



PetroRenova

REVISTA CIENTÍFICA DE LA ENERGÍA

INDEXED

DL: ZU2025000146

ISSN-E: 3080-6666

Zulia-Venezuela

VOLUMEN 2 - NÚMERO 3. JULIO-SEPTIEMBRE 2026

PetroRenova Indexed

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21812840>

Revista Científica de la Energía es un órgano de divulgación internacional de amplio alcance en las áreas de petróleo, gas y energías renovables, editada por **Petróleos & Renovables S. A.**, en alianza con el **Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño**. Es una revista venezolana, científica, especializada, en proceso de indexación y arbitrada bajo el sistema doble ciego. Sus publicaciones, de acceso abierto, están bajo licencia Creative Commons (BY-NC-SA) Atribución/Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Su publicación es trimestral, tiene como objetivo principal divulgar contenidos inéditos (en español e inglés), con la finalidad de ampliar el conocimiento en la industria de la energía, desde la innovación hasta la sostenibilidad, en la construcción, optimización y crecimiento científico del futuro, con perspectivas epistemológicas y metodológicas, en el sector de la industria a nivel nacional e internacional.

PetroRenova Indexed está dirigida a investigadores, profesionales, docentes, estudiantes y a todo el que esté interesado en profundizar sus conocimientos en las áreas de petróleo, gas y energías renovables, ya que, por su naturaleza interdisciplinaria, aporta saberes, constructos, teorías, métodos y otras aproximaciones, en sus publicaciones tipo artículos científicos, de reflexión, técnicos, de opinión, ensayos, reseñas, entrevistas, entre otras.

Equipo Editorial

Comité Editorial

Directora

Ing. Evelyn Quintero

Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño. Maracaibo, Venezuela.

Editor Jefe: Ing. Alexis Antonio Zavala. Universidad Privada Dr. Rafael Beloso Chacín. Maracaibo, Venezuela.

Editora Académica: Ing. Raiza Negrón. Petróleos & Renovables S. A. Maracaibo, Venezuela.

Asistente Editorial: Licda. Yulimar Jansen. Petróleos & Renovables S. A. Maracaibo, Venezuela.

Asesora Legal: Abog. Alcira Rodríguez. Petróleos & Renovables S. A. Maracaibo, Venezuela

Comité Científico

Esp. Elimar Anauro Rojas

Universidad del Valle. Tabasco, México.
<https://orcid.org/0009-0001-8616-3032>

Ing. Luis Edgardo Pérez

Universidad de Oriente. Cumaná, Sucre, Venezuela.
<https://orcid.org/0009-0001-8616-3032>

Ing. Carlos Jhesid Lazo

Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.
<https://orcid.org/0009-0007-4552-6435>

Ing. Omar Arístides Flores

IMR & Asociados. Buenos Aires, Argentina.
<https://orcid.org/0009-0006-1970-4026>

Ing. Yoel Antonio Vivas

Petróleos de Venezuela S.A. Caracas, Venezuela.
<https://orcid.org/0000-0003-0873-3578>

Ing. Antonio Jiménez

CMA Energy Consulting Group. Bogotá, Colombia.
<https://orcid.org/0009-0003-2715-7868>

Ing. Jorge Johan García Díaz

Operadora 3RP. Río de Janeiro, Brasil.
<https://orcid.org/0000-0003-0873-3578>

Ing. Marianto Castro

Consultora independiente. Toronto, USA.
<https://orcid.org/0000-0003-0873-3578>

Ing. Edixon Máquez

Empresa mixta Petrocarabobo. Lechería, Venezuela
<https://orcid.org/0000-0002-3686-9934>

Ing. Antonio Hernández

SENSIA Ltd. Calgary, Alberta, Canadá
<https://orcid.org/0009-0002-3592-1160>

Ing. Alexander Marín

E&P CMA Energies Consulting Group. Houston TX, US.
<https://orcid.org/0009-0001-7403-3986>

Ing. Luis Hernández

Total Power and Control, INC. Houston, TX, US.
<https://orcid.org/0009-0007-3430-5581>



BY: se debe dar crédito al creador.

NC: Solo se permiten usos no comerciales de la obra.

SA: Las adaptaciones deben compartirse bajo los mismos términos.

Equipo técnico	
Diseño Gráfico Licda. Yexi Castellano	Diagramadora OJS Ing. Dorys L. Acosta C.
Soporte técnico Ing. Carlos Montilla	Contacto Correo electrónico: indexed.petrorenova@gmail.com

Sumario

Preliminares

01-02

Presentación editorial

Retos operativos y ambientales que definen el futuro energético

Operational and environmental challenges that define the energy future

Negrón, Raiza

03-05

Artículos

1. Rentabilidad y fiscalidad petrolera en Venezuela: evaluación económica de la reforma legal

Oil profitability and fiscal regime in Venezuela: economic assessment of the legal reform

Sánchez, Carlos

06-43

2. Seguridad y salud en el trabajo: innovación y sostenibilidad en la transición energética

Occupational health and safety: innovation and sustainability in the energy transition

León, Fernando; Medina, Antonio y Montes de Oca, Julio

44-69

3. Convergencia estratégica de redes neuronales de grafos, rerosim y scaled load ratio para gemelos digitales de inyección de vapor

Strategic convergence of graph neural networks, rerosim and scaled load ratio for steam-injection digital twins

Romero, Isbelis

70-96

Instrucciones para los autores

97-109

Presentación editorial

Retos operativos y ambientales que definen el futuro energético

Operational and environmental challenges that define the energy future

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21809848>

Estimados Lectores:

Petrorenova Indexed se complace en presentar la **edición del volumen 2, número 3-2026**, en esta se muestra la evolución de la industria energética global, plasmando un puente sólido entre la investigación científica de vanguardia y la aplicación técnica industrial. Una vez más, nuestra revista indexada reafirma su compromiso con la excelencia académica, consolidándose como un espacio de referencia para el análisis crítico, innovación tecnológica y soluciones sostenibles que demanda el panorama actual.

Invitamos a nuestros lectores a sumergirse en estas páginas, con la convicción de que el conocimiento compartido es el motor principal para transformar los desafíos del sector en oportunidades de desarrollo sostenible. Por ende, esta edición ofrece a la comunidad científica, ingenieros y tomadores de decisiones una visión integral de los retos operativos y ambientales que definen el futuro energético:

Carlos Sánchez presenta su artículo, **Rentabilidad y fiscalidad petrolera en Venezuela: evaluación económica de la reforma legal**. En su análisis, el autor manifiesta que la industria petrolera venezolana constituye, por su dimensión histórica, económica y estratégica, uno de los principales ejes sobre los cuales se ha estructurado el desarrollo del país y la relación entre Estado, sector privado y sociedad. Durante décadas, la explotación de los hidrocarburos ha representado una fuente esencial de ingresos fiscales, divisas y financiamiento público, al tiempo que ha condicionado, de manera significativa, la dinámica macroeconómica nacional. En este contexto, cualquier transformación del marco jurídico que regula la actividad petrolera trasciende el ámbito estrictamente normativo y adquiere profundas implicaciones sobre inversión, producción, generación de renta y sostenibilidad de las finanzas públicas.

La reciente reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos plantea, precisamente, un nuevo escenario para el funcionamiento económico y fiscal del sector. Entre sus principales orientaciones destacan la ampliación de los espacios para la participación privada, incorporación de nuevas modalidades contractuales y configuración de mecanismos orientados a promover la inversión en una industria que requiere importantes niveles de capital, tecnología y capacidad gerencial. Asimismo, la reforma introduce modificaciones sustantivas en el esquema fiscal aplicable a las actividades de hidrocarburos, con el propósito de procurar un mayor equilibrio entre rentabilidad de los proyectos y participación del Estado en la renta petrolera.



Bajo esta perspectiva, este primer artículo propone una reflexión sobre la rentabilidad y fiscalidad petrolera en Venezuela, tomando como eje la evaluación económica de la reforma legal. El propósito es contribuir a un debate informado sobre las oportunidades y desafíos que plantea el nuevo marco regulatorio, analizando sus potenciales efectos sobre inversión, producción, renta petrolera e ingresos fiscales. Más allá de las posiciones coyunturales, el desafío consiste en identificar las condiciones bajo las cuales la riqueza hidrocarburífera puede convertirse, nuevamente, en una fuente de crecimiento económico, estabilidad fiscal y desarrollo sostenible, evitando reproducir los desequilibrios históricos asociados al modelo rentista y procurando que la recuperación de la industria petrolera se traduzca en beneficios duraderos para la economía venezolana y para la sociedad en su conjunto.

Seguidamente, *Fernando León, Antonio Medina y Julio Montes de Oca*, en **Seguridad y salud en el trabajo: innovación y sostenibilidad en la transición energética**, abordan la transición energética como uno de los grandes desafíos de nuestro tiempo. Su avance hacia modelos más sostenibles, innovadores y resilientes está transformando, no solo, los sistemas de producción y consumo de energía, sino también los entornos laborales y las competencias necesarias para afrontar los nuevos escenarios tecnológicos y productivos.

En este contexto, la seguridad y salud en el trabajo adquiere una dimensión estratégica. La incorporación de nuevas tecnologías, digitalización, automatización y desarrollo de fuentes energéticas alternativas generan oportunidades para mejorar eficiencia y sostenibilidad, pero también plantean nuevos riesgos y desafíos que requieren respuestas innovadoras, responsables y centradas en la protección de las personas. La sostenibilidad, entendida en su sentido más amplio, no puede limitarse a la dimensión ambiental. Una verdadera transición energética debe incorporar, necesariamente, la dimensión humana y social, garantizando condiciones de trabajo seguro y saludable, promoviendo la formación y desarrollo de nuevas competencias y, fortaleciendo una cultura preventiva capaz de anticiparse a los riesgos emergentes.

En definitiva, la transición energética no debe medirse, únicamente, por reducción de emisiones, incorporación de nuevas tecnologías o crecimiento de las fuentes renovables. Su verdadero alcance estará determinado por su capacidad para generar un futuro energético en el que innovación y sostenibilidad avancen de manera inseparable de la protección de la vida, salud y bienestar de las personas trabajadoras.

Para finalizar este número, *Isbelis Romero* enfoca la **Convergencia estratégica de Redes Neuronales de Grafos, REROSIM y Scaled Load Ratio para gemelos digitales de inyección de vapor**, como herramienta para impulsar la transformación digital de la industria energética y, particularmente, la necesidad de optimizar la recuperación de hidrocarburos, hacia el desarrollo de nuevas metodologías capaces de integrar inteligencia artificial, modelado avanzado y representación dinámica de los procesos de producción. En este contexto, los gemelos digitales emergen como una herramienta estratégica para reproducir, monitorear y anticipar el comportamiento de sistemas complejos, permitiendo mejorar la toma de decisiones y avanzar hacia operaciones más eficientes, predictivas y sostenibles.

La inyección de vapor, como método de recuperación térmica, constituye un proceso de elevada complejidad debido a la interacción entre variables termodinámicas, propiedades del yacimiento,





condiciones operacionales y comportamiento espacio-temporal de los fluidos. Esta naturaleza multifactorial plantea importantes desafíos para los modelos convencionales, particularmente cuando se requiere representar de manera dinámica las interdependencias entre pozos, regiones del yacimiento y variables operativas. Frente a esta realidad, se inscribe la convergencia estratégica de las Redes Neuronales de Grafos (GNN), REROSIM y Scaled Load Ratio, concebida como una aproximación orientada a fortalecer la arquitectura de gemelos digitales aplicados a la inyección de vapor. La integración de estas herramientas permite articular la representación de relaciones espaciales y de conectividad mediante estructuras de grafos, la simulación de fenómenos complejos y la incorporación de indicadores capaces de apoyar la evaluación del comportamiento operacional. Esta convergencia metodológica ofrece una perspectiva innovadora para vincular datos, simulación y aprendizaje automático dentro de un mismo entorno de análisis.

En una industria que enfrenta el desafío permanente de producir más conocimiento con mayor precisión y eficiencia, los gemelos digitales representan una frontera de innovación cuyo desarrollo dependerá de la capacidad de integrar disciplinas, tecnologías y fuentes de información.

Ing. Raiza Negrón

Editora académica

Correo: rnegron@petrorenova.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-6101-0367>



Rentabilidad y fiscalidad petrolera en Venezuela: evaluación económica de la reforma legal

Oil profitability and fiscal regime in Venezuela: economic assessment of the legal reform

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21810276>

Recibido: 2026-05-12 Aceptado: 2026-06-15

Sánchez Piñerúa, Carlos Ernesto¹

Correo: cesanchezp1996@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-3737-766X>

Resumen

Este artículo analiza el impacto del marco fiscal petrolero venezolano en la rentabilidad de tres proyectos (brownfield, off-shore y greenfield), comparando el régimen previo (2006-2026) con la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos mediante modelos de flujo de caja y simulaciones de Montecarlo. Los resultados muestran que en el marco anterior la rentabilidad se ubicó en 25,41% de los escenarios, influenciada por distorsiones como la CEPEYE, que elevaban el government take sobre el 90%. Bajo el nuevo régimen con alícuotas máximas, la viabilidad empeora bajando al 5,93%, elevándose el break-even a 78,20 USD/Bbl. Visto esto, el estudio consideró activar la cláusula de equilibrio económico-financiero contemplada en la ley. Concluyendo que las alícuotas deben ajustarse de forma dinámica según la complejidad técnica del campo. Así, dicha cláusula debe ser un componente estructural y permanente, y no una excepción, para viabilizar proyectos de alto riesgo.

Palabras clave: government take, flujo de caja libre, eficiencia de inversión, Ley Orgánica de Hidrocarburos.

Abstract

This article analyzes the impact of the Venezuelan oil fiscal framework on the profitability of three types of projects (brownfield, offshore, and greenfield) by comparing the previous regime (2006–2026) with the reform of the Organic Hydrocarbons Law, using cash flow models and Monte Carlo simulations. The results show that in the previous framework, profitability was at 25.41% of the scenarios, influenced by distortions such as CEPEYE, which raised the government take above 90%. Under the new regime with maximum tax rates, viability deteriorates—dropping to 5.93%—while the break-even price rises to USD 78.20 per barrel. In light of this, the study considered invoking the economic-financial equilibrium clause provided for in the law, concluding that tax rates should be adjusted dynamically based on the technical complexity of the field. Consequently, this

¹ Economista. Esp. en Política y Comercio Internacional del Petróleo. Mg. en Finanzas. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.



clause should serve as a structural and permanent component—rather than an exception—to ensure the viability of high-risk projects.

Keywords: government take, free cash flow, investment efficiency, Organic Hydrocarbons Law.

Introducción

La industria de hidrocarburos exige inversiones intensivas, largos plazos y alta incertidumbre, por lo que, las decisiones de inversión dependen de indicadores financieros (VPN, TIR) fuertemente condicionados por el entorno fiscal (Benninger et al., 2024). Los regímenes fiscales buscan equilibrar un dilema central: maximizar la captura de la renta estatal y, a la vez, mantener estímulos para atraer capital (Johnston, 1994; Tordo et al., 2010). La literatura demuestra que los sistemas rígidos o con alta carga temprana desalientan la inversión —especialmente, en proyectos complejos como off shore o crudo extra pesado—, mientras que los esquemas flexibles y progresivos preservan la viabilidad del proyecto (Smith, 2020; Benninger et al., 2024). A nivel global, la competencia por capital ante la volatilidad de precios a la baja ha impulsado reformas hacia la flexibilización tributaria (Mohamed et al., 2022).

En Venezuela, el régimen de 2006 redujo la atracción de inversiones debido a su elevada carga fiscal (Smith, 2020). En respuesta, la reforma legal de 2026 introdujo cambios para flexibilizar el sistema y facilitar el capital privado, cuya efectividad requiere evaluación cuantitativa. Por ello, este trabajo analiza el impacto de distintas configuraciones fiscales sobre la rentabilidad de tres proyectos tipo (*Greenfield*, *Brownfield* y *Off-shore*). Mediante modelos de flujo de caja libre, se estiman los indicadores financieros y el *government take* bajo tres escenarios: marco anterior (2006-2026), esquema general de alícuotas máximas vigentes (2026) y configuración optimizada según los incentivos de la ley reformada. Así, el estudio aporta evidencia para diseñar un régimen competitivo que equilibre la renta pública con la atracción de inversión privada.

1. Fundamentos teóricos

1.1. Antecedentes de investigación

Diversos autores han analizado la relación entre los regímenes fiscales petroleros y la rentabilidad de los proyectos *upstream*, bajo investigaciones tipo explicativas y métodos cuantitativos *cuasi* experimentales, para ilustrar su impacto en la atracción de inversión y en la distribución de la renta entre el Estado y los inversionistas.





En este sentido, Khelil (1995), en su estudio relacionado con los sistemas fiscales para el petróleo, examinó la forma como éstos influyen en la competencia internacional por captar capital para actividades de exploración y producción, identificando al *government take* como el factor determinante en la competitividad de una jurisdicción.

Al analizar 226 regímenes fiscales, el estudio demostró que la carga impositiva efectiva y las tasas de remuneración estatal guardan una estrecha relación con las condiciones geológicas del país. En consecuencia, concluye que, aunque los gobiernos busquen maximizar su captura de renta, una carga fiscal excesiva desalienta la inversión y frena el desarrollo de los yacimientos técnicamente más complejos.

Otro aporte relacionado con la participación del gobierno en la exploración y producción de petróleo, lo hacen Marten, Whittaker y de Bourio (2015), estos autores concluyeron que el *government take* debe interpretarse según el precio del petróleo, el riesgo, los costos y la temporalidad de los flujos de caja. Por ello, un mismo esquema fiscal impacta de forma diferente a proyectos con distintas características técnicas y geológicas, exigiendo evaluaciones económicas integrales. Asimismo, los regímenes fiscales flexibles y adaptables a la volatilidad del mercado estimulan una mayor atracción de capital y tecnología.

Por su parte, Smith (2020) analizó el marco fiscal petrolero venezolano modelando diversos proyectos (incluyendo la Faja del Orinoco) mediante flujos de caja descontados para evaluar su viabilidad a través de indicadores como VPN, TIR y *government take*.

