disponible, la capacidad de generación de la planta, los objetivos de eficiencia energética y de costes, así como las condiciones

medioambientales y operativas específicas del emplazamiento. Las turbinas más recomendadas para la generación eléctrica son; General Electric (GE), Siemens y Mitsubishi. No obstante, Para el sector del petróleo y el gas de Ecuador, GE es famosa por sus eficientes turbinas de gas y su fiable tecnología de generación de energía (General Electric, 2024).

Por otro lado, para el desarrollo de cálculos de generación eléctrica se utilizará Python, el cual combina el conocimiento de los principios de generación eléctrica con las capacidades de programación de Python y librerías especializadas para realizar análisis detallados, simulaciones y optimizaciones en sistemas de generación eléctrica.

Estrategia 2: Proceso de síntesis de gas a gasolina SGT+

El proceso que emplea la tecnología MTG permite convertir el gas de síntesis derivado del gas natural o asociado en gasolina y combustible para aviones a través de un proceso termoquímico de circuito único (LaMonica, 2012).

El proceso STG + se basa en 4 paso principales en un ciclo de proceso continuo. Este proceso consta de 4 reactores de lecho fijo en serie en los que un gas de síntesis se convierte en combustibles sintéticos. Los pasos para producir gasolina sintética de alto octanaje son los siguientes (Primus Green Energy, 2013).

Inicialmente se hará un pretratamiento del gas de alimentación para eliminar las impurezas como azufre o compuestos de halógenos, estos deben eliminarse mediante procesos de desulfuración y eliminación de halógenos para evitar la contaminación del catalizador en etapas posteriores. Seguidamente se sintetizará metanol como primera fase en donde se convertirá la mayor parte del gas en metanol, pasará luego a la segunda fase en donde se obtendrá éter dimetílico (DME) a través de un catalizador, como tercera fase se sintetizará la gasolina que contine hidrocarburos sin enlaces doble y triples para finalmente tartar esta gasolina con el proceso de transalquilación e hidrogenación en donde se separa esta mezcla para condensar y obtener gasolinas sintéticas compuesto de parafinas, cadenas aromáticas y naftenos. Los diferentes productos obtenidos, incluida la gasolina, se mezclan en las proporciones adecuadas para obtener los productos finales deseados, como gasolina plus de alta calidad.

La conversión de gas asociado en líquidos (GTL) es una estrategia atractiva para las empresas petroleras en Ecuador, especialmente en el contexto del gas dulce. El gas dulce, que contiene bajos niveles de azufre y otros contaminantes, es una materia prima valiosa que puede aprovecharse de manera más eficiente a través de procesos GTL.

Al transformar el gas en líquidos como gasolina, gasóleo o queroseno, las empresas petroleras pueden generar productos de mayor valor añadido que son más fáciles de transportar, almacenar y comercializar tanto a nivel local como internacional. Esto no

solo aumenta la rentabilidad de las operaciones petroleras en Ecuador, sino que también contribuye a la reducción de la huella de carbono en comparación con la combustión directa de gas.

La adopción de procesos GTL también promueve la sostenibilidad medioambiental al utilizar de manera más eficiente los recursos naturales. En lugar de desperdiciar el gas asociado mediante la quema directa, el GTL permite aprovechar al máximo este recurso al convertirlo en productos líquidos de alto valor. Esto no solo reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también minimiza la contaminación atmosférica y el desperdicio de recursos naturales.

Además, al alinear las operaciones petroleras con las normas medioambientales vigentes, las empresas en Ecuador pueden mejorar su reputación y cumplir con las expectativas cada vez mayores de los consumidores y los inversores en cuanto a prácticas empresariales sostenibles.

Estrategia 3: reinyección de gas - recuperación secundaria

El gas asociado se utiliza comúnmente para mejorar la recuperación de petróleo o la eliminación de gases altamente contaminados donde los costos de reinyección son menores a los del tratamiento de gas. Este método se usa para mejorar la recuperación de petróleo atrapado manteniendo la presión del reservorio. Es idóneo utilizar la reinyección en cantidades reducidas de gas asociado, motivo que resulta antieconómico en la inversión para la distribución de gas (Khalid et al., 2022).