Los resultados evidenciaron que la elevada carga impositiva reducía la rentabilidad y el atractivo para el capital privado, afectando principalmente a los desarrollos con alta inversión inicial y largos períodos de recuperación. Por ello, el autor propuso implementar regalías de escala variable (*sliding scale royalty*) vinculadas a los precios, la rentabilidad y la productividad durante la fase inicial de los proyectos.

1.2. Base teórica

Para este trabajo de investigación, se tomó en cuenta un conjunto de conceptos de matemática financiera que son recurrentes para la evaluación económica de proyectos.

Utilidad operativa

La utilidad operativa se refiere a los beneficios económicos estrictamente por las operaciones principales de las empresas. La utilidad operativa de una empresa en el período “n” se puede calcular mediante la siguiente ecuación:





$$UO_n = I_n - OPEX_n - Reg_n - Dp_n - Imp_n^{antes}$$

donde,

UO: Utilidad operativa en el período “n”.

I: Ingresos en el período “n”.

OPEX: gastos operativos en el período “n”.

Reg: Regalías a favor del Estado en el período “n”.

Dp: Depreciación de activos en el período “n”.

Imp: Impuestos y contribuciones especiales pagadas al Estado en el período “n” antes del cálculo de la utilidad operativa.

Flujo de caja libre

El flujo de caja libre de una empresa en el período “n” viene representado por la siguiente fórmula:

$$FCL_n = UO_n - CAPEX_n - INT_n + Dp_n - Imp_n^{después}$$

donde,

FCL: Flujo de caja libre en el período “n”.

UO: Utilidad operativa en el período “n”.

CAPEX: Intereses de deuda en el período “n”.

INT: Inversiones de capital en el período “n”.

Dp: Depreciación de activos en el período “n”.

Imp: Impuestos y contribuciones especiales pagadas al Estado en el período “n” después del cálculo de la utilidad operativa.

Tasa de descuento

Aunque el valor nominal del dinero se mantiene, su valor real se degrada con el tiempo debido a la tasa de interés, el riesgo de inversión y la inflación (Blank & Tarquin, 2015). Por lo tanto, la tasa de descuento se utiliza para actualizar el valor real de los flujos de caja proyectados al presente.





Valor presente neto

Se refiere al valor descontado de los flujos de efectivo que se generarán en un futuro al emprender un proyecto, tras una inversión inicial en la actualidad (Garay, U. & González, M., 2014, p. 30). Por lo general, esta variable suele calcularse mediante la siguiente expresión:

$$VPN = -I_0 + \frac{FCL_1}{(1+k)} + \frac{FCL_2}{(1+k)^2} + \frac{FCL_3}{(1+k)^3} + \dots + \frac{FCL_N}{(1+k)^N}$$

donde,

VPN: Valor presente neto.

I: Inversión inicial.

FCL: Flujo de caja libre en el período “n”.

k: Tasa de descuento.

Los criterios para ejecutar un proyecto en función del nivel de VPN son las siguientes: a) cuando se acepta el proyecto y b) cuando se rechaza el proyecto.

Tasa interna de retorno

Se trata de aquel valor de la tasa de descuento donde el VPN es igual a cero. Es decir, la TIR es aquel valor en el que se cumple la siguiente condición:

$$VPN = -I_0 + \frac{FCL_1}{(1+TIR)} + \frac{FCL_2}{(1+TIR)^2} + \frac{FCL_3}{(1+TIR)^3} + \dots + \frac{FCL_n}{(1+TIR)^n}$$

donde,

VPN: Valor presente neto.

I: Inversión inicial.

TIR: Tasa interna de retorno.

FCL: Flujo de caja libre en el período “n”.

Los criterios para la selección de un proyecto con respecto al TIR son los siguientes: a) cuando se acepta el proyecto y b) cuando se rechaza el proyecto.

Eficiencia de la inversión

Se trata de la relación entre el beneficio económico neto a generar sobre la base del volumen de inversiones desde el período inicial “0” al período final “N”:





$$ROI = \frac{VPN}{\sum_{n=1}^{n=N} VP(CAPEX_n)}$$

donde,

ROI: Eficiencia de la inversión (retorno sobre la inversión).

VPN: Valor presente neto.

CAPEX: Gastos de capital en el período “n”.

Los criterios para ejecutar un proyecto en función de este indicador son las siguientes: a) cuando se acepta el proyecto y b) cuando se rechaza el proyecto.

Retorno de la inversión

Se comprende como aquel período que toma un negocio para recuperar el capital invertido inicialmente, a través de los flujos de caja generados. En este sentido, el flujo de caja libre acumulado en ese período es igual a cero.

Government take

Según el Glosario Energético de Schlumberger (2023), el *government take* es el total de ingresos (impuestos, regalías y participación estatal) que un gobierno anfitrión recibe de la producción de hidrocarburos. Para esta investigación, el indicador se calculará como la relación entre los ingresos del Estado derivados de la renta petrolera y los ingresos netos de las empresas operadoras desde el período 0 hasta el período N, expresado algebraicamente de la siguiente forma:

$$GT = \frac{\sum_{n=1}^{n=N} VP(Imp_n + Reg_n)}{\sum_{n=1}^{n=N} VP(I_n - OPEX_n - CAPEX_n)}$$

donde,

GT: *Government take*.

VP: Valor presente neto.

Imp: Impuestos y contribuciones especiales pagadas en período “n”.

Reg: Regalías en el período “n”.

I: Ingresos en el período “n”.

OPEX: Gastos operativos en el período “n”.

CAPEX: Inversiones de capital en el período “n”.





1.3. Marco fiscal petrolero 2006 – 2026

Para los efectos de la valoración económica de los proyectos de producción petrolera, se tomaban en consideración aquellas regalías, impuestos y tributos, cuya base imponible guardara relación directa o indirecta con la proyección de flujo de caja libre.

Tabla 1. Conceptos fiscales y de regalías para valoración económica de proyectos (2006 – 2026).

Concepto	Base imponible	Alícuota	Base jurídica
Regalías	Valor de los hidrocarburos extraídos	30,00%	Artículo 44 de la Ley Orgánica de Hidrocarburos, publicada en Gaceta Oficial N° 38.493
Impuesto de extracción	Valor de los hidrocarburos líquidos extraídos	33,33%	Artículo 48 de la Ley Orgánica de Hidrocarburos
Contribución especial por precio extraordinario	Diferencia entre precio promedio de cesta venezolana y precio base para el presupuesto nacional	20,00%	Artículo 7 de la Ley que crea la Contribución Especial por Precios Extraordinarios y Precios Exorbitantes en el Mercado Internacional de Hidrocarburos
Contribución especial por precio exorbitante	Diferencia entre precio promedio de cesta venezolana y límite inferior de categoría de precios exorbitantes	80% / 90% / 95%	Artículo 9 de la Ley que crea la Contribución Especial por Precios Extraordinarios y Precios Exorbitantes en el Mercado Internacional de Hidrocarburos
Contribución al Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT)	Ingresos brutos	0,5%	Numeral 3 del Artículo 31 del Decreto con Rango, Valor y Fuerza de Ley Orgánica de Ciencia, Tecnología e Innovación
Impuesto sobre la Renta (ISLR)	Enriquecimientos obtenidos	50%	Literal “b” del artículo 53 del Decreto con Rango, Valor y Fuerza de Ley de Impuesto sobre la Renta
Contribución al Fondo Nacional Antidrogas (FONA)	Utilidad o ganancia operativa	1%	Artículo 32 de la Ley Orgánica de Drogas
Contribución al Fondo de Desarrollo Endógeno	Utilidades antes de impuesto	1%	Numeral 10 de los Términos y Condiciones para la Creación y Funcionamiento de las Empresas Mixtas y el Modelo de Contrato
Contribución al Fondo Nacional de Deportes, Actividad Física y Educación Física (FONADEFAF)	Utilidad neta o ganancia contable anual	1%	Artículo 68 de la Ley Orgánica de Deporte, Actividad Física y Educación Física
Ventaja especial	Valor de los hidrocarburos extraídos	50%	Literal b del Numeral 6 de los Términos y Condiciones para la Creación y Funcionamiento de las Empresas Mixtas y el Modelo de Contrato

Fuente: Elaboración propia.





Ley Orgánica de Hidrocarburos

Según los artículos 44 y 48 de la Ley Orgánica de Hidrocarburos (2006), el marco fiscal establecía las siguientes pautas para la regalía y el impuesto de extracción:

- Regalía (Art. 44): El Estado tenía derecho a una participación del 30% de los volúmenes extraídos. Sin embargo, si la explotación del campo no era económicamente viable, el Ejecutivo Nacional podrá rebajar hasta 20%.
- Impuesto de extracción (Art. 48): Se fijó en un tercio (33,33%) del valor de los hidrocarburos líquidos extraídos, permitiendo deducir lo pagado por regalía (incluyendo ventajas especiales). Para estimular proyectos con recuperación secundaria o según las condiciones del mercado, el Ejecutivo podría reducir este impuesto hasta un mínimo del 20%.

Ley que crea la Contribución Especial por Precios Extraordinarios y Precios Exorbitantes en el Mercado Internacional de Hidrocarburos (CEPEYE)

Esta ley (2013) permitía al Estado capturar las ganancias imprevistas de las empresas mixtas durante las bonanzas petroleras para mitigar distorsiones económicas mediante dos tipos de contribuciones:

- Precios Extraordinarios (Art. 3 y 7): Ocurren cuando el precio promedio mensual supera el fijado en la Ley de Presupuesto, pero es menor o igual a 80 USD/Bbl. Se aplica una alícuota del 20% sobre la diferencia entre ambos precios.
- Precios Exorbitantes (Art. 4 y 9): Se aplica cuando el promedio supera los 80 USD/Bbl, aplicándose una escala impositiva progresiva:
 - 80% sobre el excedente de 80 USD/Bbl.
 - 90% sobre el excedente de 100 USD/Bbl.
 - 95% sobre el excedente de 110 USD/Bbl).

Ley Orgánica de Ciencia Tecnología e Innovación (2022)

De acuerdo con la Ley Orgánica de Ciencia, Tecnología e Innovación (2022), las empresas del sector hidrocarburos debían aportar al Fondo Nacional para la Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT) una alícuota del 0,5% sobre los ingresos brutos mensuales, al tratarse de entidades de capital público cuya actividad está contemplada en la Ley Orgánica de Hidrocarburos (Art. 29, 30 y 31).





Ley Orgánica de Drogas

En el artículo 32 la Ley Orgánica de Drogas (2010), se estipula que “las personas jurídicas privadas, consorcios y entes públicos [...] están obligados a liquidar el uno por ciento (1%) de su ganancia o utilidad en operaciones del ejercicio ante el Fondo Nacional Antidrogas”.

Términos y Condiciones para la Creación y Funcionamiento de las Empresas Mixtas y el Modelo de Contrato

Los Términos y Condiciones para las Empresas Mixtas (2009) establecen las siguientes obligaciones financieras a favor de la República:

- Ventaja Especial (Condición 6ª, literal b): Un pago equivalente a la diferencia entre el 50% del valor de los hidrocarburos extraídos y la suma total de los pagos efectuados en concepto de regalías, impuesto sobre la renta (ISLR) y cualquier otro tributo.
- Aporte al Fondo de Desarrollo Endógeno (Condición 10ª): Una inversión obligatoria del uno por ciento (1%) de las utilidades antes de impuestos.

Ley Orgánica del Deporte, Actividad Física y Educación Física

De acuerdo al artículo 68 de la Ley Orgánica de Deporte, Actividad Física y Educación Física (2011), se crea el Fondo Nacional para el Desarrollo del Deporte, la Actividad Física y la Educación Física, el cual se constituía por el uno por ciento (1%) sobre la utilidad neta o ganancia de las organizaciones públicas y privadas con fines de lucro, cuando ésta supere las veinte mil unidades tributarias (20.000 U. T).

Ley de Impuesto sobre la Renta

Según el artículo 11 de la Ley de Impuesto sobre la Renta (2015), se consideran contribuyentes las personas jurídicas dedicadas a la explotación de hidrocarburos, actividades conexas, refinación, transporte y comercialización del recurso o sus derivados. En consecuencia, el artículo 53 (literal b) establece que a estos contribuyentes se les aplicará una tasa proporcional fija del cincuenta por ciento (50%) sobre sus enriquecimientos netos.





1.4. Nuevo marco fiscal tras la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos (2026)

La reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos (Gaceta Oficial Extraordinaria N° 6.978 del 29 de enero de 2026) introdujo modificaciones, exenciones y derogaciones que simplifican el régimen fiscal. Como resultado, la proyección del flujo de caja libre para la producción de crudo queda estructurada prácticamente en tres conceptos fiscales: (i) Regalías. (ii) Impuesto integrado de hidrocarburos. (iii) Impuesto sobre la renta (ISLR).

Ley Orgánica de Hidrocarburos (2026)

Tabla 2. Conceptos fiscales y de regalías para valoración económica de proyectos a partir de la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos.

Concepto	Base imponible	Alícuota	Base jurídica
Regalías	Valor de los hidrocarburos líquidos extraídos y no reinyectados	Hasta el treinta por ciento (30%)	Ley Orgánica de Hidrocarburos, publicado en Gaceta Oficial Extraordinaria N° 6.978
Impuesto integrado de hidrocarburos	Ingresos brutos devengados mensualmente del valor de los hidrocarburos líquidos extraídos y no reinyectados	Hasta el quince por ciento (15%)	Ley Orgánica de Hidrocarburos, publicado en Gaceta Oficial Extraordinaria N° 6.978
Impuesto sobre la renta (ISLR)	Enriquecimientos netos	Cincuenta por ciento (50%) con posibilidad de reducción, de acuerdo a los mismos criterios para la fijación de las regalías	Ley Orgánica de Hidrocarburos, publicado en Gaceta Oficial Extraordinaria N° 6.978 / Literal “b” del artículo 53 del Decreto con Rango, Valor y Fuerza de Ley de Impuesto sobre la Renta, publicado en Gaceta Oficial Extraordinaria N.º 6.210

Fuente: Elaboración propia

1.5. Regalías

Según el artículo 51 de la Ley Orgánica de Hidrocarburos reformada (2026), el Estado tiene derecho a una participación de hasta el treinta por ciento (30%) como regalía sobre los hidrocarburos extraídos y no reinyectados, fijada según la naturaleza, inversiones, viabilidad económica y competitividad internacional del proyecto.

Esta modificación aborda dos aspectos fundamentales:

- Flexibilidad técnica: Discrimina la alícuota según la complejidad geológica y el capital fijo requerido.





- Eficiencia operativa: Evita la doble tributación sobre los volúmenes de gas asociado que son reinyectados al yacimiento.

1.6. Impuesto integrado de hidrocarburos

Por otro lado, se establece en el artículo 55 la creación del impuesto integrado de hidrocarburos, cuya base imponible viene dado por los ingresos brutos devengados del valor de los hidrocarburos líquidos extraídos. Prácticamente, este nuevo concepto sustituye la aplicabilidad conjunta del:

- Impuesto de extracción
- Impuesto al consumo propio
- Impuesto al consumo general
- Impuesto al registro de exportación

Impuesto superficial

Según el artículo 56 de la ley reformada, la alícuota del impuesto integrado de hidrocarburos será de hasta el quince por ciento (15%). Su porcentaje se determinará durante la ejecución del proyecto utilizando los mismos criterios empleados para fijar la regalía: la naturaleza del desarrollo, las inversiones de capital requeridas, la viabilidad económica y la necesidad de asegurar la competitividad internacional.

Impuesto sobre la renta

Aunque el Impuesto sobre la Renta (ISLR) para el sector hidrocarburos se rige por su ley específica, el artículo 58 de la Ley Orgánica de Hidrocarburos faculta al Ejecutivo Nacional —a través del Ministerio de Finanzas y previa consulta al Ministerio de Hidrocarburos— para reducir su alícuota. Esta rebaja se otorga en función de los mismos criterios aplicados a la regalía y al impuesto integrado (naturaleza, inversiones, viabilidad y competitividad) con el objetivo de garantizar la rentabilidad económica de los proyectos.

Exenciones

Según el artículo 59 de la Ley Orgánica de Hidrocarburos, se establecen exenciones de impuestos y contribuciones especiales para las actividades reguladas por dicha ley. Para efectos de la proyección del flujo de caja libre en proyectos de producción petrolera, destaca la exención del pago de los aportes al FONACIT, FONA y FONADEFO.





Derogaciones

Asimismo, dentro de las disposiciones derogatorias de la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos, se engloban a aquellos marcos normativos que establecen contribuciones y ventajas especiales a favor de la República, entre ellos:

- La Ley que crea Contribuciones especiales por precios extraordinarios y exorbitantes en el mercado internacional de los Hidrocarburos:
- Contribuciones por precios extraordinarios.
- Contribuciones por precios exorbitantes.
- Términos y condiciones para la creación y funcionamiento de las empresas mixtas:
- Numeral sexto: Ventaja especial (*shadow tax*).
- Numeral décimo: Contribución al fondo de desarrollo endógeno

2. Metodología

2.1. Tipo y enfoque de investigación

Esta investigación es de tipo cuantitativo con alcance explicativo y diseño cuasi-experimental, ya que analiza el impacto de marcos fiscales preexistentes y vigentes sobre indicadores económicos mediante modelos determinísticos y estocásticos, sin manipular deliberadamente las variables independientes. Asimismo, adopta un enfoque comparativo inter-temporal al contrastar el régimen fiscal aplicado entre 2006 y enero de 2026 con el derivado de la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos.

2.2. Unidades de análisis

Las unidades de análisis se corresponden con tres tipologías representativas de campo petrolero, seleccionadas con el propósito de capturar la diversidad geológica, técnica y económica de las actividades *upstream* venezolano: (i) campo *onshore brownfield* situado en la cuenca de Maracaibo, con crudo mediano (API 21-25°) y bajo costo operativo unitario; (ii) desarrollo offshore del Lago de Maracaibo, con crudo mediano-pesado (API 14-18°) y costo operativo unitario elevado; y (iii) proyecto *greenfield* de crudo pesado y extrapesado (API 7-11°) con perfil tecnológico análogo a los desarrollos de la Faja Petrolífera del Orinoco. Los perfiles de producción, gastos operativos (OPEX) e inversiones de capital (CAPEX) de cada uno de los proyectos se obtuvieron de los planes de negocio elaborados por PDVSA – CVP (2008).





2.3. Construcción de los modelos de evaluación económica

Para cada proyecto y el portafolio consolidado, se construyó un modelo determinístico de flujo de caja libre que proyecta el valor presente de los flujos incorporando regalías, impuestos y contribuciones de cada régimen fiscal. El modelo calcula el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR), la eficiencia de inversión, el período de recuperación y el *government take*, utilizando los criterios de aceptación convencionales de la evaluación financiera. La tasa de descuento se fijó en 12%, alineada con la práctica internacional para proyectos petroleros.

2.4. Simulación de Montecarlo

Para incorporar la incertidumbre por la volatilidad del petróleo, se aplicó una simulación de Montecarlo con 10.000 iteraciones sobre los modelos de flujo de caja para cada régimen fiscal. La variable de entrada es el precio promedio de la cesta venezolana, modelado mediante una distribución normal truncada (media de 55 USD/Bbl, desviación típica de 15 USD/Bbl y límites entre 30 y 120 USD/Bbl) para reflejar el comportamiento histórico y los ciclos recientes del mercado. Las variables de salida son las distribuciones de probabilidad de los cinco indicadores económicos y la frecuencia de los escenarios aceptados o rechazados.

2.5. Optimización fiscal con base en la cláusula de equilibrio económico

Para analizar la cláusula de equilibrio económico-financiero de la ley reformada, se diseñó un problema de optimización determinístico resuelto con el algoritmo de Gradiente Reducido Generalizado (GRG no lineal) en el *Solver* de *Excel*. El objetivo es maximizar el *government take* para cada nivel de precio de la cesta venezolana (entre 40 y 120 USD/Bbl). Esto se realiza modificando las alícuotas de regalía, impuesto integrado de hidrocarburos e ISLR (variables de decisión), sujeto a sus topes máximos legales (30%, 15% y 50% respectivamente) y al cumplimiento de metas de eficiencia de inversión mínima diferenciadas por tipo de campo.

2.6. Herramientas computacionales y tratamiento de datos

Los modelos de flujo de caja libre, las simulaciones de Montecarlo y los ejercicios de optimización se desarrollaron en Microsoft Excel, complementados con scripts en lenguaje Python para el procesamiento estadístico y la generación de los gráficos de dispersión, histogramas de frecuencia y diagramas comparativos.





3. Resultados

El análisis asociado a las discusiones y recientes modificaciones de la Ley Orgánica de Hidrocarburos) arroja conclusiones sobre el cambio de rumbo que vive la industria en el país.

3.1. Medición de rentabilidad económica de proyectos de producción petrolera: ejercicios ilustrativos

Para este apartado, se ha recolectado información del perfil de producción de tres campos petroleros, con su respectiva proyección de gastos operativos (OPEX) e inversiones de capital (CAPEX) para un ejercicio económico de 20 años.

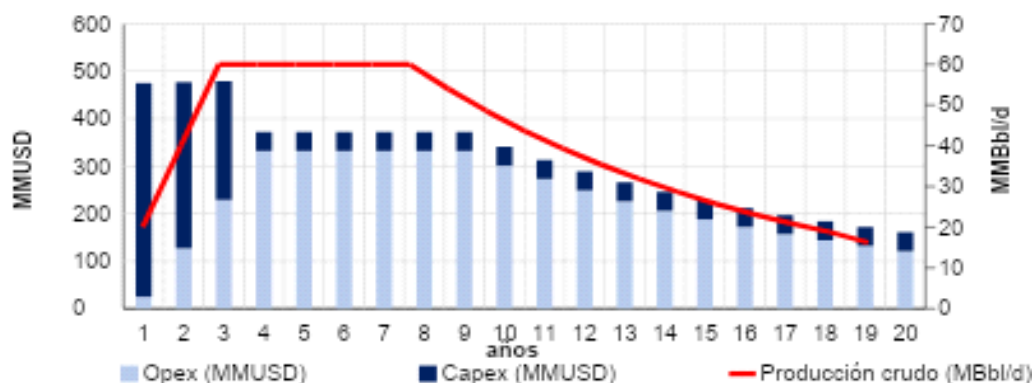
Tabla 3. Información de proyectos petroleros.

Campo	Proyecto A	Proyecto B	Proyecto C
Tipo de campo	<i>Brownfield</i>	<i>Offshore</i>	<i>Greenfield</i>
Plataeu de producción (MBD)	60	55	25
Reservas probadas desarrolladas (MMBIs)	294	277	148
Costo operativo (USD/BIs)	11,6	18,51	17,39
Tipo de crudo	M	M-P	P-XP
Grado API (°)	21-25°	14-18°	7-11°

Fuente: PDVSA (2008).

En este sentido, el proyecto “A” consiste en la explotación de un campo maduro o *brownfield* en la cuenca de Maracaibo, cuyo potencial de producción es de 60 mil barriles diarios (MBD) de crudo mediano (ver gráfico 1) y la inversión inicial sería de 450 millones de dólares estadounidense (MMUSD) en el primer año.

Gráfico 1. Perfil de producción, gastos operativos e inversiones de capital por año para proyecto de producción de campo maduro.



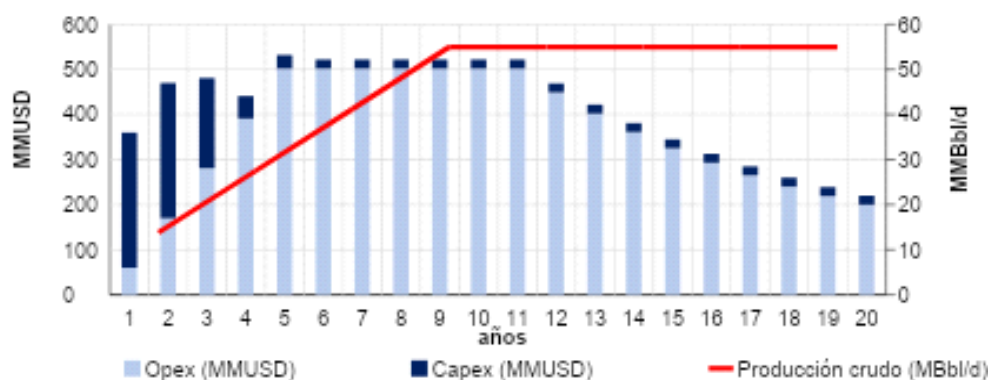
Fuente: PDVSA (2008).





Por otro lado, en el proyecto “B”, se expone la información de un campo costa afuera u *off-shore* del Lago de Maracaibo, cuyo potencial de producción es de 55 MBD entre crudo mediano y pesado (ver gráfico 2) y la inversión inicial sería de 300 MMUSD en el primer año.

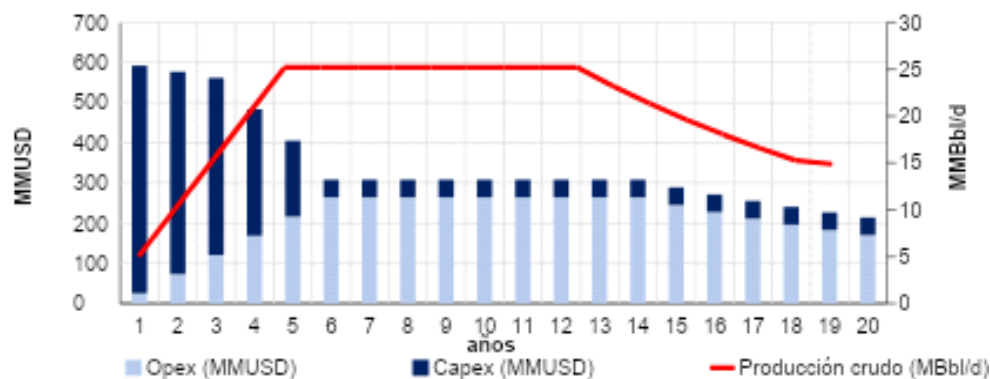
Gráfico 2. Perfil de producción, gastos operativos e inversiones de capital por año para proyecto de producción de campo *offshore*.



Fuente: PDVSA (2008).

Seguidamente, en el proyecto “C”, se señala las características de un campo *greenfield* de la Faja Petrolífera del Orinoco, cuyo potencial de producción es de 25 MBD entre crudo pesado y extrapesado (ver gráfico 3) y la inversión inicial sería de 567 MMUSD en el primer año.

Gráfico 3. Perfil de producción, gastos operativos e inversiones de capital por año para proyecto de producción de campo *greenfield*.



Fuente: PDVSA (2008).



4. Análisis de resultados con premisas del marco fiscal anterior (2006-2026)

El presente apartado expone el análisis de los resultados financieros y macroeconómicos obtenidos bajo las directrices del marco fiscal que rigió el periodo 2006-2026.

4.1. Evaluación de proyectos a precio de 55\$/barril

Para evaluar los proyectos petroleros bajo el marco fiscal anterior (2006-2026), se establecieron las siguientes premisas financieras:

- Variables de mercado y descuento: El precio de la cesta venezolana y el precio base del presupuesto nacional se fijan en 55 USD/Bbl, utilizando una tasa de descuento del 12%.
- Obligaciones previas a la ganancia operativa: Se deduce la regalía, los impuestos de la Ley Orgánica de Hidrocarburos (pre-reforma), las contribuciones por precios extraordinarios/exorbitantes y el aporte al FONACIT.
- Obligaciones posteriores a la ganancia operativa: Se desembolsan el Impuesto sobre la Renta (ISLR), la ventaja especial y los aportes al FONA, FONADEFI y al Fondo de Desarrollo Endógeno. En la tabla 4 y el gráfico 4, se ilustran los resultados económicos de la ejecución de los tres proyectos estudiados bajo las premisas señaladas y la aplicación del marco fiscal vigente antes de enero de 2026.

Tabla 4. Resultados de evaluación económica de proyectos de producción petrolera con base en precio de 55 USD/barril (con premisas fiscales antes de la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos).

Indicador	Proyecto "A"	Proyecto "B"	Proyecto "C"
Valor presente neto (MMUSD)	595	-431	-1.840
Tasa interna de retorno	34%	<0%	N/A
Eficiencia de inversión	19%	<0%	<0%
Retorno de inversión (años)	5	N/A	N/A
Government take	88%	>100%	>100%

Fuente: Cálculos propios con base PDVSA (2008).

Bajo el marco fiscal de 2006-2026 y en un escenario de precios estables, los resultados demuestran que:

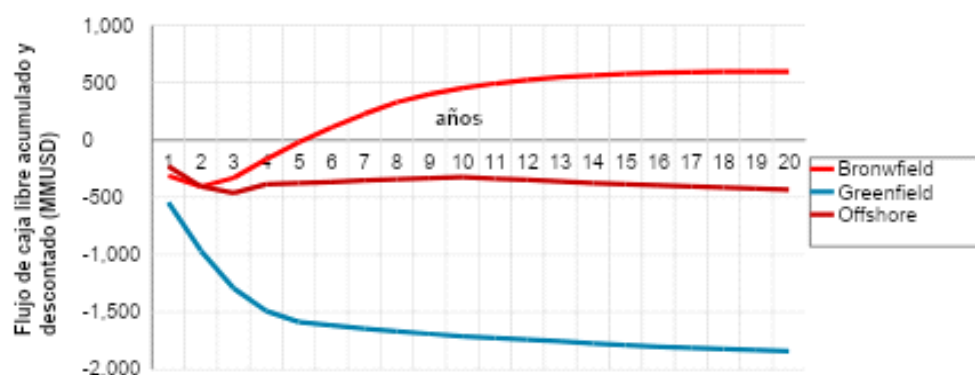
- Campos maduros (*Brownfield*): Eran rentables y atractivos a pesar del elevado *government take*.





- Campos *off-shore* y greenfield: No resultaban económicamente viables debido a la alta carga impositiva.
- Portafolio consolidado (Tabla 5): La inversión conjunta en los tres tipos de campos no era rentable.

Gráfico 4. Flujo de caja libre acumulado y descontado por proyecto petrolero con base a precio de 55\$/barril (con premisas fiscales antes de la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos).



Fuente: Cálculos propios con base PDVSA (2008).

Tabla 5. Resultado de la evaluación económica consolidada de tres proyectos de producción petrolera con base a precio de 55\$/barril y premisas fiscales previas a la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos.

Indicador	Valor presente neto (MMUSD)	Tasa interna de retorno	Eficiencia de inversión	Retorno de inversión (años)	Government take
Resultado conjunto	-1.695	-3%	-8%	N/A	>100%

Fuente: Cálculos propios con base PDVSA (2008).

4.2. Análisis de sensibilidad

Para este apartado se realizará un análisis de sensibilidad utilizando las mismas premisas anteriores, pero aplicando las reducciones hipotéticas de las alícuotas de regalía e impuesto de extracción que permitía la ley antes de su reforma. Esto servirá para evaluar la efectividad de dichos estímulos fiscales.





En la tabla 6 se describen tres escenarios de sensibilidad para la ejecución conjunta de los tres campos petroleros, resultando todos no rentables:

- Escenario 1 (Sin cambios): Manteniendo las alícuotas originales de regalía e impuesto de extracción, el Valor Presente Neto (VPN) es de -1.695 MMUSD, por lo que se debe rechazar la inversión.
- Escenario 2 (Rebaja de regalía): Al reducir la regalía al 20% y mantener el impuesto de extracción, el VPN se sitúa en -1.692 MMUSD, manteniendo la decisión de no invertir.
- Escenario 3 (Rebaja de ambos tributos): Al disminuir la regalía al 20% y el impuesto de extracción al 23,33%, el VPN mejora levemente a -1.604 MMUSD; sin embargo, sigue siendo negativo y la inversión consolidada se rechaza.

Tabla 6. Valor presente neto de tres proyectos de producción petrolera con base a precio de 55USD/barril y diversos escenarios fiscales y de regalías (premisas previas a la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos).

Escenarios	Regalías	Impuesto de Extracción	Ventaja especial	VPN del portafolio (MMUSD)
Escenario 1: <i>Status quo</i>	30%	33,33%	50%	-1.695
Escenario 2: Reducción de regalías	20%	33,33%	50%	-1.692
Escenario 3: Reducción de regalías e impuesto de extracción	20%	20%	50%	-1.604

Fuente: Cálculos propios con base PDVSA (2008).

Los estímulos fiscales previos a la reforma eran insuficientes para viabilizar un portafolio petrolero diversificado debido a dos defectos estructurales de compensación tributaria:

- Defectos en el Escenario 2 (Regalía vs. Extracción): Reducir la regalía por sí sola no funcionaba. Al disminuir la alícuota de la regalía, se reducía el monto deducible para el impuesto de extracción, lo que aumentaba automáticamente el pago final de este último tributo y anula el beneficio.
- Defectos en el Escenario 3 (Efecto *Shadow Tax*): Reducir conjuntamente la regalía y el impuesto de extracción tampoco era suficiente. El alivio fiscal se neutralizaba porque el ahorro aumentaba la base imponible del Impuesto sobre la Renta (ISLR) y activaba el pago de la Ventaja





Especial (que garantiza al Estado el 50% del valor de los hidrocarburos). Así, el Estado recuperaba por otras vías el ingreso que dejaba de percibir. De esta manera, tras estas dos anomalías en el marco fiscal, se puede afirmar que el sistema de incentivos señalados en la Ley Orgánica de Hidrocarburos (antes de su reforma) no reducía la carga impositiva efectiva, sino que redistribuye la renta petrolera entre los distintos instrumentos fiscales, limitando el impacto positivo de dichas medidas sobre la rentabilidad de los proyectos

4.3. Simulación de Montecarlo

Para analizar la rentabilidad del portafolio ante la volatilidad de los precios bajo el marco fiscal anterior, se introduce el método de simulación de Montecarlo bajo los siguientes supuestos:

- Configuración de la simulación: Se realizan 10.000 iteraciones utilizando una tasa de descuento del 12%.
- Variable de entrada (Precio): El precio promedio de la cesta venezolana varía aleatoriamente entre 30 y 120 USD/Bbl, modelado con una distribución normal de media 55 USD/Bbl.
- Variables de salida (Indicadores): Se mide el impacto en el VPN, TIR, eficiencia de la inversión, retorno de inversión y government take.
- La tasa de descuento será de 12%.
- Premisa fiscal de cálculo: El precio base del presupuesto nacional se fija en 55 USD/Bbl.

La simulación de Montecarlo (10.000 iteraciones) bajo el marco fiscal previo a enero de 2026 arroja un panorama desfavorable para el portafolio de inversiones:

- Proyectos viables (25,41%): Solo en uno de cada cuatro escenarios se genera un VPN positivo, una TIR superior al 12%, eficiencia de inversión positiva y un government take menor al 100%.
- Proyectos rechazados (74,59%): En casi tres de cada cuatro escenarios el portafolio no logra recuperar la inversión dentro del horizonte de 20 años, resultando económicamente inviable.

Tabla 7. Resultados de simulación de Montecarlo en función a los indicadores económico del portafolio en estudio (premisas fiscales antes de la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos).

Criterio de decisión	VPN	TIR	Eficiencia de la inversión	Retorno de la inversión	Government take	% de simulaciones
Aceptación	> 0	>12%	>0%	< 20 años	< 100%	25,41%
Rechazado	< 0	< 12%	< 0%	= 20 años	> 100%	74,59%

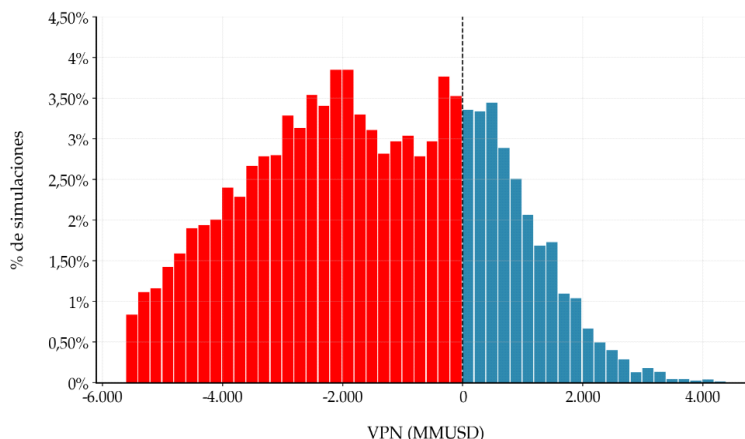
Fuente: Cálculos propios con base a PDVSA (2008).