Algunos países especialmente Canadá y Estados Unidos, han permanecido en la vanguardia de las inundaciones de gas de petróleo la cual tiene mayor proporción en la producción de EOR. China empezó tarde pero rápidamente logró exitosas pruebas piloto en yacimientos petrolíferos y entro etapa de prueba expandida. Sin embargo, se encuentra todavía en su conjunto en la fase de prueba piloto, que actualmente se está abordando y centrando notablemente en su atención (Liu et al., 2020).

Método de inyección de gas

Después de las técnicas térmicas para petróleo pesado esta la inyección de gas el cual es el segundo enfoque más importante de EOR. Por lo general, el gas se inyecta con agua para ampliar el contacto del gas en la roca reservorio. Esta técnica fue creada para mejorar el control del perfil de inundaciones. En comparación con una simple inyección de agua, el aumento de la eficiencia del barrido microscópico en gas y la mejora de la eficiencia del desplazamiento macroscópico en agua mejoran en gran medida el petróleo producido (Li et al., 2023).

Recientes tipos de investigación lo representan como el enfoque más exitoso para los yacimientos shale. En general, el gas se puede inyectar en el yacimiento de tres maneras: Inyección alternada de agua y gas (WAG), inundación continua y método de Huff y Puff (HnP), cada una de las cuales tiene su propia variedad de ventajas y desventajas (Li et al., 2023).

Inundación continua de gas

En este proceso, se inyecta gas continuamente, mientras que se produce petróleo continuamente. Para generar miscibilidad entre gas y petróleo se utilizan el proceso multicontacto, mecanismos de condensación o vaporización, o su combinación. La inyección de gas para impulsar el petróleo a la superficie desde el pozo de producción se conoce como inundación continua de gas (Li y otros, 2023).

Inyección alternada de agua y gas

Hoy en día, el método WAG se aplica en casi todos los procesos de inyección de gas. Los bajos factores de recuperación en aplicaciones de campo WAG han impulsado una extensa investigación sobre el proceso, lo que ha llevado a valores optimizados para la relación WAG y limitaciones de baja inyectividad. A pesar de estos avances, el desempeño del campo WAG sigue siendo deficiente (Li et al., 2023).

Para WAG se debe calcular el volumen total de gas a inyectar, así como la relación agua-gas y la frecuencia (número de ciclos de gas-agua). También se ha realizado inyección simultánea de gas agua (SWAG), aunque debido a la inyección en varias fases requiere un seguimiento exhaustivo. Debido a que cada yacimiento y petróleo tiene propiedades únicas, se debe analizar y simular el esquema de inyección exacto para las propiedades de cada yacimiento (Li et al., 2023).

Método de Huff y Puff

El gas se inyecta de forma cíclica, es una técnica EOR cíclica del mismo pozo con dos períodos principales: inyección (huff) y producción (puff), así como un período de cierre opcional (soak), después de la inyección para extender los efectos de difusión. El gas se disolvería y expandiría el volumen de petróleo, logrando la miscibilidad en presiones de inyección altas (Li y otros, 2023).

Desarrollo

Estrategia 1: Generación eléctrica

El desarrollo de cálculos de generación eléctrica utilizando Python implica el uso de librerías especializadas para realizar cálculos matemáticos y manipulación de datos de forma eficiente. Python, al ser un lenguaje de programación versátil y potente, se ha

convertido en una herramienta popular para simular y analizar sistemas de generación eléctrica, para llevar a cabo este proceso, es esencial tener en cuenta los principios básicos de la generación eléctrica, como la conversión de energía mecánica en energía eléctrica a través de generadores. En Python, se pueden utilizar librerías como NumPy para los cálculos numéricos, Pandas para la manipulación de datos y Matplotlib para la visualización de resultados.

El volumen de gas a considerar para este estudio según la producción de gas natural, (se asume este valor como producción de gas asociado en la producción de crudo en 24 horas) sujeto a control reportado por EP Petroecuador (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2024) para el 26 de marzo son 20.605,76 MPCPD.

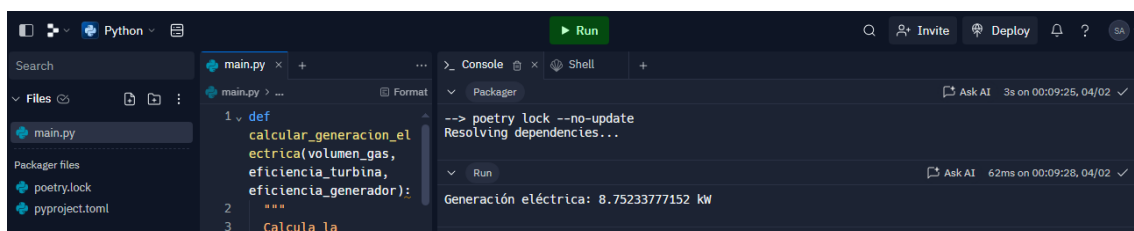
Las turbinas industriales de gas y las turbinas de ciclo combinado de GE están diseñadas para ofrecer altos niveles de eficiencia energética, pudiendo alcanzar eficiencias superiores al 40% en condiciones ideales de operación (Takeishi, 2022). Sin embargo, es importante tener en cuenta que la eficiencia real puede verse afectada por factores como la carga de la planta, tipo de gas, temperatura ambiente, la calidad del combustible y mantenimiento adecuado del equipo (Brooks, 2019). Para obtener información precisa sobre la eficiencia de una turbina GE para la industria oil and gas se recomienda consultar con el fabricante.

La eficiencia de los generadores eléctricos usado en esta industria depende de la tecnología, el mantenimiento y la carga de trabajo, por lo que requiere un análisis exhaustivo para una selección óptima, por lo que según Abramovich & Bogdanov (2021) se asumirá para este estudio una eficiencia del 90%.

Se procedió a la creación del código que calculo la generación eléctrica para una turbina de gas con un volumen de gas asociado de 20,605.76 Millones de pies cúbicos estándar por día (MSCFD), una eficiencia de la turbina del 40% y una eficiencia del generador del 90%, dando como resultado la generación eléctrica en kilovatios por hora (kWh) 8.75 kWh.

Figura 2

Calculo en Python de la generación eléctrica en kilovatios por hora



```
def calcular_generacion_electrica(volumen_gas, eficiencia_turbina, eficiencia_generador):  
    """  
    Calcula la  
    """
```

```
--> poetry lock --no-update  
Resolving dependencies...  
  
Run  
Generación eléctrica: 8.7523377152 KW
```

Nota: Python - Replit

Tabla 1

Comparativa entre kW y su costo en dólares

| | |
|--------------|--------|
| kWh | 8.75 |
| kW/día | 210 |
| cUSD/kWh. | 8,58 |
| cUSD/ kW/día | 1801,8 |

Nota: Tarifa industrial para el costo del servicio eléctrico en Ecuador por kilovatios por hora en Ecuador (cUSD).

Estrategia 2: Proceso de síntesis de gas a gasolina SGT+

La aplicación del proceso STG + implica una serie de etapas que involucra la conversión del gas de síntesis en hidrocarburos líquidos utilizando catalizadores y condiciones específicas de temperatura y presión (Energy, 2013)

1. Síntesis de metanol: se alimenta con gas de síntesis al reactor 1, el primero de los 4, que convierte la mayor parte del gas de síntesis (CO y H_2) en metanol (CH_3OH).
2. Síntesis de éter dimetílico (DME): el gas rico en metanol del reactor 1 se introduce en el reactor 2 El metanol se expone a un catalizador y gran parte se convierte en DME, lo que implica una deshidratación del metanol para formar DME (CH_3OCH)
3. Síntesis de gasolina: el gas que sale del reactor 2 se introduce en el 3, que contiene el catalizador para la conversión de DME en hidrocarburos, incluidas parafinas (también llamadas alcanos, hidrocarburos sin enlaces dobles ni triples), compuestos aromáticos, naftenos (cicloalcanos) y pequeñas cantidades de olefinas (alquenos), principalmente de C6 (número de átomos de carbono en la molécula de hidrocarburo) a C10.
4. Tratamiento de gasolinas: en el cuarto reactor se producen tratamientos de transalquilación e hidrogenación a los productos procedentes del tercero. Estos tratamientos reducen los componentes de dureno (tetrametilbenceno)/isodureno y trimetilbenceno, que se congelan a temperaturas relativamente altas y, por tanto, deben minimizarse en la gasolina (el combustible solo se puede utilizar en estado líquido). La gasolina sintética resultante tiene alto octanaje y las propiedades viscométricas deseables.
5. Separador: Finalmente, la mezcla del reactor 4 se condensa para obtener gasolina. El gas no condensado y la gasolina se separan en un condensador/separador convencional. La mayor parte de este gas no condensado se devuelve al reactor 1, dejando el producto de gasolina sintética compuesto de parafinas, cadenas aromáticas y naftenos. (Energy, 2013)