Al examinar el comportamiento de cada uno de los indicadores económicos evaluados, los valores más frecuentes confirman la inviabilidad económica del portafolio bajo los supuestos establecidos:

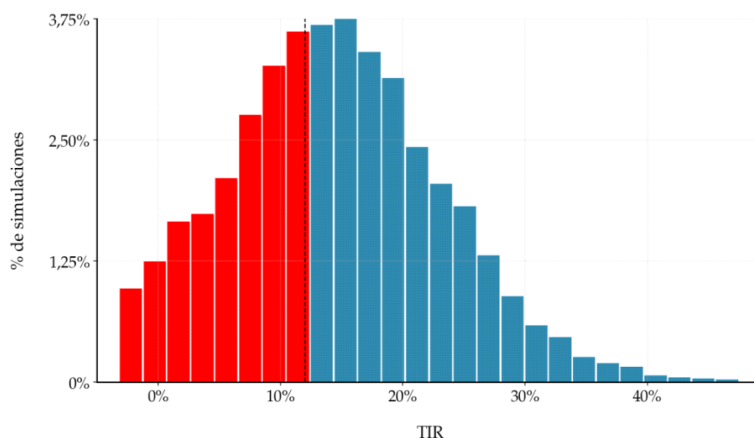
Gráfico 5. Histograma de frecuencia del valor presente neto (premisas fiscales antes de la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos).



Fuente: Cálculos propios con base PDVSA (2008).

- Tasa Interna de Retorno (TIR): En la mayoría de los escenarios, la TIR se ubica muy por debajo de la tasa de descuento del 12%. De hecho, en el 57,01% de las simulaciones la TIR no es matemáticamente calculable debido a que los flujos son tan profundamente negativos. En los casos donde sí se pudo calcular, el valor más recurrente fue 15,77%.

Gráfico 6. Histograma de frecuencia de la tasa interna de retorno (premisas fiscales antes de la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos).



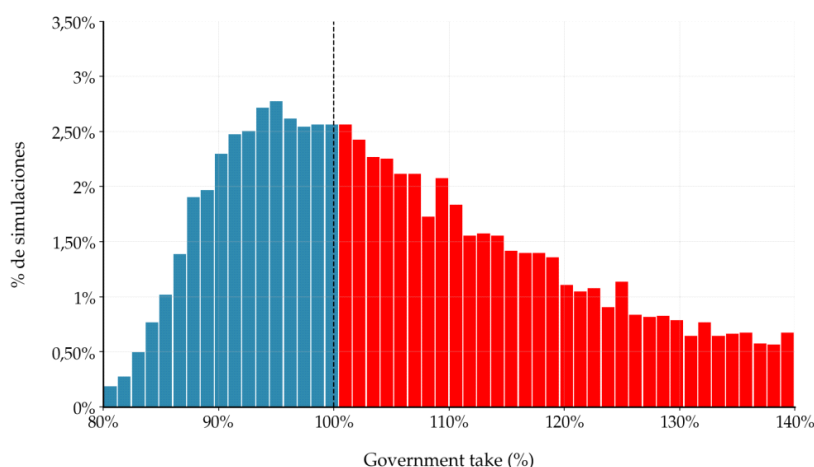
Fuente: Cálculos propios con base PDVSA (2008).





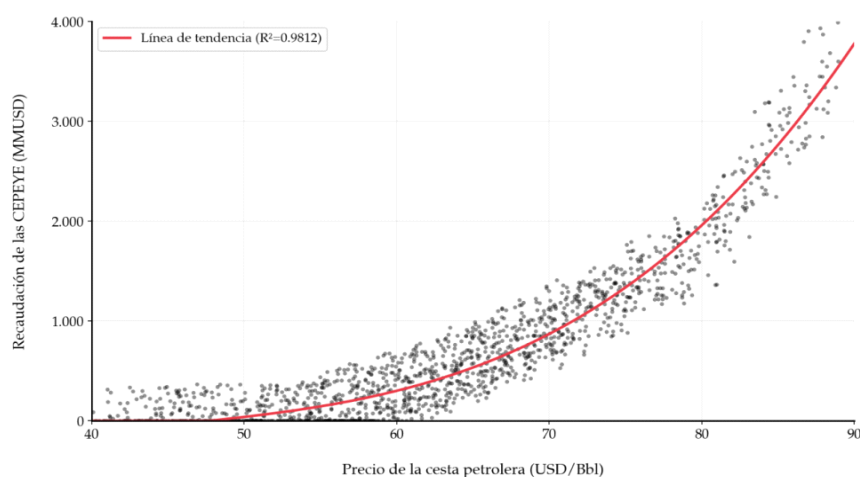
- Retorno de la inversión (*Payback*): El plazo de recuperación más frecuente es de 20 años (el límite del horizonte evaluado), alcanzado en el 74,59% de los escenarios donde el portafolio directamente no logra recuperar el capital. Por el contrario, en los escenarios donde la inversión sí se recupera con éxito, el tiempo de retorno más recurrente es de 7 años.
- *Government take*: El valor más recurrente es de 93,36 con una frecuencia del 13,09% de las simulaciones.

Gráfico 7. Histograma de frecuencia del *government take* (premisas fiscales antes de la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos).



Fuente: Cálculos propios con base PDVSA (2008).

Gráfico 8. Gráfico de dispersión entre recaudación por CEPEYE y precio promedio de la cesta venezolana.



Fuente: Cálculos propios con base PDVSA (2008).



Los gráficos de dispersión revelan cómo el marco fiscal anterior limitaba la viabilidad económica del portafolio conjunto ante las variaciones del mercado:

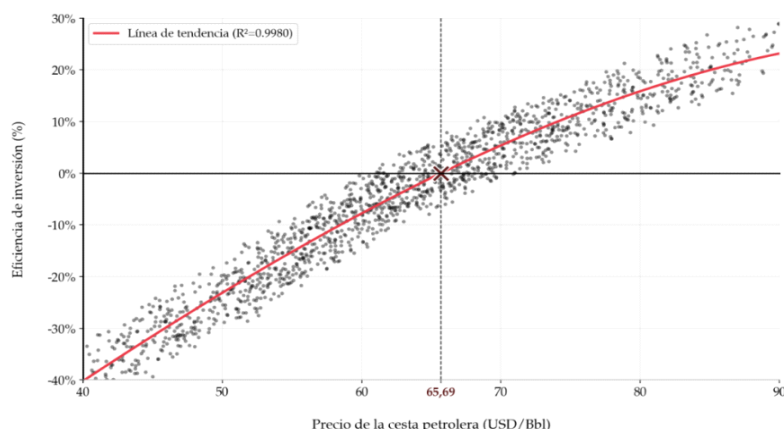
- Comportamiento de las CEPEYE (Gráfico 8): Al superar el umbral de 55 USD/Bbl, la recaudación por precios extraordinarios y exorbitantes crece exponencialmente.
- Impacto estructural: Este aumento acelerado absorbe una proporción cada vez mayor de la renta petrolera adicional durante las bonanzas internacionales, impidiendo que el inversionista capte los beneficios de los precios altos.

Este mecanismo, si bien resulta eficaz para apropiar la renta extraordinaria en períodos de bonanza, introduce una distorsión que limita la capacidad del inversor para acumular excedentes de capital, razón por la cual, el gráfico 9 señala que, ante el crecimiento de los precios de la cesta venezolana, la eficiencia del portafolio crece de forma “desacelerada”.

Adicionalmente:

- Precio de equilibrio (Gráfico 9): El portafolio necesita un precio mínimo de 65,69 USD/Bbl para generar rentabilidad. Al estar la media histórica reciente por debajo de este nivel, el marco fiscal anterior situaba las inversiones en una zona de alto riesgo.

Gráfico 9. Gráfico de dispersión entre eficiencia de inversión y precio promedio de la cesta venezolana (previo a reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos).



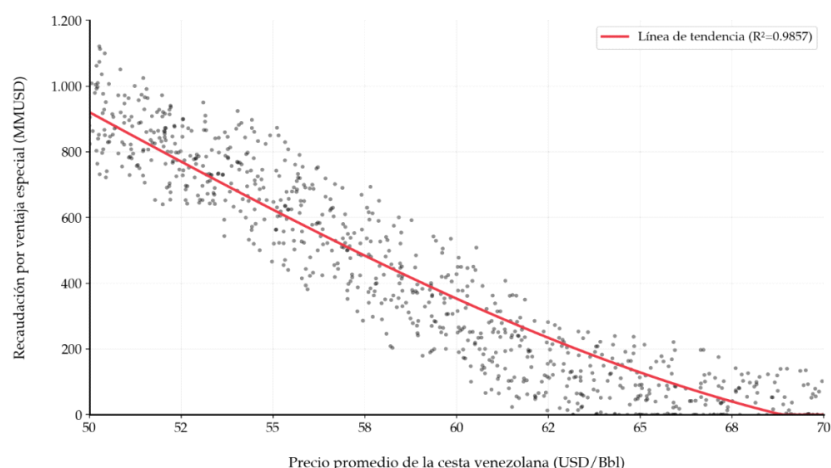
Fuente: Cálculos propios con base PDVSA (2008).





- Carácter regresivo de la Ventaja Especial (Gráfico 10): Ante una caída en los precios del crudo, la recaudación por ventaja especial no disminuye proporcionalmente a los ingresos brutos, sino que se incrementa exponencialmente.

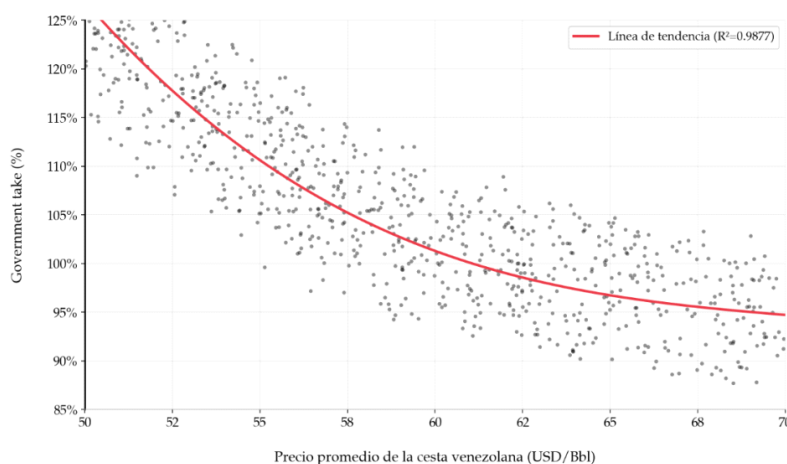
Gráfico 10. Gráfico de dispersión entre recaudación por ventaja especial y precio promedio de la cesta venezolana.



Fuente: Cálculos propios con base a PDVSA (2008).

- Impacto en el Government Take (Gráfico 11): Como consecuencia de esa regresividad, cuando el mercado es adverso y los ingresos se contraen, la participación del Estado aumenta de forma exponencial, limitando los proyectos en épocas de precios bajos.

Gráfico 11. Gráfico de dispersión entre *government take* y precio promedio de la cesta venezolana (previo a reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos).



Fuente: Cálculos propios con base PDVSA (2008).





Por lo tanto, esto se interpreta como una de las carencias de la legislación previa a la reforma para ofrecer mecanismos de adaptación del sistema fiscal a las coyunturas de declive del mercado petrolero internacional, lo que compromete el desarrollo de un portafolio diversificado de campos petroleros.

4.4. Análisis de resultados con premisas del marco fiscal vigente (2026)

Para evaluar el impacto de la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos sobre los indicadores de rentabilidad, se recalculan los escenarios utilizando las siguientes premisas del marco fiscal vigente (2026):

- Precios: Se mantiene el precio de la cesta venezolana y el precio base presupuestario en 55 USD/barril, con una tasa de descuento del 12%.
- Premisas financieras y fiscales: Alícuotas máximas permitidas por ley.

En la tabla 8 y el gráfico 12, se señalan los resultados económicos de la ejecución de los tres proyectos estudiados bajo las premisas presentadas en este apartado que están sujetas a la legislación vigente desde enero de 2026.

Tabla 8. Resultados de evaluación económica de proyectos de producción petrolera con base en precio de 55USD/barril (con premisas fiscales después de la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos).

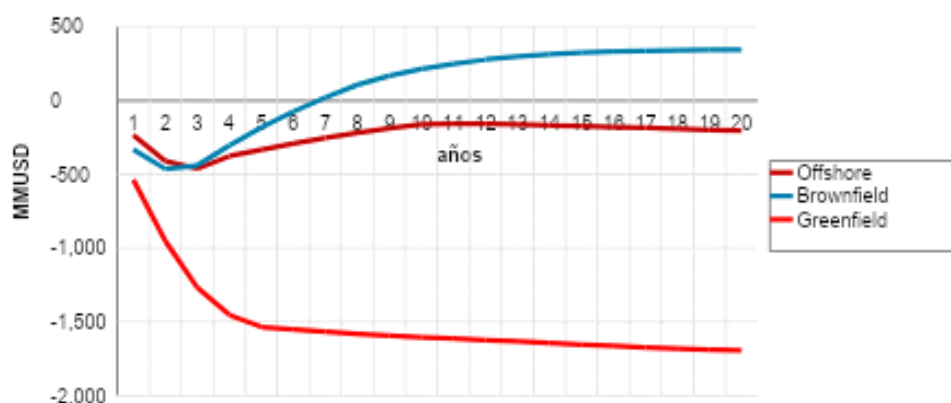
Indicador	Proyecto “A”	Proyecto “B”	Proyecto “C”
Valor presente neto (MMUSD)	345	-255	-1.695
Tasa interna de retorno	24%	N/A	N/A
Eficiencia de inversión	11%	-7%	-49%
Retorno de inversión (años)	6	N/A	N/A
<i>Government take</i>	92%	>100%	>100%

Fuente: Cálculos propios con base PDVSA (2008).





Gráfico 12. Resultados de evaluación económica de proyectos de producción petrolera con base en precio de 55USD/barril (con premisas fiscales después de la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos).



Fuente: Cálculos propios con base a PDVSA (2008).

Por lo tanto, al comparar el marco fiscal vigente (2026) con el anterior, se concluye que la aplicación de los topes máximos en las alícuotas de regalía, impuesto integrado de hidrocarburos e ISLR genera el siguiente impacto:

- Campos maduros (*Brownfield*): Experimentan un deterioro en sus indicadores de rentabilidad, aunque continúan siendo económicamente viables.
- Campos *Off-shore* y *Greenfield*: Mantienen indicadores económicos negativos, lo que perpetúa su inviabilidad financiera bajo las nuevas condiciones. Asimismo, en la tabla 9, se visualizan los resultados consolidados de los indicadores económicos, donde se evidencia que la inversión conjunta para un portafolio de negocio con estos tres tipos de campo no es rentable económicamente, bajo las premisas fiscales llevadas en la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos.

Tabla 9. Resultado de la evaluación económica consolidada de tres proyectos de producción petrolera con base a precio de 55USD/barril y premisas fiscales tras la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos.

Indicador	Valor presente neto (MMUSD)	Tasa interna de retorno	Eficiencia de inversión	Retorno de inversión (años)	Government take
Resultado conjunto	-2.072	N/A	-19%	N/A	>100%

Fuente: Cálculos propios con base a PDVSA (2008).

Se propone aplicar una simulación de Montecarlo para evaluar cómo afectan las variaciones del precio del petróleo venezolano a la rentabilidad del portafolio, bajo los siguientes parámetros:



- Alcance: 10,000 simulaciones.
- Precios entre 30 y 120 \$/Bbl (distribución normal con media de 55USD/Bbl).
- Tasa de descuento: 12%.

De esta manera, el método de simulación de Montecarlo manifiesta que, en el 5,93% de las 10.000 iteraciones, el portafolio de inversión en los campos petroleros estudiados suele ser rentable; por el contrario, en el 94,07% de los escenarios, la ejecución conjunta de los proyectos resultaría en pérdidas económicas, bajo la aplicación de los límites máximos a las alícuotas de la regalía, el impuesto integrado y el ISLR mencionados en la vigente Ley Orgánica de Hidrocarburos.

Tabla 10. Resultados de la simulación de Montecarlo en función a los indicadores económicos del portafolio (premisas fiscales después de la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos).

Criterio de decisión	VPN	TIR	Eficiencia de la inversión	Retorno de la inversión	Government take	% de simulaciones
Aceptación	> 0	>12%	>0%	< 20 años	< 100%	5,93%
Rechazado	< 0	< 12%	< 0%	= 20 años	> 100%	94,07%

Fuente: Cálculos propios con base a PDVSA (2008).

La simulación de Montecarlo demuestra que el marco fiscal vigente hace inviable el portafolio de inversión, aumentando significativamente el riesgo de pérdidas en comparación con el régimen anterior. Bajo el marco fiscal vigente (Alícuotas máximas): El portafolio solo es rentable en el 5.93% de los casos, generando pérdidas en el 94.07% de los escenarios.

Comparativa de marcos fiscales:

- La probabilidad de éxito cayó del 25.41% al 5.93%.
- La probabilidad de pérdidas subió del 74.59% al 94.07%.

Análisis de resultado: Aunque la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos redujo la cantidad de tributos, la aplicación de las alícuotas máximas (regalía, impuesto integrado e ISLR) genera una carga impositiva efectiva mucho mayor, destruyendo la viabilidad económica de los proyectos.