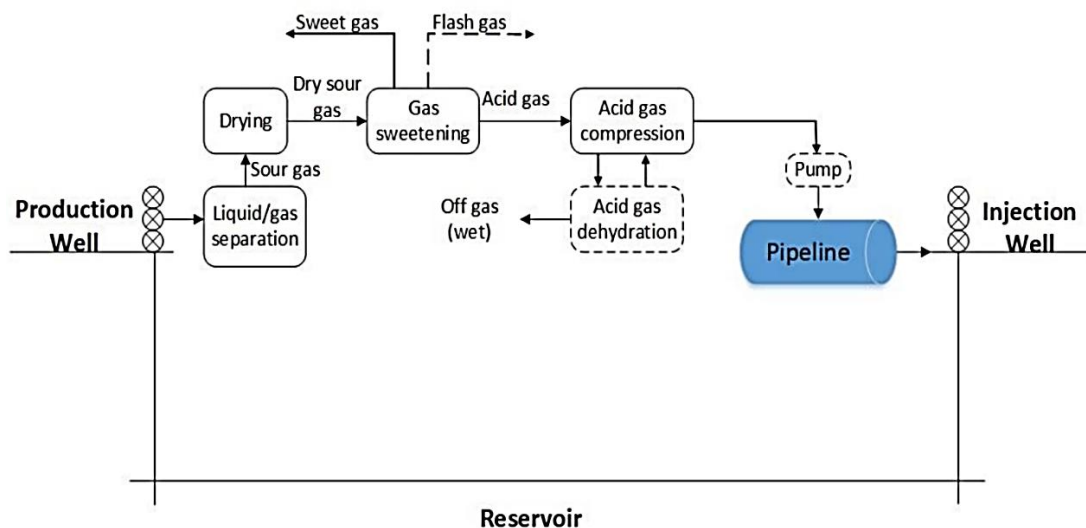
Estrategia 3: Reinyección de gas - Recuperación secundaria

Proceso

El gas pasa por una o dos etapas de absorción durante la cual entra en contacto con la solución de amina. Después de remover el H₂S y CO₂, se separa de la unidad de amina a bajas presiones y temperaturas altas. Por lo general, se comprime en tres o cuatro etapas para lograr propiedades de fluidos supercríticos y la presión necesaria para la inyección dentro de la formación. El gas ácido a alta presión se transporta a través de tuberías hasta boca de pozo; llega en un estado de fluido denso antes de ser inyectado en el reservorio a través del tubing. Dependiendo de la composición de gas también es necesario deshidratar el gas ácido para evitar formación de hidratos dentro de la tubería y evitar la corrosión (Kanakaki et al., 2023).

Figura 3

Proceso de tratamiento y reinyección de gas



Fuente: Kanakaki et al. (2023)

Resultados

Estrategia 1: Generación eléctrica

En base al resultado del cálculo en condiciones ideales se puede afirmar que, el aprovechamiento de gas asociado producción de crudo de un día, podría generar un ahorro en la tarifa industrial del servicio eléctrico en Ecuador por kilovatios por hora de \$ 1801,8 por día y alrededor de \$ 1831,8 por mes.

La eficiencia de una turbina GE para esta industria varía dependiendo del modelo específico y de las condiciones de operación del equipo. Cabe recalcar que, Siemens y Mitsubishi también son fabricantes destacados en este campo; sin embargo, la exclusión de estas marcas podría basarse en criterios específicos como los costes, requisitos técnicos particulares de la central eléctrica, disponibilidad de servicios de mantenimiento en Ecuador. Algunas opciones comunes para considerar incluyen, son; Turbina de gas industria, turbina de gas de ciclo combinado, turbina de gas aero derivativa y microturbinas.

Estrategia 2: Proceso de síntesis de gas a gasolina SGT+

Desde el punto de vista económico, estimado los costos aproximadamente para montar un proceso de conversión de gas a gasolina plus en una refinería con gas dulce podría estar en el rango de \$167 a \$440 millones de dólares, el costo puede variar significativamente según el alcance y la escala del proyecto.

El tiempo de recuperación del capital (TRC) es el período de tiempo necesario para recuperar la inversión inicial. Depende de los ingresos generados por el proyecto y los costos asociados. Para estimar el TRC, necesitamos considerar los siguientes factores:

- Ingresos por ventas de productos: Dependerán del precio de venta de la gasolina plus y otros productos derivados del proceso. Supongamos un ingreso anual de \$100 a \$200 millones de dólares.
- Costos operativos: Incluyen costos de mantenimiento, energía, mano de obra, materias primas, etc. Supongamos costos operativos anuales de \$50 a \$100 millones de dólares.

Con estas estimaciones, el flujo de efectivo neto anual podría estar en el rango de \$50 a \$100 millones de dólares.

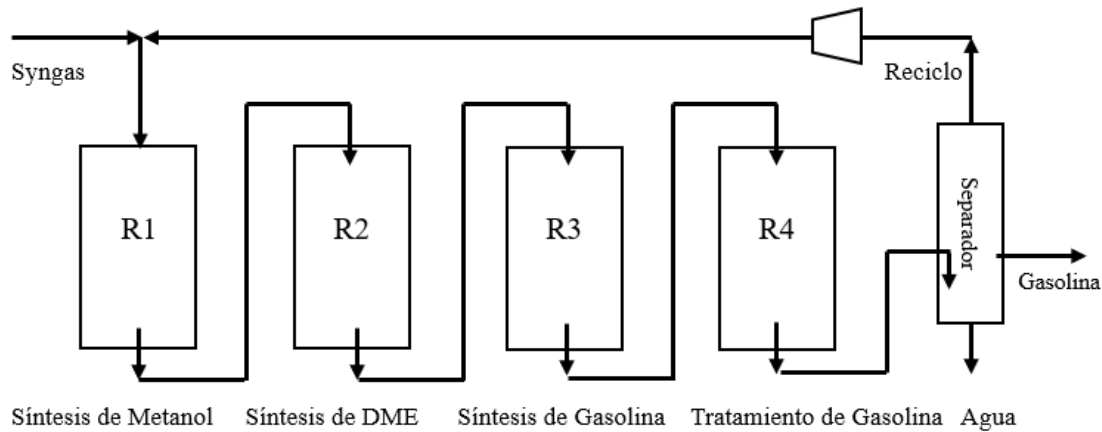
Entonces, el TRC se calcularía dividiendo la inversión inicial por el flujo de efectivo neto anual. Suponiendo una inversión inicial de \$300 millones de dólares:

$$\text{TRC} = \frac{300 \text{ millones de dolares}}{50 \text{ a } 100 \text{ millones de dolares/año}} \quad (1)$$

TRC=3 a 6 años

Figura 2

Proceso de síntesis de gas a gasolina plus



Fuente: Primus Green Energy (2013)

Estrategia 3: reinyección de gas - recuperación secundaria

Como resultado aumenta el factor de recuperación hasta en un 20% de un reservorio. Debido a la inyección del gas que desplaza al petróleo hacia la superficie. También reduce el impacto ambiental debido a que el gas inyectado no es tóxico y causa contaminación en comparación con otros métodos de recuperación primaria. La rápida reducción en la tasa de producción se controla mediante la perforación de pozos productores, para mantener la presión del reservorio se selecciona un pozo y se convierte en inyector de gas.