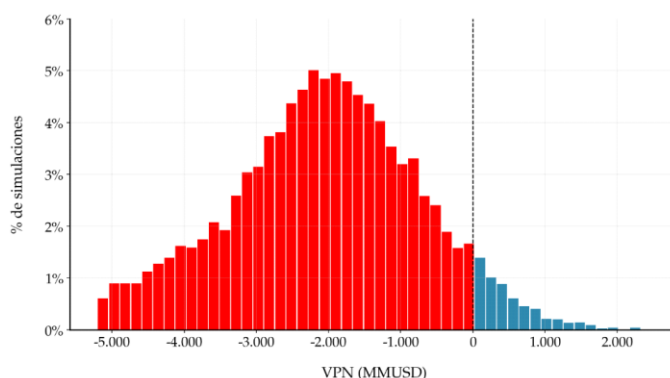
En consecuencia, al examinar el comportamiento de cada uno de los indicadores económicos evaluados, se obtienen los siguientes valores:





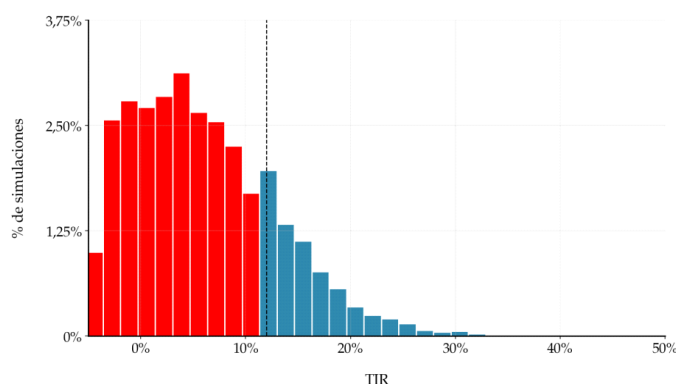
- Tasa Interna de Retorno (TIR): Se evidencian 6.287 simulaciones en el que la TIR no es matemáticamente calculable ($TIR \ll 12\%$), porque el VPN resulta tan profundamente negativo. Dentro del subconjunto de 3.713 simulaciones, donde la TIR resulta calculable, el valor más frecuente se ubica en torno al 2,77%, por debajo de la tasa de descuento.
- Retorno de la inversión: El valor más frecuente es de 20 años, alcanzado en el 94,07% de los escenarios. Por otro lado, entre los escenarios donde sí se produce la recuperación de la inversión, el valor más recurrente es de 10 años.
- *Government take*: El valor más recurrente es de 111,58% con una frecuencia del 9,28% de las simulaciones

Gráfico 13. Histograma de frecuencia del valor presente neto (premisas fiscales después de la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos).



Fuente: Cálculos propios con base a PDVSA (2008).

Gráfico 14. Histograma de frecuencia de la tasa interna de retorno (premisas fiscales después de la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos).

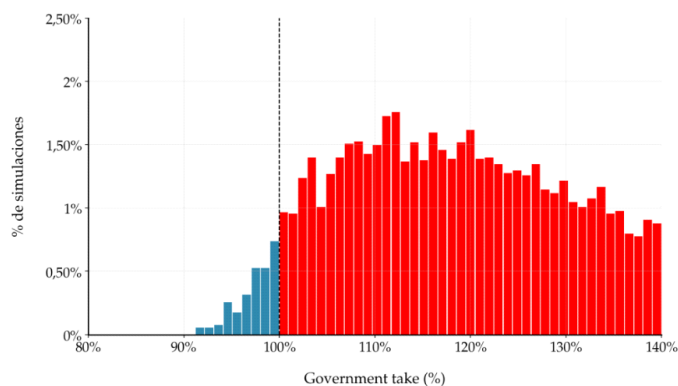


Fuente: Cálculos propios con base PDVSA (2008).





Gráfico 15. Histograma de frecuencia del *government take* (premisas fiscales después de la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos).



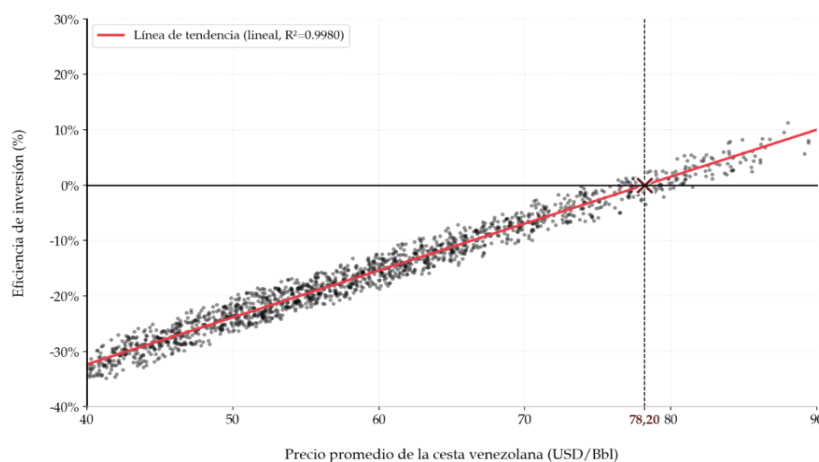
Fuente: Cálculos propios con base PDVSA (2008).

En el gráfico 16, el análisis del precio de *break-even* (punto de equilibrio) confirma el endurecimiento de las condiciones económicas para el portafolio debido al cambio legal:

- *Break-even* actual: Se ubica en 78.20 USD/Bbl al aplicar las alícuotas máximas de la legislación vigente.
- Impacto del nuevo marco fiscal: El umbral mínimo para que el proyecto sea viable se incrementó en 12.51 USD/Bbl en comparación con el marco anterior (donde el breakeven era de 65.69 USD/Bbl).

Análisis de resultado: El nuevo régimen fiscal con máximas alícuotas eleva drásticamente el precio mínimo de petróleo requerido para que las inversiones dejen de dar pérdidas.

Gráfico 16. Gráfico de dispersión entre eficiencia de inversión y precio promedio de la cesta venezolana (premisas fiscales después de la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos).



Fuente: Cálculos propios con base PDVSA (2008).

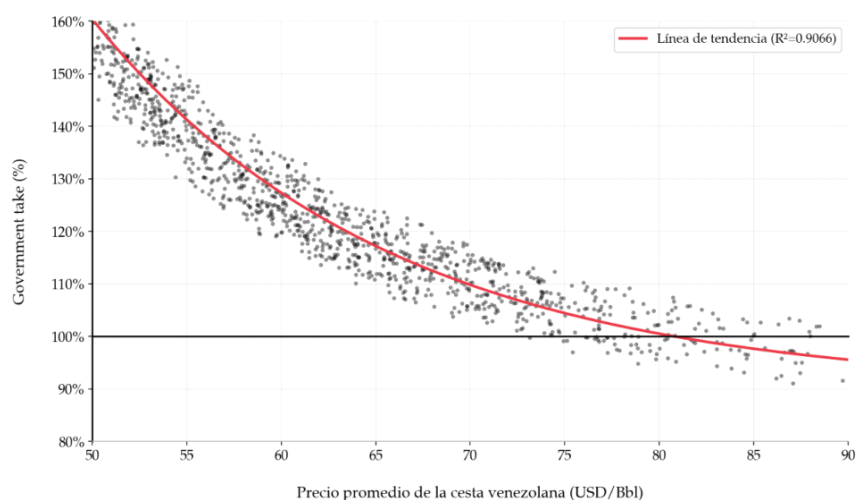




El gráfico 17 muestra que bajo el marco fiscal vigente (2026), el government take mantiene el mismo comportamiento que en el régimen anterior: aumenta exponencialmente a medida que baja el precio del petróleo. Sin embargo, la causa económica es totalmente distinta:

- Régimen anterior: El aumento del government take en precios bajos era causado por la ventaja especial.
- Marco fiscal actual (2026): El fenómeno ocurre por el efecto conjunto de la regalía y el impuesto integrado de hidrocarburos, los cuales se calculan sobre la venta bruta y no sobre la utilidad neta.

Gráfico 17. Gráfico de dispersión entre *government take* y precio promedio de la cesta venezolana (premisas fiscales después de la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos).



Fuente: Cálculos propios con base PDVSA (2008).

Análisis de resultado: Al aplicar los impuestos sobre los ingresos brutos, la carga fiscal efectiva se dispara cuando los precios caen, asfixiando financieramente a los proyectos cuando operan con márgenes estrechos o pérdidas.

En este sentido, la aplicación de las alícuotas máximas vigentes (regalía, impuesto integrado e ISLR) empeora drásticamente todos los indicadores de rentabilidad en comparación con el escenario fiscal previo a la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos.





4.5. Optimización de alícuotas bajo marco fiscal vigente (2026)

Ante la inviabilidad económica de aplicar las alícuotas máximas, se introduce un análisis de sensibilidad basado en las cláusulas de equilibrio económico (Art. 26 de la Ley Orgánica de Hidrocarburos). Para ello, se utiliza el *Solver* de *Excel* con el fin de optimizar las alícuotas, fijando metas de Eficiencia de Inversión (EI) mínima según el perfil de riesgo y costo de cada proyecto:

- Proyecto A (*Brownfield* - Crudo Mediano): Menor riesgo y bajo costo de producción (11.6 USD/Bbl). Se le exige una EI mínima del 20%.
- Proyecto B (*Offshore* - Crudo Mediano-Pesado): Riesgo y costo intermedio (18.51 USD/Bbl). Se le exige una EI mínima del 25%.
- Proyecto C (*Greenfield* - Crudo Pesado/Extrapesado): Mayor riesgo tecnológico (análogo a la Faja del Orinoco). Se le exige una EI mínima del 30%.

Premisa clave: A mayor riesgo técnico y financiero en la ejecución del proyecto, mayor es el retorno mínimo exigido para justificar la inversión.

De este modo, se plantea el siguiente ejercicio de optimización a través del *solver* de *Microsoft Excel*:

Este problema algebraico se interpreta como: “Definir el nivel de regalía (R), impuesto integrado de hidrocarburos (IIH) e ISLR para maximizar el nivel de *government take*, sujeto a la eficiencia de inversión equivalente al nivel X%”. En consecuencia, se iterará este ejercicio de acuerdo al nivel mínimo de eficiencia de inversión para cada proyecto:

- Proyecto “A”: Campo *brownfield*
- Proyecto “B”: Campo *offshore*
- Proyecto “C”: Campo *greenfield*

4.6. Resultados por tipo de campo

Los ejercicios de optimización de Solver, validados mediante simulaciones de Montecarlo (10,000 iteraciones por nivel de precio entre 30 y 120 USD/Bbl), demuestran el funcionamiento práctico de la cláusula de equilibrio económico del marco fiscal 2026.

Los hallazgos se estructuran de la siguiente manera:

- Resultados individuales organizados por tipo de campo.





- Comparativa consolidada para analizar las diferencias estructurales y de perfil de riesgo entre los tres proyectos evaluados.

Proyecto A: Brownfield onshore (Eficiencia de inversión mínima: 20%):

Tabla 11. Optimización de *government take* para desarrollo de campo *brownfield*.

Precio (USD/Bbl)	Government take (%)	Regalía (%)	Impuesto integrado de hidrocarburos (%)	ISLR (%)	Eficiencia de inversión (%)
40	74%	9,7%	4,9%	50%	20%
50	82%	21,0%	10,5%	50%	20%
60	88%	29%	14,3%	50%	20%
70	86%	30%	15%	50%	29%
90	82%	30%	15%	50%	54%
100	81%	30%	15%	50%	66%
110	80%	30%	15%	50%	78%
120	79%	30%	15%	50%	90%

Fuente: Cálculos propios con base a PDVSA (2008).

El análisis de optimización determina que este campo, debido a sus bajos costos, es el más resiliente al marco fiscal vigente:

- Soportabilidad fiscal: Admite la aplicación total de las alícuotas máximas a partir de precios cercanos a los 65 USD/Bbl.
- Activación de la cláusula de equilibrio: Por debajo de los 65 USD/Bbl, las tasas se reducen progresivamente. En el escenario crítico de 40 USD/Bbl, la regalía baja al 9.7% y el IIH al 4.9%, mientras que el ISLR se mantiene fijo en 50%.
- Comportamiento del *Government Take*: Presenta una curva cóncava con un tope del 88% a los 60 USD/Bbl. Disminuye hacia precios bajos por los ajustes de la cláusula de equilibrio, y hacia precios altos porque la rentabilidad del proyecto crece más rápido que la recaudación del Estado.

Proyecto B: Off-shore (Eficiencia de inversión mínima: 25%):

Tabla 12. Optimización de *government take* para desarrollo de campo *offshore*.

Precio (USD/Bbl)	Government take (%)	Regalía (%)	Impuesto integrado de hidrocarburos (%)	ISLR (%)	Eficiencia de inversión (%)
40	18%	0,2%	0,1%	13%	25%
50	60%	2,0%	1,0%	50%	25%
60	74%	13%	6,3%	50%	25%
70	81%	20%	10%	50%	25%
90	86%	30%	15%	50%	26%
100	84%	30%	15%	50%	35%
110	83%	30%	15%	50%	44%
120	82%	30%	15%	50%	53%

Fuente: Cálculos propios con base datos PDVSA (2008).





Debido a su complejidad técnica y altos costos de producción, este proyecto muestra una alta sensibilidad fiscal y requiere un fuerte alivio tributario para ser viable:

- Soportabilidad fiscal: Las alícuotas máximas de la ley solo pueden aplicarse plenamente en escenarios de precios altos, a partir de los 90 USD/Bbl.
- Activación de la cláusula de equilibrio:
 - Entre 50 y 90 USD/Bbl: Se reducen gradualmente las tres tasas, bajando la regalía hasta el 2.0% y el IIH al 1.0% (con ISLR al 50%).
 - Menos de 50 USD/Bbl: Se requiere reducir drásticamente el ISLR para mantener la rentabilidad mínima, cayendo al 39% (a 45 USD/Bbl) y hasta el 13% (a 40 USD/Bbl).
- Comportamiento del *Government Take*: Alcanza su máximo del 86% a los 90 USD/Bbl, pero sufre una caída abrupta en escenarios de precios bajos, llegando a apenas un 18% cuando el crudo cotiza a 40 USD/Bbl.

Proyecto C: Greenfield (Eficiencia de inversión mínima: 30%):

Tabla 13. Optimización de *government take* para desarrollo de campo *greenfield*.

Precio (USD/Bbl)	<i>Government take</i> (%)	Regalía (%)	Impuesto integrado de hidrocarburos (%)	ISLR (%)	Eficiencia de inversión (%)
40	6%	0,2%	0,1%	10%	8%
50	8%	0,2%	0,1%	20%	14%
60	10%	1%	0,5%	30%	20%
70	15%	2%	1%	40%	26%
90	41%	9%	5%	50%	30%
100	56%	15%	8%	50%	30%
110	65%	20%	10%	50%	30%
120	70%	24%	12%	50%	30%

Fuente: Cálculos propios con base a datos PDVSA (2008).

Este proyecto representa el caso más extremo de sensibilidad económica debido a su elevadísima intensidad de capital y la complejidad técnica de extraer crudo extrapesado (estilo Faja del Orinoco):

- Soportabilidad fiscal: Las alícuotas máximas vigentes son prácticamente inaplicables; solo podrían cobrarse a precios superiores a los 120 USD/Bbl.
- Activación de la cláusula de equilibrio: Requiere un alivio fiscal agresivo y permanente en casi todo el rango de precios:
 - Regalía: Oscila entre apenas 0.2% (a 40 USD/Bbl) y 23.7% (a 120 USD/Bbl).
 - IIH: Se reduce a rangos de entre 0.1% y 11.6%.





- ISLR: Debe recortarse drásticamente en precios bajos, entre 10% y 50%.
- Comportamiento del *Government Take*: Es el más bajo de los tres campos evaluados. No es cóncavo, sino que crece de forma lineal y constante: desde un mínimo del 6% (a 40 USD/Bbl) hasta un máximo del 70% (a 120 USD/Bbl).

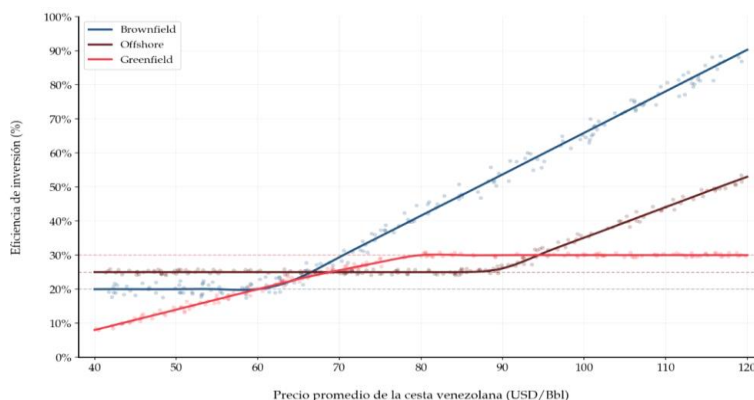
Análisis comparativo consolidado

La comparación de los tres proyectos (gráfico 18) revela cómo responde cada perfil de inversión bajo el régimen de alícuotas optimizadas:

- Zona de protección (Menos de 60 USD/Bbl): Los tres proyectos operan en sus niveles mínimos de eficiencia exigida (20%, 25% y 30%). Esto demuestra que la cláusula de equilibrio económico funciona eficazmente como un escudo para proteger al inversionista en escenarios de precios bajos.
- Zona de despegue (Más de 60 USD/Bbl): Al subir los precios, la rentabilidad de los campos tradicionales reacciona positivamente:
 - El Proyecto A (*Brownfield*) escala hasta alcanzar un 90% de eficiencia a 120 USD/Bbl.
 - El Proyecto B (*Offshore*) sube de forma moderada hasta un 53% de eficiencia.
- El caso crítico (Proyecto C - *Greenfield*): Se mantiene estancado en su piso del 30% de eficiencia en todo el rango de precios (hasta los 120 USD/Bbl).

Análisis de resultado: La complejidad técnica y los altos costos del proyecto Greenfield son tan severos que, incluso reduciendo los impuestos a sus niveles mínimos, la rentabilidad marginal no logra despegar.

Gráfico 18. Gráfico de dispersión entre eficiencia de inversión y precio promedio de la cesta venezolana por campo (premisas fiscales después de la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos).



Fuente: Cálculos propios con base PDVSA (2008).