Análisis comparativo de estrategias propuestas

En la industria del petróleo y el gas, es crucial analizar distintas estrategias bajo altos índices de calidad, rentabilidad e innovación tecnológica, de modo que los parámetros como el impacto medioambiental, la eficiencia energética, la viabilidad económica y la innovación tecnológica (Chen et al., 2021) son cruciales para este estudio. La primera estrategia de generación eléctrica, destaca la importancia del uso del gas, para optimizar la eficiencia energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Iddio et al., 2020). El proceso de síntesis de gas a gasolina SGT+, apunta a la diversificación de las fuentes de energía e implantación de energías renovables y reducción de la dependencia de los combustibles fósiles (Mead & Denning, 2022). Finalmente, Reinyección de gas en recuperación secundaria, busca mejorar la eficiencia de los procesos de recuperación y minimizar el impacto medioambiental (Razak et al., 2020).

Se busca con estas estrategias contribuir a la sostenibilidad medioambiental, la eficiencia y transición energética, en esta industria, como se muestra en tabla 2.

Tabla 2

Comparación de estrategias en impacto medioambiental y sostenibilidad

| Estrategia | Impacto medioambiental y sostenibilidad |
|--|--|
| Generación eléctrica | Minimiza el uso de combustibles fósiles optimizando la eficiencia de la generación de energía y reduciendo las emisiones |
| Proceso de síntesis de gas a gasolina SGT+ | Implanta fuentes de energía renovables y reduce la dependencia de los combustibles fósiles derivados del petróleo. |
| Reinyección de gas - Recuperación secundaria | Mejora la eficiencia de los procesos de recuperación de petróleo, reduciendo residuos y busca minimizar el impacto medioambiental. |

Debido a que el 23 de enero de 2019, Ecuador se adhiere a la iniciativa mundial “Cero quemas regulares de gas para 2030 (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2024), es primordial ajustarse a los cambios que eso conlleva en tema de viabilidad económica y rentabilidad, es por ellos que en la tabla 3 se presenta una comparativa de las estrategias con las que se busca promover el uso de energías limpias, y cambio de matriz energética en la industria oil & gas.

Tabla 3

Comparación de estrategias en viabilidad económica y rentabilidad

| Estrategia | Viabilidad económica y rentabilidad |
|--|--|
| Generación eléctrica | Se prevé reducir costes y aumentar la rentabilidad a largo plazo. |
| Proceso de síntesis de gas a gasolina SGT+ | Invierte en fuentes de energía renovables para reducir los costes a largo plazo y garantizar el suministro energético. |
| Reinyección de gas - Recuperación secundaria | Maximizar beneficios y reduce significativamente residuos. Aumenta la eficiencia de recuperación de crudo. |

Ya en 2024 las empresas líderes a nivel mundial prestadoras de servicios en esta industria, están trabajando en nuevas tecnologías para la reducción de la huella de carbono (slb, 2024) que por años se generó producto de la extracción petrolera y de gas, no obstante, en la actualidad se busca garantizar la sostenibilidad y generar soluciones que se puedan

adoptar rápidamente en países como Ecuador y es por ello que, en la siguiente tabla se presenta los puntos más relevantes en innovación y desarrollo tecnológico de las estrategias presentadas en este estudio.

Tabla 4

Comparación de estrategias en innovación y desarrollo tecnológicos

| Estrategia | Innovación y desarrollo tecnológicos |
|--|--|
| Generación eléctrica | Busca aplicar tecnologías avanzadas de generación energía para mejorar la eficiencia energética. |
| Proceso de síntesis de gas a gasolina SGT+ | Utiliza tecnologías de punta para aprovechar fuentes de energía limpias y sostenibles. |
| Reinyección de gas - Recuperación secundaria | Es unas técnicas innovadoras para recuperación de petróleo, mejorando la eficiencia y minimiza el impacto ambiental. |

Conclusiones

- En conclusión, el análisis de las tres estrategias presentadas revela la importancia de la sostenibilidad medioambiental, la viabilidad económica, la innovación tecnológica, con el fin de mejorar la eficiencia energética, reducir las emisiones y minimizar el impacto en la calidad de aire en regiones pobladas circundantes a plataformas de explotación petrolera.
- La generación de electricidad a partir de gas asociado, una vez acondicionado, representa una importante oportunidad para la industria del petróleo & gas. Esta práctica no sólo permite utilizar un recurso que de otro modo se desperdiciaría, sino que también contribuye a diversificar la matriz energética y a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que según los resultados de esta investigación el uso eficiente del gas asociado en la generación de electricidad puede mejorar la eficiencia energética en plataformas de explotación de crudo. Esta estrategia alinea los intereses económicos con los objetivos medioambientales, promoviendo un enfoque más sostenible y rentable para la industria a largo plazo.
- La aplicación del proceso de conversión de gas a gasolina plus, es una estrategia rentable y sostenible para las empresas petroleras en Ecuador, especialmente en el caso del gas dulce. Al transformar este recurso en productos líquidos de mayor valor añadido, las empresas pueden aumentar su rentabilidad, reducir su huella de carbono y promover prácticas más sostenibles que beneficien tanto al medio ambiente como a la economía local e internacional. Es fundamental que las empresas en Ecuador continúen explorando y adoptando tecnologías innovadoras como el GTL para impulsar el desarrollo sostenible en el sector petrolero, el

tiempo de recuperación de capital se estima de 3 a 6 años dependiendo del costo del combustible.

- La reinyección del gas asociado es una estrategia para mejorar la recuperación de petróleo. Se usa principalmente en reservorios con baja permeabilidad y alta viscosidad, es decir donde los mecanismos de drenaje no son suficientes para mantener la presión del reservorio. La elección del gas depende de las características del reservorio, la cual puede adecuarse con los diferentes métodos de inyección mencionados. El proceso de endulzamiento permitirá eliminar los contaminantes del gas asociado y posteriormente la deshidratación con el propósito de reducir riesgos en la inyección al reservorio.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses en relación con el artículo presentado.

Referencias Bibliográficas

- Lozano, M. (1998). *COGENERACIÓN. Área de Máquinas y Motores Térmicos. Departamento de Ingeniería Mecánica. Uniersidad de Zaragoza*. Obtenido de <http://publicationslist.org/data/miguel.a.lozano/ref-183/Cogeneracion%201998%20%28Rev%202014%29.pdf>
- Abramovich, B., & Bogdanov, I. (2021). Improving the efficiency of autonomous electrical complexes of oil and gas enterprises. . *Записки Горного института*, 249, 408-416. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.3.10>
- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2024). *Reporte de producción diaria de petróleo y gas natural*. EP Petroecuador. Obtenido de <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/produccion-diaria-de-petroleo/>
- Aguilar , F. (2023). Incorporación de hidrógeno al gas natural en un sistema de cogeneración con turbina de gas diseñado para suministrar energía a comunidades conectadas mediante redes urbanas de calor. *Repositorio digital de la Universitat de Barcelona, [Maestria, Universitar de Barcelona]*. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/2445/202740>
- Brooks, F. (2019). *GE Gas Turbine Performance Characteristics*. GE Power Systems. Obtenido de https://www.governova.com/content/dam/gepower-new/global/en_US/downloads/gas-new-site/resources/reference/ger-3567h-ge-gas-turbine-performance-characteristics.pdf

Chen, M., Sinha, A., Hu, K., & Shah, M. (2021). Impact of technological innovation on energy efficiency in industry 4.0 era: Moderation of shadow economy in sustainable development. *Technological Forecasting and Social Change*, 167, 120521. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120521>

Cogenera México. (1 de abril de 2024). *Tecnologías*. Obtenido de Conceptos: <https://www.cogeneramexico.org.mx/public/Cogeneracion/Tecnologias/Conceptos>

Energy, P. G. (2013). Introduction to Primus' STG+ Technology. *Primus Green Energy*, 1.