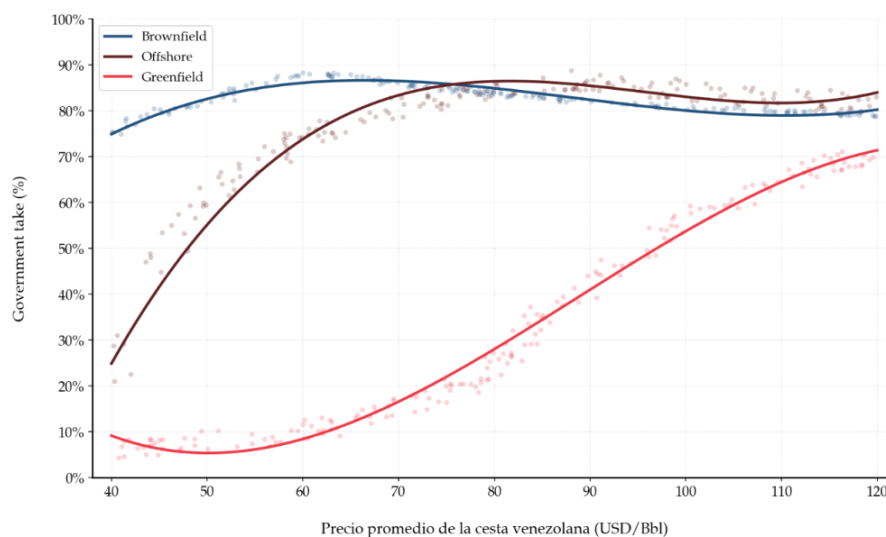
El Gráfico 19 consolida la trayectoria de la recaudación estatal para los tres proyectos, estableciendo una jerarquía clara basada en la complejidad de cada campo:

- Proyecto A (*Brownfield*): Permite la mayor recaudación del Estado, capturando entre el 74% y 90% de la renta en todo el rango de precios.
- Proyecto B (*Offshore*): Muestra una recaudación intermedia entre el 18% y 86%.
- Proyecto C (*Greenfield*): Ofrece el menor margen de recaudación, entre 6% y 70%.

Principio de Política Fiscal: A mayor costo unitario y complejidad técnica del yacimiento, menor es el margen de renta disponible para el Estado si se quiere preservar la rentabilidad mínima del inversionista.

Análisis de resultado: Aplicar las alícuotas máximas vigentes (30% regalía, 15% IIH y 50% ISLR) de forma uniforme a todos los campos es económicamente inviable para los proyectos Greenfield y Offshore. Esto ratifica la necesidad obligatoria de aplicar de manera diferenciada la cláusula de equilibrio económico (Art. 26 de la Ley Orgánica de Hidrocarburos de 2026).

Gráfico 19. Gráfico de dispersión entre *government take* y precio promedio de la cesta venezolana por campo (premisas fiscales después de la reforma de la Ley Orgánica de Hidrocarburos).



Fuente: Cálculos propios con base PDVSA (2008).





4.7. Implicaciones para el diseño de los contratos

Los resultados del análisis definen tres lineamientos clave de política fiscal para el diseño de los nuevos contratos petroleros:

- **La flexibilidad como regla, no como excepción:** La cláusula de equilibrio económico-financiero debe ser un componente contractual estructural y permanente para proyectos de alto riesgo (*Offshore* y *Greenfield* Extrapesado), y no una medida coyuntural.
- **Fiscalidad diferenciada por tipo de campo:** Las alícuotas contractuales deben ajustarse según la naturaleza y complejidad técnica del yacimiento, respetando estrictamente los pisos de rentabilidad mínima exigidos (Eficiencia de Inversión del 20% para *Brownfield*, 25% para *Offshore* y 30% para *Greenfield*).
- **Ajuste dinámico y multivariable:** La reactivación del equilibrio financiero debe modificar la regalía, el IIH y el ISLR de forma simultánea y combinada. Concentrar el alivio fiscal en un solo impuesto es ineficiente, ya que la combinación óptima varía según el precio del crudo y el perfil del proyecto.

Conclusión

El análisis cuantitativo de la investigación sintetiza el marco fiscal en seis puntos clave:

- **Ineficiencia del régimen anterior (2006 - Ene 2026):** El marco previo limitaba los proyectos de alta inversión debido a la acumulación de impuestos (regalía, extracción, CEPEYE, ISLR y shadow tax / ventaja especial). Los alivios fiscales individuales eran inútiles, ya que la reducción de un tributo aumentaba automáticamente la base imponible de los otros, anulando el beneficio.
- **Inviabilidad de las alícuotas máximas de 2026:** A pesar de que la reforma de 2026 simplificó la estructura tributaria, aplicar de forma uniforme las alícuotas máximas legales (30% regalía, 15% IIH y 50% ISLR) provoca un deterioro aún mayor en la rentabilidad de las inversiones que el régimen anterior.
- **Rol crítico del equilibrio económico:** La cláusula de equilibrio económico-financiero (Art. 26, 51, 52 y 58 de la LOH reformada) es el mecanismo indispensable del nuevo marco. Permite flexibilizar las tasas por tipo de campo y ajustar dinámicamente la recaudación estatal (*government take*) al ciclo de precios del crudo.





- **Jerarquía fiscal por complejidad de campo:** Existe un límite físico para la recaudación: a mayor costo y complejidad técnica del yacimiento, menor es el margen de renta que el Estado puede extraer. Por ello, la aplicación uniforme de tasas máximas es inviable en proyectos de crudo extrapesado (*Greenfield*) u *Offshore*, haciendo obligatoria la aplicación diferenciada de la ley.
- **Lineamientos para el diseño contractual:** Para atraer inversión internacional, la política fiscal en los contratos debe seguir tres reglas:
 - Permanencia: El equilibrio financiero debe ser un componente contractual estructural para proyectos de alto riesgo, no una excepción de emergencia.
 - Diferenciación: Las tasas deben respetar los pisos mínimos de eficiencia exigidos para cada tipo de campo.
 - Simultaneidad: Los alivios fiscales deben aplicarse modificando la regalía, el IIH y el ISLR, dado que la combinación óptima de éstas varía según el precio del mercado.
- **Balance estado-Inversionista:** La investigación ofrece los datos cuantitativos necesarios para diseñar un régimen fiscal competitivo en Venezuela, demostrando técnicamente cómo equilibrar la recaudación del Estado con los incentivos que necesita el capital privado para desarrollar la industria. Texto aquí

Referencias

- Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela. (2006). *Ley Orgánica de Hidrocarburos*. Gaceta Oficial N° 38.493.
- Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela. (2009). *Términos y condiciones para la creación y funcionamiento de las empresas mixtas y el modelo de contrato*. Gaceta Oficial N° 39.273.
- Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela. (2010). *Ley Orgánica de Drogas*. Gaceta Oficial N° 39.546.
- Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela. (2011). *Ley Orgánica de Deporte, Actividad Física y Educación Física*. Gaceta Oficial N° 39.741.
- Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela. (2013). *Ley que crea la Contribución Especial por Precios Extraordinarios y Precios Exorbitantes en el Mercado Internacional de Hidrocarburos*. Gaceta Oficial N° 40.114.
- Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela. (2026). *Ley Orgánica de Hidrocarburos*. Gaceta Oficial Extraordinaria N° 6.978.





- Benninger, T., Devlin, D., Camero Godinez, E., & Vernon-Lin, N. (2024). *Cash flow analysis of fiscal regimes for extractive industries (IMF Working Paper WP/24/89)*. International Monetary Fund.
- Blank, L. Tarquin, A. (2015). *Ingeniería económica* (7ma. ed.). México: McGraw Hill.
- Garay, U., & González, M. (2014). *Fundamentos de finanzas con aplicaciones al mercado venezolano* (3.ª ed.). Ediciones IESA.
- Johnston, D. (1994). *International petroleum fiscal systems and production sharing contracts*. PennWell Books.
- Khelil, C. (1995). *Fiscal systems for oil: The government take and competition for exploration investment*. World Bank.
- Marten, I., Whittaker, P., & de Bourio, A. (2015). *Government take in upstream oil and gas: Framing a more balanced dialogue*. Boston Consulting Group.
- Mohamed, I. S., Khattab, H. M., Elsayed, S. K., El-Rammah, S. G., & El-Noby, M. (2022). A review paper on upstream petroleum fiscal systems. *Journal of Unconventional Science and Technology Studies*.
- PDVSA – CVP (2008). *Planes de Negocio para Empresas Mixtas* [Presentación institucional no publicada]
- Presidencia de la República Bolivariana de Venezuela. (2015). *Decreto con Rango, Valor y Fuerza de Ley de Impuesto sobre la Renta*. Gaceta Oficial Extraordinaria N° 6.210.
- Presidencia de la República Bolivariana de Venezuela. (2022). *Decreto con Rango, Valor y Fuerza de Ley Orgánica de Ciencia, Tecnología e Innovación*. Gaceta Oficial Extraordinaria N° 6.693.
- Smith, J. L. (2020). *Análisis del marco fiscal petrolero de Venezuela* (Nota técnica IDB-TN-1895). Banco Interamericano de Desarrollo.
- Schlumberger Limited. (2023). *Government take. Schlumberger Oilfield Glossary*. Publicado en: <https://glossary.slb.com/> [Revisado: 08 de mayo de 2026].
- Tordo, S., Johnston, D., & Johnston, D. (2010). *Petroleum exploration and production rights: Allocation strategies and design issues* (World Bank Working Paper No. 179). World Bank

Declaración de conflicto de interés y originalidad

Conforme a lo estipulado en el *Código de ética y buenas prácticas* publicado en **PetroRenova Indexed, Revista Científica de la Energía**, el autor **Sánchez Piñerúa, Carlos Ernesto**, declara al Comité Editorial que no tiene situaciones que representen conflicto de interés real, potencial o evidente, de carácter académico, financiero, intelectual o con derechos de propiedad intelectual relacionados con el contenido del artículo: **Rentabilidad y fiscalidad petrolera en Venezuela: evaluación económica de la reforma legal**, en relación con su publicación. De igual manera, declara que el trabajo es original, no ha sido publicado parcial ni totalmente en otro medio de difusión, no se utilizaron ideas, formulaciones, citas o ilustraciones diversas, extraídas de distintas





fuentes, sin mencionar de forma clara y estricta su origen y sin ser referenciadas debidamente en la bibliografía correspondiente. Consiente que el Comité Editorial aplique cualquier sistema de detección de plagio para verificar su originalidad.

El autor declara que, en la preparación de este manuscrito, no utilizó herramientas de inteligencia artificial generativa para la redacción de textos o interpretación de datos.

Para citar este artículo:

Sánchez Piñerúa, Carlos Ernesto (2026). Rentabilidad y fiscalidad petrolera en Venezuela: evaluación económica de la reforma legal. *PetroRenova Indexed, Revista Científica de la Energía*. Vol. 2, núm. 3(6-43), julio-septiembre, 2026. <https://doi.org/10.5281/zenodo.21810276>



Seguridad y salud en el trabajo: innovación y sostenibilidad en la transición energética

Occupational health and safety: Innovation and sustainability in the energy transition

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21810492>

Recibido: 2026-05-14 Aceptado: 2026-06-20

León Estrada, Fernando Tomas¹

Correo: fernando3275@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-9437-6758>

Medina Cazador, Antonio José²

Correo: antoniomedinauptz@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-4390-1577>

Montes de Oca Andrade, Julio César³

Correo: eltribologo@yahoo.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1856-7828>

Resumen

Esta revisión sistemática, bajo las directrices PRISMA 2020, analiza la transformación de la seguridad y salud en el trabajo (SST) durante la transición de la industria fósil a las energías renovables. De un filtrado inicial de 1.449 registros (2020-2026), se seleccionó y analizó un corpus final de 13 estudios mediante síntesis narrativa. Los hallazgos muestran que la descarbonización no elimina los riesgos laborales, sino que los redistribuye según la tecnología. Innovaciones digitales como IoT (Internet de las Cosas) y digital twins (Gemelos Digitales) reducen incidentes, pero su éxito depende, estrictamente del safety climate (Clima de Seguridad) organizacional. Asimismo, los marcos de process safety (Seguridad de los procesos) de Oil & Gas son un punto de partida válido que requiere adaptación contextual.

Palabras clave: Seguridad y salud en el trabajo, transición energética, energías renovables, riesgos ocupacionales emergentes.

Abstract

This systematic review, conducted in accordance with PRISMA 2020 guidelines, analyzes the transformation of occupational health and safety (OHS) during the transition from the fossil fuel

¹ Ingeniero en Higiene y Seguridad Laboral. Magister en Docencia para Educación Superior. Profesor de la Universidad Politécnica Territorial del Zulia (UPTZ). Zulia, Venezuela.

² Ingeniero en Higiene y Seguridad Laboral. Profesor de la Universidad Politécnica Territorial del Zulia (UPTZ). Zulia, Venezuela.

³ Ingeniero en Mantenimiento Mecánico. Magíster en Docencia para la Educación Superior. Profesor de la Universidad Nacional Experimental Rafael María Baralt. Zulia, Venezuela.



industry to renewable energy. From an initial screening of 1,449 records (2020–2026), a final corpus of 13 studies was selected and analyzed using narrative synthesis. The findings indicate that decarbonization does not eliminate occupational risks but rather redistributes them based on the technology involved. Digital innovations such as IoT and digital twins reduce incidents, however their success depends strictly on the organizational safety climate. Furthermore, process safety frameworks from the oil and gas sector serve as a valid starting point that requires contextual adaptation.

Keywords: occupational safety and health, energy transition, renewable energies, emerging occupational risks.

Introducción

La transición global de las industrias fósiles a las energías renovables está reconfigurando, radicalmente, los perfiles de riesgo laboral en el sector energético. Si bien la industria del Oil & Gas legó marcos metodológicos robustos en seguridad de procesos, tecnologías emergentes como el hidrógeno, bioenergía y digitalización, introducen riesgos físicos y psicosociales que desafían los enfoques tradicionales de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST).

Actualmente, existe una brecha crítica en la literatura científica: los estudios sobre el tema están fragmentados por tecnologías y omiten la dimensión humana de la descarbonización, ignorando que la SST es un pilar fundamental para una transición justa. Este trabajo ofrece la primera revisión sistemática que unifica la gestión de la seguridad, riesgos emergentes y sostenibilidad en el cruce de ambos modelos energéticos, sirviendo como guía estratégica para investigadores y tomadores de decisiones.

1. Fundamentos teóricos

Analizar la SST en el contexto actual requiere entender que la transformación del sector energético global y sus implicaciones laborales altera no solo la cantidad, sino la naturaleza del trabajo. Esta migración hacia las renovables sitúa a la seguridad y salud en el trabajo ante la reconfiguración de riesgos industriales inéditos, donde los marcos tradicionales resultan insuficientes. Abordar esta brecha técnica es un requisito indispensable para alcanzar una transición energética justa: la SST como condición estructural, no periférica, que priorice al ser humano en la ecuación de la sostenibilidad. Sin embargo, el estado del conocimiento: avances sectoriales y brecha de síntesis revela que la ciencia ha tratado estos fenómenos de forma aislada, haciendo imperativa una perspectiva unificada como la que aquí se presenta.





1.1. La transformación del sector energético global y sus implicaciones laborales

La transición energética global constituye uno de los procesos de transformación estructural más profundos de la economía contemporánea. Su alcance no se limita a la sustitución de fuentes de generación: implica la reconfiguración de cadenas de valor, redistribución geográfica de la actividad industrial y modificación sustancial de las condiciones en que trabajan millones de personas en todo el mundo.

En términos cuantitativos, según las International Renewable Energy Agency & International Labour Organization (2024), el sector de las energías renovables empleaba, en 2023, al menos 16,2 millones de personas a nivel global, frente a 13,7 millones registrados apenas un año antes, lo que refleja una expansión sin precedentes en la historia reciente del empleo energético. Las proyecciones disponibles anticipan que esta tendencia continuará: según la Agencia Internacional de Energía (IEA, siglas en inglés, 2023), más de 30 millones de empleos podrían crearse en energía limpia, eficiencia y tecnologías de bajas emisiones para el año 2030.

Sin embargo, esta expansión no es socialmente neutra. Los nuevos empleos no siempre se crean en los mismos territorios ni para los mismos trabajadores que pierden sus puestos en industrias fósiles en declive. Los flujos laborales entre sectores son complejos, geográficamente concentrados y frecuentemente asimétricos en términos de calificación requerida, condiciones contractuales y protección social. En este sentido, la transición energética no es únicamente un fenómeno tecnológico o económico: reconfigura de forma profunda las condiciones en que se trabaja, lo que convierte su dimensión laboral en un objeto de análisis urgente e insuficientemente atendido por la investigación científica.

1.2. La seguridad y salud en el trabajo ante la reconfiguración de riesgos industriales

Entre las dimensiones laborales de la transición energética, la seguridad y salud en el trabajo ocupa un lugar crítico. El sector energético ha sido, históricamente, uno de los campos donde más se ha desarrollado la gestión sistemática de riesgos industriales: las industrias maduras, y en particular Oil & Gas, han construido, durante décadas, marcos robustos de seguridad en los procesos, sistemas de jerarquía de controles, modelos de análisis de riesgos — como HAZOP, Bowtie o árboles de fallos— y culturas organizacionales de seguridad que constituyen un patrimonio técnico e institucional de referencia internacional.





Estos marcos han demostrado su eficacia en entornos con alto potencial de consecuencias catastróficas y constituyen la base sobre la que se ha construido gran parte del conocimiento aplicado en SST industrial.

No obstante, la emergencia de nuevas tecnologías energéticas —hidrógeno, bioenergía, solar fotovoltaico, eólica offshore— introduce perfiles de riesgo, cualitativamente, distintos para los cuales los marcos heredados de las industrias de alto riesgo no ofrecen respuestas automáticas ni siempre adecuadas. Pasman et al. (2023) documentaron que la transición hacia tecnologías energéticas emergentes plantea desafíos de seguridad de los procesos sustancialmente nuevos, entre los cuales destacan los riesgos asociados a la producción y manejo de hidrógeno, los sistemas de almacenamiento de energía y la electrificación de procesos industriales, ámbitos en los que el conocimiento empírico sobre fallos y consecuencias sigue siendo incipiente. Esta situación no es marginal: implica que trabajadores que operan en instalaciones de nueva generación pueden estar expuestos a riesgos para los cuales ni los protocolos de protección ni los sistemas de vigilancia han sido adecuadamente desarrollados.

A esta brecha entre tecnologías emergentes y marcos de gestión disponibles se suma otro vector de complejidad. La investigación sobre riesgos nuevos y emergentes en SST identifica la transición energética como uno de los procesos de mayor dinamismo en la reconfiguración de peligros ocupacionales, con riesgos que combinan dimensiones físicas, químicas y organizacionales de naturaleza novedosa (Lindholm et al., 2024).

Al mismo tiempo, la incorporación de tecnologías digitales e Industria 4.0 a los entornos de trabajo energéticos ofrece herramientas inéditas de monitoreo, control y mantenimiento predictivo, pero también introduce riesgos psicosociales, mecánicos y de interacción humano-tecnología que los enfoques clásicos de gestión de SST no contemplan en su totalidad (Arana-Landín et al., 2023). La innovación tecnológica, en suma, no resuelve por sí sola el problema de la seguridad laboral: lo transforma y, en algunos casos, lo complejiza. Este panorama técnico se enmarca, a su vez, en un debate más amplio: el de si la transición energética está siendo gestionada de manera que proteja efectivamente a quienes trabajan en ella.

1.3. Transición energética justa: la SST como condición estructural, no periférica

La pregunta sobre la protección laboral en la transición energética ha encontrado su expresión institucional más articulada en el marco de la transición justa. Las Directrices para una Transición Justa de la Organización Internacional del Trabajo, publicadas en 2015 y ratificadas





mediante resolución en la 111.^a Conferencia Internacional del Trabajo de 2023, incorporan explícitamente la SST como uno de los componentes de una transición que sea equitativa e inclusiva: junto a la creación de empleo decente, el desarrollo de competencias y el diálogo social, la protección de la salud y seguridad de los trabajadores se reconoce como condición sine qua non de una descarbonización que no deje a nadie atrás (OIT, 2015/2023).

Sin embargo, existe una tensión significativa entre ese reconocimiento normativo y la evidencia empírica disponible. A pesar del marco institucional establecido, la investigación sobre condiciones laborales reales en las nuevas industrias energéticas sigue siendo limitada y frecuentemente periférica respecto al objeto central de los estudios, que tienden a priorizar dimensiones tecnológicas o económicas de la transición sobre las laborales y de salud (Turner et al., 2025). Esta brecha investigadora tiene consecuencias concretas: sin evidencia suficiente sobre los riesgos a los que se enfrentan los trabajadores en las cadenas de valor de tecnologías como el solar fotovoltaico, el hidrógeno o la bioenergía, no es posible diseñar políticas de prevención adecuadas ni evaluar si las condiciones de trabajo en las nuevas industrias son efectivamente mejores que las que se dejan atrás.

Más aún, la presión por acelerar la descarbonización puede generar condiciones de informalidad, exposición no regulada y precariedad laboral en segmentos de las cadenas de valor renovables, reproduciendo o intensificando vulnerabilidades que el discurso de sostenibilidad tiende a invisibilizar. Esto sugiere que la relación entre transición energética y mejora de las condiciones de trabajo no es automática: depende, en gran medida, de si la SST se incorpora como dimensión estructural del proceso de transición o se trata como una externalidad a gestionar una vez que las instalaciones ya están en operación.

Una transición energética genuinamente sostenible desde el punto de vista social exige que esa incorporación sea temprana, deliberada y basada en evidencia.

1.4. Estado del conocimiento: avances sectoriales y brecha de síntesis

El campo de la SST en el sector energético cuenta con contribuciones valiosas y crecientes. Existe una literatura activa sobre riesgos de proceso en tecnologías emergentes —con énfasis en hidrógeno, bioenergía y electrificación industrial—, así como sobre el impacto de las tecnologías de la Industria 4.0 en los sistemas de gestión de seguridad. Vitale et al. (2024), en una revisión sobre riesgos ocupacionales emergentes en empleos verdes, concluyeron que la literatura científica disponible es escasa en lo que respecta a riesgos nuevos asociados a





escenarios de trabajo sostenible, y que los estudios tienden a centrarse en tecnologías o sectores específicos sin ofrecer una visión integrada de los cambios en curso.

Este rasgo de fragmentación sectorial es precisamente el problema estructural del campo. Las contribuciones existentes operan, en su mayoría, dentro de los límites de una tecnología, un subsector o un tipo de riesgo particular, sin articularse en torno a la pregunta más amplia de cómo la transición energética, considerada como proceso global de cambio sectorial, está transformando la SST en su conjunto. La brecha dominante es, por tanto, una brecha de síntesis: los estudios existen, pero no han sido integrados sistemáticamente en torno a esa pregunta transversal. A esta brecha se añade una dimensión empírica secundaria: la escasez de estudios longitudinales y la ausencia de comparaciones directas y controladas entre sectores fósiles y renovables, que impedirían establecer conclusiones sobre la magnitud real del cambio en los perfiles de riesgo entre modelos energéticos.

Hasta la fecha, no existe una revisión sistemática que integre de forma explícita y articulada los riesgos ocupacionales emergentes, las innovaciones en gestión de seguridad laboral y la dimensión de sostenibilidad y transición justa en el cruce temático entre la industria Oil & Gas y las energías renovables. Esta ausencia constituye la brecha que justifica el presente trabajo.

Esta revisión sistemática tiene por objetivo consolidar el conocimiento científico disponible sobre la transformación de la SST en el sector energético, enmarcado en el tránsito global de la industria fósil a las renovables.

Dicho propósito se despliega en tres metas específicas: identificar los nuevos perfiles de riesgo tecnológico, recopilar las innovaciones organizativas y digitales en gestión de la seguridad, y definir vías de convergencia entre SST y sostenibilidad.

El valor diferencial del artículo es su enfoque integrador. Al ser la primera síntesis que reúne estos tres componentes en la intersección del Oil & Gas y las energías limpias, se supera la dispersión teórica existente. El resultado provee una plataforma de evidencia estructurada útil tanto para la comunidad científica como para los tomadores de decisiones y diseñadores de políticas laborales en contextos de descarbonización.

2. Metodología

Este capítulo describe el diseño metodológico implementado para analizar la evolución de la seguridad y salud en el trabajo en el contexto de la transición energética. A través de un





enfoque estructurado, se detallan los pilares que sustentan la validez de la revisión: adopción de directrices internacionales de reporte, delimitación conceptual del sector energético bajo estudio y estrategia de búsqueda ejecutada en bases de datos de alta cobertura.

De igual forma, se especifican las reglas de elegibilidad, fases de filtrado y extracción de datos, los instrumentos diferenciados de evaluación de calidad según el diseño de origen y método inductivo de síntesis temática que dio forma al análisis de los resultados.

2.1. Tipo de estudio y declaración de adherencia

El presente trabajo corresponde a una revisión sistemática de literatura (Snyder, 2019) desarrollada con adherencia a las directrices PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) (Page et al., 2021). Al tratarse de un estudio de síntesis documental que no involucra intervención sobre participantes humanos ni acceso a datos personales, no se requirió aprobación de comité de ética institucional.

2.2. Pregunta de investigación y objetivos

La revisión se organizó en torno a la siguiente pregunta estructurada: ¿cómo está transformándose la seguridad y salud en el trabajo en el sector energético —incluyendo Oil & Gas, energías renovables, hidrógeno, bioenergía, petroquímica, minería energética y gas natural— en el contexto de la transición energética global?

2.3. Fuentes de información y estrategia de búsqueda

La búsqueda sistemática se realizó en tres bases de datos seleccionadas por su cobertura disciplinar complementaria: IEEE Xplore (Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), por su especialización en ingeniería aplicada y tecnología industrial; ScienceDirect, por su amplitud en ciencias aplicadas, energía y salud ocupacional; y SciELO, por su cobertura de literatura científica latinoamericana en salud ocupacional y sostenibilidad. El rango temporal se estableció entre 2020 y 2026, período que coincide con el inicio de la implementación de las Contribuciones Determinadas a nivel Nacional (NDC) derivadas del Acuerdo de París y con una aceleración significativa de la producción académica sobre SST y transición energética.

Las ecuaciones de búsqueda se construyeron combinando cuatro bloques temáticos: términos asociados a SST y seguridad laboral, términos del sector energético, términos de transición o transformación energética, y términos de innovación o sostenibilidad. En todas las





bases se aplicaron filtros comunes: acceso abierto, idioma inglés o español, y artículos de investigación empírica o aplicada.

2.4. Criterios de elegibilidad

Se establecieron criterios de inclusión y exclusión de forma prospectiva, previo al inicio del proceso de selección. Fueron elegibles para inclusión los estudios empíricos, de modelización aplicada, documentales o de análisis de decisión multicriterio que abordaran SST, riesgos laborales o seguridad industrial en el sector energético, entendido de forma amplia para incluir Oil & Gas, energías renovables, hidrógeno, bioenergía, petroquímica, minería energética y gas natural.

Se requirió que los estudios hubieran sido publicados entre 2020 y 2026, en inglés o español, con acceso abierto y con un proceso metodológico explícito y reproducible.

Fueron excluidos los estudios sin vínculo directo ni indirecto con riesgos ocupacionales o gestión de seguridad en el sector energético, así como aquellos que empleaban los términos "safety" o "salud" en sentidos no ocupacionales, como seguridad alimentaria, entornos hospitalarios o mercados financieros. También se excluyeron las revisiones narrativas sin datos primarios o secundarios propios y los documentos sin metodología declarada.

2.5. Proceso de selección y extracción de datos

La selección se realizó en dos fases secuenciales. En la primera fase, los registros identificados fueron cribados por título y resumen aplicando los criterios de elegibilidad establecidos. Los registros que superaron esta fase avanzaron a una segunda fase de evaluación a texto completo, en la que se verificó el cumplimiento estricto de todos los criterios. El proceso de selección fue llevado a cabo por el autor principal, con verificación de una muestra representativa de registros por un segundo evaluador para reducir el riesgo de sesgo en la inclusión.

La extracción de datos se realizó mediante un formulario estructurado diseñado para esta revisión. Las variables extraídas por estudio incluyeron: autor y año de publicación, país o región, diseño metodológico, sector energético, tecnología o proceso analizado, riesgo SST principal, hallazgo central, herramienta de gestión reportada, y grado de énfasis en transición energética y sostenibilidad. Los datos extraídos se organizaron en una matriz que da origen al anexo 1.





2.6. Evaluación de calidad metodológica

Dado que el corpus incluye tipos de estudio con lógicas epistémicas distintas, se emplearon herramientas de appraisal diferenciadas según el diseño de cada estudio. Para los estudios con encuesta y modelización estructural —Masudin et al. (2024), Milošević et al. (2025) y Nunoo et al. (2026)— se aplicó el checklist JBI para estudios transversales. Para los estudios de métodos mixtos y casos múltiples —Sovacool & Stock (2024) y Li et al. (2025)— se utilizó el Mixed Methods Appraisal Tool (MMAT).

Los estudios documentales y de análisis de bases de incidentes —Hegazy et al. (2025), Wen et al. (2022) y Guida et al. (2020)— fueron evaluados mediante un appraisal adaptado para evidencia registral. Los estudios de modelización de riesgos e ingeniería aplicada —Khan et al. (2025), Marhavidas et al. (2025) y Yingchun et al. (2021)— se evaluaron con un appraisal adaptado para modelización. Finalmente, los estudios de decisión multicriterio —Mashaba y Mathaba (2025) y Noshchenko et al. (2025)— fueron valorados con un instrumento específico para diseños MCDM y MCDA. El juicio global de cada estudio se expresó en dos niveles efectivos: moderado y moderado-bajo, coherentes con los perfiles del corpus. Los resultados se presentan en el anexo 2.

2.7. Método de síntesis

Dada la heterogeneidad de diseños, poblaciones, sectores y outcomes del corpus, la agregación estadística de resultados no resultaba viable ni apropiada. En consecuencia, se optó por una síntesis narrativa temática siguiendo el marco propuesto por Popay et al. (2006), complementado con el enfoque de síntesis temática de Thomas y Harden (2008). El proceso se desarrolló en dos pasos. En el primero, se realizó una lectura transversal de los hallazgos principales de cada estudio para identificar patrones temáticos recurrentes de forma inductiva. En el segundo, esos patrones fueron organizados en cinco ejes analíticos mostrados en las secciones de resultados. Estos ejes estructuran la presentación de resultados en la sección 3.4, cuya síntesis se complementa con el anexo 3 y la figura 2.

3. Resultados

El análisis del corpus documental revela un panorama complejo donde la descarbonización energética reconfigura, en lugar de eliminar, las demandas de seguridad industrial. Para facilitar su comprensión y discusión, esta sección expone de forma integrada la evidencia científica recuperada. El recorrido analítico detalla la distribución de los riesgos según la tecnología



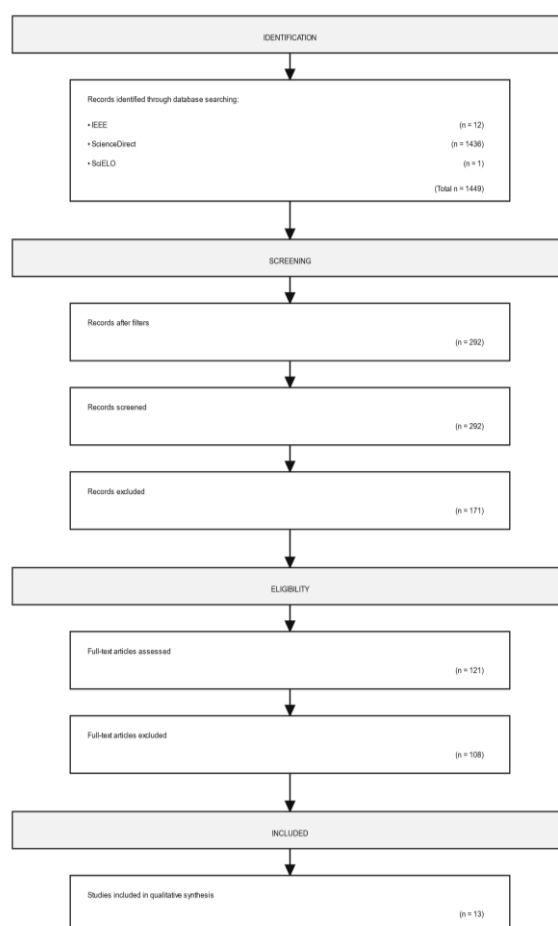


involucrada, examina el papel de las herramientas de la Industria 4.0 bajo el prisma del safety climate y evalúa la adaptabilidad de los sistemas heredados de Oil & Gas, ofreciendo un mapa crítico de las condiciones actuales de la SST en el sector

3.1. Búsqueda y selección de estudios

La búsqueda sistemática en las tres bases de datos consultadas —IEEE Xplore, ScienceDirect y SciELO— arrojó un total de 1,449 registros iniciales. IEEE Xplore aportó 12 registros, ScienceDirect 1,436 y SciELO 1, todos correspondientes al período 2020–2026 y aplicando filtros de acceso abierto, idioma inglés o español, y tipo de artículo empírico o de investigación. El proceso completo de selección se representa en el diagrama PRISMA de la figura 1.

Figura 1. Diagrama PRISMA



Fuente: Page et al. (2021)



Tras la eliminación de duplicados, un total de 287 registros procedentes de ScienceDirect fueron sometidos a cribado por título y resumen, junto con los registros de IEEE y SciELO. En esta fase se excluyeron 170 registros por no cumplir criterios temáticos mínimos, incluyendo estudios sobre seguridad alimentaria, entornos hospitalarios, enfermería y mercados financieros. Un total de 117 artículos avanzaron a la fase de evaluación a texto completo.

La lectura a texto completo resultó en la exclusión de 104 artículos, principalmente por ausencia de vínculo directo con riesgos ocupacionales en el sector energético, insuficiencia metodológica o falta de relevancia respecto a la pregunta de revisión. El corpus final quedó conformado por 13 estudios, los cuales constituyen la base analítica de esta revisión. Una vez establecido el corpus definitivo, el siguiente paso consistió en caracterizar los estudios incluidos en términos de diseño, sector, foco analítico y contribución evidencial (Véase la figura 1)

3.2. Características generales de los estudios incluidos

El corpus final comprende 13 estudios publicados entre 2020 y 2026, con mayor concentración en el período 2024–2026 (nueve estudios), lo que refleja el creciente interés académico reciente por la intersección entre SST y transición energética. La distribución geográfica es amplia y heterogénea: los estudios provienen de Indonesia, Sudáfrica, Ghana, Brasil, Grecia, Serbia, Noruega, Australia, Reino Unido, India, China, Canadá y contextos multirregionales, con notable presencia del Sur Global y de economías en diferentes etapas de transición energética. Esta diversidad geográfica enriquece el alcance de la síntesis, aunque limita la comparabilidad directa entre contextos. Las características completas de cada estudio se presentan en el anexo 1.

En cuanto a los diseños metodológicos, el corpus es heterogéneo: se identifican encuestas con modelización estructural mediante SEM o PLS-SEM (Masudin et al., 2024; Milošević et al., 2025; Nunoo et al., 2026), modelización aplicada de riesgos (Khan et al., 2025; Marhavidas et al., 2025; Yingchun et al., 2021), análisis de decisión multicriterio —MCDM/MCDA— (Mashaba y Mathaba, 2025; Noshchenko et al., 2025), análisis documentales y de bases de incidentes (Hegazy et al., 2025; Wen et al., 2022; Guida et al., 2020), métodos mixtos (Sovacool y Stock, 2024) y casos múltiples con análisis cuantitativo (Li et al., 2025). Sectorialmente, Oil & Gas concentra el mayor número de estudios, seguido de bioenergía, hidrógeno, solar fotovoltaico, petroquímica, minería energética y gas natural. Las unidades analíticas varían entre trabajadores directos, instalaciones, incidentes y tecnologías, lo que refleja la pluralidad de aproximaciones





con que la literatura aborda la SST en el sector energético. Dado este perfil metodológico diverso, el siguiente paso consistió en evaluar el rigor global y la solidez analítica del corpus.

3.3. Calidad metodológica, rigor analítico y aplicabilidad de la evidencia

La evaluación de calidad metodológica, resumida en el anexo 2, revela un patrón homogéneo: la totalidad de los estudios incluidos recibió un juicio global de rigor moderado. Este resultado es consistente con las características predominantes del corpus: diseños transversales en los estudios empíricos, casos únicos en la modelización aplicada, dependencia de fuentes secundarias en los estudios registrales y ausencia de grupos de control o seguimiento longitudinal. Ningún estudio alcanzó un nivel de rigor alto, aunque tampoco se identificaron estudios con rigor insuficiente que justificaran una exclusión tardía.