EP Petroecuador. (1 de abril de 2024). *EP Petroecuador*. Obtenido de <https://www.eppetroecuador.ec/?p=21678>

General Electric. (1 de abril de 2024). *Solución técnica de GE para sus turbinas de gas móviles reduce las emisiones de CO y NOx*. Obtenido de General Electric Vernova: <https://www.governova.com/news/press-releases/solucion-tecnica-de-ge-para-sus-turbinas-de-gas-moviles-reduce-las-emisiones-de-co-y>

Iddio, E., Wang, L., Thomas, Y., McMorrow, G., & Denzer, A. (2020). Energy efficient operation and modeling for greenhouses: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117, 109480. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109480>

Kanakaki, E. M., Samnioti, A., Koffa, E., Dimitrellou, I., Obetzanov, I., Tsiantis, Y., . . . Stamataki, S. (2023). Prospects of an Acid Gas Re-Injection Process into a Mature Reservoir. *Energies*, 16, 26. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/en16247989>

Khalid, A., Khamayseh, M., & KIDAK, R. (2022). Gas Flaring, Composition, Emission, Measuring, Environmental Impacts and Recovery Methods: An Overview. *NeuroQuantology*, 20, 15. <https://doi.org/10.14704/nq.2022.20.8.NQ44888>

LaMonica, M. (2012). Natural Gas Tapped as Bridge to Biofuels. *MIT Technology Review*, 5.

Li, Z., Husein, M., & Hemmati-Sarapardeh, A. (2023). *Gas Injection Methods*. Gulf Professional Publishing. <https://doi.org/978-0-12-822302-4>

Liu, Z. X., Liang, Y., Wang, Q., Guo, Y. J., Gao, M., Wang, Z. B., & Liu, W. L. (2020). Status and progress of worldwide EOR field applications. *Elsevier*, 193, 32. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107449>

- Mead, W., & Denning, M. (2022). *Estimating Costs of Alternative. Regulatory Choices: A Perspective on Developments in Energy Policy*. Obtenido de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=41DhEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA187&dq=The+gas-to-gasoline+synthesis+process+plus+STG,+related+to+the+diversification+of+energy+sources,+advocates+the+implementation+of+renewable+energies+and+the+reduction+of+dependence>
- Primus Green Energy. (2013). Introduction to Primus' STG+ Technology. *Primus Green Energy*, 1. Obtenido de <https://archive.ph/20130411161606/http://www.primusge.com/press-room/white-papers/>
- Razak, A., Firdaus, M., Ariffin, Mohd , M., Singh, R., Singh, G., & Khalid, A. (2020). Assessment on Gas Re-Injection Performance After 19 Years: A Brownfield Case Study. In *SPE Europec featured at EAGE Conference and Exhibition?*, D031S017R004. <https://doi.org/https://doi.org/10.2118/200602-MS>
- Sidebotham, G. (1 de abril de 2022). Open Systems: Pumps and Turbines. En G. Sidebotham, *An Inductive Approach to Engineering Thermodynamics* (págs. 235–300). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-20430-3_5
- Solar Turbines A Caterpillar Company. (1 de abril de 2024). *Turbinas De Gas*. Obtenido de [Ventajas De Las Turbinas De Gas: https://www.solarturbines.com/es_MX/products/gas-turbines.html](https://www.solarturbines.com/es_MX/products/gas-turbines.html)
- Sulzer. (1 de abril de 2024). *Generación de energía por combustión de gas*. Obtenido de [Sulzer : https://www.sulzer.com/es-es/spain/applications/power-generation/fossil/gas-fired-power-generation](https://www.sulzer.com/es-es/spain/applications/power-generation/fossil/gas-fired-power-generation)
- Takeishi, K. (2022). Evolution of turbine cooled vanes and blades applied for large industrial gas turbines and its trend toward carbon neutrality. *Energies*, 15(15), 8935. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/en15238935>
- Ulloa, R., Reyna, L., & Chere, B. (s.f.). Cogeneración eléctrica a través de turbina de gas: una visión desde los Empresarios en Manabí. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 3(6), 237-250. <https://doi.org/https://doi.org/10.51798/sijis.v3i6.516>
- United Nations. (32 de marzo de 2024). *Department of Economic and Social Affairs*. Obtenido de [Take urgent action to combat climate change and its impacts: https://sdgs.un.org/goals/goal13](https://sdgs.un.org/goals/goal13)

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Alfa Publicaciones**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Alfa Publicaciones**.



Indexaciones