No obstante, esa homogeneidad en el juicio global, los estudios presentan perfiles de fortaleza diferenciados según su tipo de evidencia. Los estudios empíricos con base laboral directa —Masudin et al. (2024), Milošević et al. (2025), Nunoo et al. (2026) y Sovacool y Stock (2024)— aportan validez de constructo y anclaje en poblaciones reales, aunque limitados por su transversalidad y contextos específicos. Los estudios registrales —Hegazy et al. (2025), Wen et al. (2022) y Guida et al. (2020)— ofrecen amplitud temporal y cobertura de eventos severos, pero con riesgo de subregistro y dependencia de datos corporativos.

Los estudios de modelización y decisión multicriterio —Khan et al. (2025), Marhaviyas et al. (2025), Mashaba y Mathaba (2025) y Noshchenko et al. (2025)— son útiles para la priorización de riesgos y la evaluación de alternativas, pero carecen de outcomes ocupacionales directos. Bajo estas condiciones, el corpus es adecuado para una síntesis cualitativa temática, pero no reúne las condiciones necesarias para un meta-análisis cuantitativo. Establecido el perfil metodológico del corpus, la evidencia fue sintetizada temáticamente en cinco ejes analíticos.

3.4. Síntesis temática de la evidencia

Con el propósito de transformar la heterogeneidad de los datos extraídos en un cuerpo de conocimiento cohesionado, se aplicó un proceso de codificación inductiva a los 13 estudios seleccionados. Este análisis transversal permite trazar un mapa general sobre el estado de la SST en la transición energética. En las líneas siguientes se sintetizan los rasgos descriptivos del corpus, examinando cómo la literatura científica aborda la relación entre el declive de las energías fósiles y el auge de las tecnologías renovables.





Riesgos ocupacionales emergentes en tecnologías energéticas

El corpus evidencia que los riesgos laborales en el sector energético no desaparecen con la descarbonización, sino que se transforman y redistribuyen en función de las tecnologías involucradas. En bioenergía, Hegazy et al. (2025) documentaron 75 incidentes en plantas de biogás ocurridos entre 1990 y 2023, identificando biohazards, explosiones, riesgos eléctricos y mecánicos como patrones recurrentes. Khan et al. (2025) reportaron un perfil similar en producción industrial de biodiésel, donde incendios, fugas químicas, derrames y error humano constituyen los principales vectores de daño. En hidrógeno, Wen et al. (2022) analizaron 706 incidentes registrados en la base HIAD, concluyendo que los factores humanos son el elemento dominante en la cadena causal de eventos, por encima de los fallos técnicos.

A estos riesgos de proceso se suma una dimensión sociolaboral de naturaleza distinta: Sovacool y Stock (2024) documentaron que la cadena de valor del solar fotovoltaico expone a trabajadores y recicladores a sustancias tóxicas en condiciones de informalidad y precariedad laboral, ampliando el concepto de riesgo más allá del entorno industrial convencional. La evidencia sugiere así que la transición energética no solo modifica los perfiles de peligro, sino que exige respuestas tecnológicas y organizacionales diferenciadas por subsector.

Innovaciones tecnológicas para la gestión de seguridad laboral

Varios estudios del corpus documentan el uso creciente de tecnologías digitales para la prevención y control de riesgos en entornos energéticos. Li et al. (2025) mostraron que la implementación de sistemas de gestión de seguridad ciberfísica —CSMS— combinados con IoT y digital twins en instalaciones de hidrógeno se asocia con una reducción efectiva de incidentes y una mejora en la respuesta operativa. Mashaba y Mathaba (2025) evaluaron mediante análisis multicriterio TOPSIS el desempeño de tecnologías 4IR —sensores inteligentes, robótica e inteligencia artificial— en el sector petroquímico, concluyendo que el mantenimiento predictivo basado en IoT representa la alternativa con mayor potencial para la gestión de integridad de equipos. Sin embargo, Masudin et al. (2024) introdujeron una condición importante: en el contexto upstream de Oil & Gas en Indonesia, la interacción humano-tecnología solo mejora los resultados de seguridad cuando el safety climate organizacional es favorable. Este hallazgo sugiere que la efectividad de la innovación tecnológica no es automática, sino que está mediada por factores culturales y organizacionales que no pueden sustituirse con soluciones técnicas.





Adaptación y transferencia de modelos de seguridad desde Oil & Gas

La evidencia disponible muestra que las lógicas de seguridad de los procesos desarrolladas en industrias de alto riesgo mantienen su relevancia en el contexto de la transición energética, aunque su transferencia no es directa ni universalmente adecuada. Marhavi et al. (2025) aplicaron una combinación de HAZOP, análisis de árbol de fallos y método AHP a una estación de medición y regulación de gas natural en Grecia, logrando priorizar riesgos críticos asociados a liberaciones de gases tóxicos e inflamables. Yingchun et al. (2021) demostraron en una refinería china que la implementación de un modelo anti-management de seguridad produjo mejoras sostenidas en los scores de seguridad durante un período de seis meses. Milošević et al. (2025), mediante SEM en el sector minero energético de Serbia, confirmaron que el clima organizacional actúa como mediador significativo en el desempeño de la SST, independientemente de la tecnología empleada.

En conjunto, estos estudios sugieren que los marcos analíticos y normativos heredados de Oil & Gas son un punto de partida válido, pero que algunas tecnologías renovables y sus cadenas de trabajo requieren ajustes que los enfoques clásicos de seguridad de los procesos no contemplan en su totalidad.

Seguridad laboral, transición energética y sostenibilidad

La relación entre SST y transición energética no se limita al cambio tecnológico; involucra también dimensiones laborales, organizacionales y de gobernanza que determinan si dicha transición es o no socialmente sostenible. Noshchenko et al. (2025) evaluaron mediante MCDA con stakeholders la electrificación de plataformas offshore en Noruega, incorporando la seguridad laboral como criterio social explícito, y concluyeron que la electrificación es la alternativa preferible también desde esa dimensión. Nunoo et al. (2026) identificaron, a través de un modelo TPB extendido aplicado en Ghana, que los factores psicológicos —actitud, norma subjetiva y control percibido— predicen significativamente la conducta de preparación ante emergencias industriales, lo que subraya el papel de los determinantes individuales y organizacionales en la seguridad. En contraste, Sovacool y Stock (2024) evidenciaron que la expansión del solar fotovoltaico puede reproducir injusticias laborales estructurales cuando la informalidad, la exposición tóxica y la falta de protección no son abordadas desde el diseño de las políticas de transición. Estos hallazgos convergen en una implicación mayor: incorporar la SST como dimensión estructural —y no periférica— de la transición energética es una condición necesaria para que esta sea genuinamente sostenible.





Brechas de conocimiento y límites de la evidencia disponible

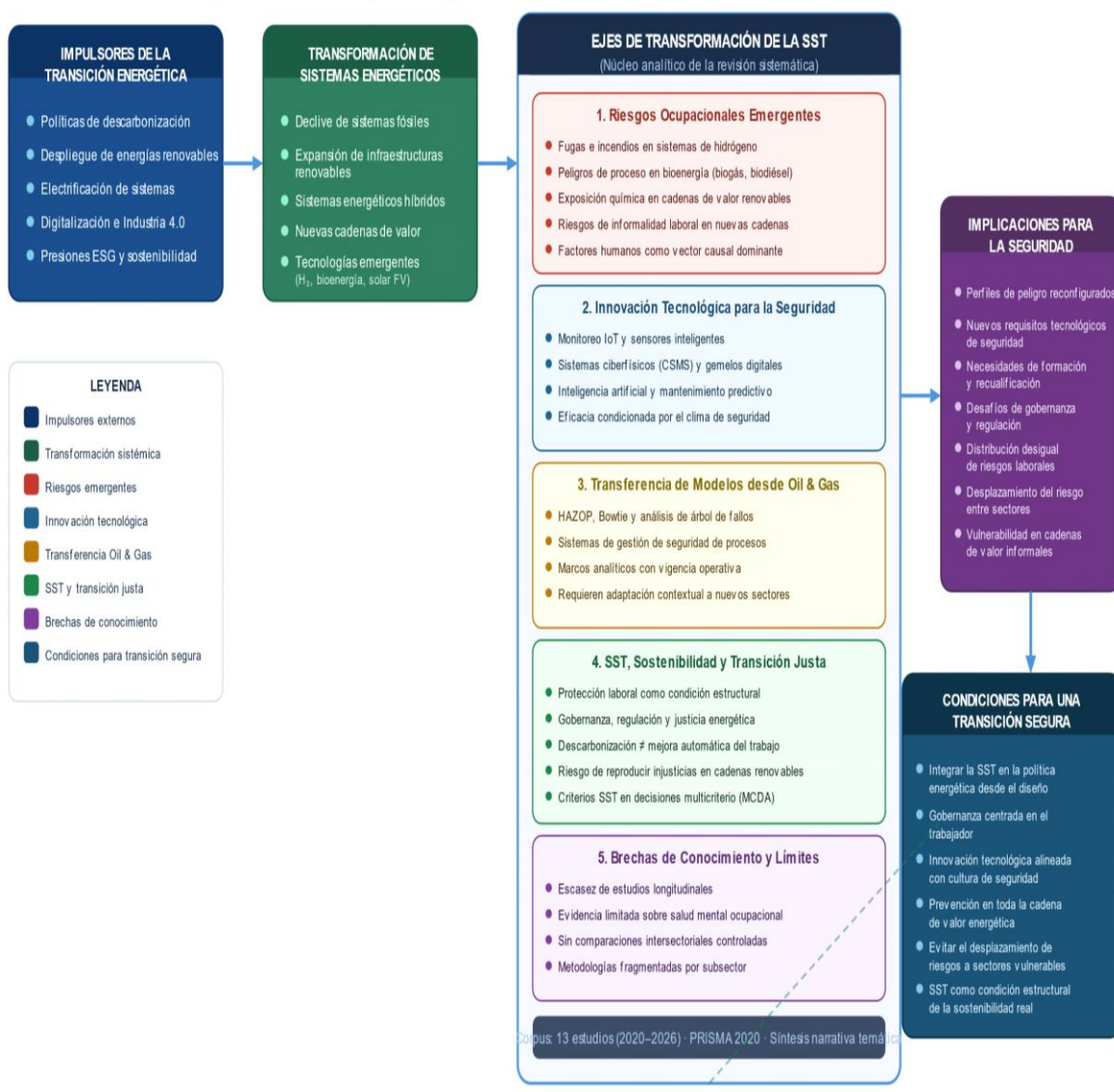
A pesar de la consistencia temática del corpus, persisten vacíos metodológicos y sustantivos relevantes. En términos de diseño, predominan los estudios transversales y de caso único, y solo Guida et al. (2020) aportan un seguimiento temporal extendido —2001 a 2016— en una empresa petrolera brasileña, subrayando la escasez de evidencia longitudinal en el campo. No se identificaron estudios con comparación directa y controlada entre Oil & Gas y energías renovables, lo que limita la capacidad de establecer conclusiones sobre la magnitud del cambio en los perfiles de riesgo entre sectores.

En términos temáticos, el corpus presenta poca cobertura de salud mental ocupacional, ergonomía, reconversión laboral de trabajadores en declive fósil, condiciones de trabajadores subcontratados y dinámicas de informalidad más allá del caso de solar PV. El mapeo completo de hallazgos por estudio se presenta en el anexo 3. La evidencia disponible es suficiente para afirmar que la transición energética transforma los perfiles de riesgo y los modelos de gestión de SST, pero insuficiente para sostener conclusiones universales o cuantitativamente comparables entre contextos.

3.5. Síntesis integradora de los hallazgos

La imagen global que emerge del corpus es la de un campo en transformación activa. La transición energética reconfigura —sin eliminar— los riesgos ocupacionales, desplazando los perfiles de peligro desde los entornos fósiles convencionales hacia tecnologías emergentes con características propias. La innovación tecnológica —IoT, sistemas ciberfísicos, inteligencia artificial— ofrece herramientas de gestión con potencial demostrado, pero cuya efectividad depende del entorno organizacional y cultural en que se despliegan. Las lógicas de seguridad heredadas de industrias maduras como Oil & Gas conservan vigencia analítica y operativa, aunque requieren adaptación para responder a las especificidades de los nuevos sectores. La sostenibilidad de la transición energética no puede dissociarse de la protección laboral: la evidencia muestra que una descarbonización que ignora la SST reproduce o intensifica vulnerabilidades existentes. Persisten, finalmente, brechas empíricas significativas —en diseño longitudinal, comparación intersectorial y cobertura de poblaciones vulnerables— que constituyen una agenda de investigación prioritaria. Estos cinco ejes se articulan en la figura conceptual que se presenta a continuación.





4. Análisis y discusión de los resultados

Esta sección analiza e integra los resultados del corpus con el fin de aportar una visión unificada sobre la evolución de la SST en el cruce de los sectores fósil y renovable.

Aquí se evalúa la convergencia de las evidencias recolectadas, se explican las limitaciones metodológicas de la literatura actual —como la escasez de estudios longitudinales— y se argumenta el valor estratégico de adaptar los sistemas de gestión heredados a las particularidades de las energías limpias, ofreciendo conclusiones teóricas y prácticas para el sector.





4.1. Interpretación de los hallazgos, posicionamiento de la contribución y confrontación con la literatura

Los resultados de esta revisión permiten avanzar más allá de la descripción de los perfiles de riesgo documentados en el corpus. Si los hallazgos muestran que la transición energética reconfigura los riesgos sin eliminarlos, la pregunta interpretativa es: ¿qué determina la dirección de esa reconfiguración? La evidencia sintetizada sugiere que esa dirección es el resultado de tres condiciones simultáneas: las decisiones de diseño organizacional adoptadas durante el proceso de transición, la capacidad de adaptación contextual de los marcos de gestión de seguridad preexistentes y la voluntad institucional de incorporar la SST como condición estructural desde el inicio, y no como externalidad a gestionar una vez que las instalaciones están en operación. Esta tríada constituye la aportación interpretativa central de esta revisión, que va más allá de lo que los datos del corpus permiten afirmar por sí solos.

Esta síntesis representa, además, una contribución de naturaleza distinta a las existentes en el campo. Vitale et al. (2024) identificaron la escasez de estudios sobre riesgos nuevos en empleos verdes; las contribuciones sectoriales previas operan dentro de los límites de una tecnología o un subsector sin articular la pregunta transversal. La presente revisión es la primera que integra sistemáticamente riesgos ocupacionales emergentes, innovaciones en gestión de seguridad y dimensión de sostenibilidad y transición justa en el cruce temático Oil & Gas / energías renovables, respondiendo a esa brecha de síntesis con un corpus empírico explícito.

Desde esa posición, la confrontación con la literatura previa opera en dos movimientos con lógica secuencial. El primero establece que el problema identificado en el corpus es real y documentado: los hallazgos son coherentes con lo advertido por Turner et al. (2025) respecto a la insuficiente atención a la salud ocupacional en la transición verde, y con Pasman et al. (2023) sobre los desafíos cualitativamente nuevos de seguridad de los procesos en tecnologías emergentes. Esta convergencia no es trivial: indica que los estudios incluidos no son atípicos, sino representativos de un patrón más amplio. La explicación de por qué ese patrón persiste remite a una lógica de sistemas sociotécnicos: los riesgos no son propiedades de las tecnologías aisladas, sino propiedades emergentes de la interacción entre tecnología, organización y personas. Esto explica por qué la innovación tecnológica sola no produce mejoras sostenibles en seguridad. Masudin et al. (2024) y Milošević et al. (2025) aportan evidencia directa de que esa mejora solo se materializa cuando el safety climate organizacional es favorable; Li et al. (2025) confirman el argumento por contraste positivo: donde las condiciones organizacionales acompañan la tecnología, los sistemas ciberfísicos sí reducen incidentes de forma efectiva.





El segundo movimiento establece que ese problema documentado está siendo sistemáticamente subestimado. Sovacool y Stock (2024) muestran que la expansión del solar fotovoltaico puede reproducir injusticias laborales estructurales cuando la informalidad y la exposición tóxica no se abordan desde el diseño de las políticas. Varios estudios del corpus tratan la SST como una dimensión periférica o instrumental, lo que contradice la narrativa que asocia automáticamente la descarbonización con mejores condiciones de trabajo. Las Directrices OIT para una Transición Justa (2015/2023) no son, en este contexto, solo un marco normativo: son un imperativo operativo cuyo incumplimiento tiene consecuencias laborales documentadas.

4.2. Implicaciones para la práctica, política e investigación futura

Para las organizaciones energéticas en proceso de transición, la evidencia sobre transferencia de modelos Oil & Gas ofrece un punto de partida técnico e institucional válido, pero no una solución directamente aplicable. Marhavilas et al. (2025), Yingchun et al. (2021) y Guida et al. (2020) muestran que los marcos analíticos heredados —HAZOP, análisis de árbol de fallos, modelos de gestión de proceso— conservan vigencia operativa.

Sin embargo, su eficacia depende de la capacidad de adaptación contextual, no de la transferencia mecánica. El hallazgo sobre el papel mediador del clima de seguridad (Masudin et al., 2024; Milošević et al., 2025) establece una condición que las organizaciones no pueden eludir: la inversión en tecnología de seguridad sin inversión paralela en cultura organizacional genera una falsa sensación de control. Si los riesgos son propiedades emergentes sistémicas, la respuesta de gestión también debe ser sistémica, integrando dimensión tecnológica y dimensión cultural en una sola estrategia y no en agendas paralelas desconectadas.

Para la política pública y la gobernanza sectorial, la heterogeneidad geográfica del corpus —con presencia significativa del Sur Global y de economías en distintas etapas de transición— señala que las políticas de SST no pueden diseñarse con pretensión de universalidad. Los hallazgos sobre brechas de gobernanza en cadenas de valor renovables (Sovacool y Stock, 2024) y la evidencia de Noshchenko et al. (2025) sobre la viabilidad de integrar la seguridad laboral como criterio explícito en decisiones multicriterio con stakeholders indican que la incorporación de la SST en marcos de reporte de sostenibilidad corporativa y en evaluaciones ESG es un mecanismo de gobernanza con potencial real para hacer visible lo que los sistemas regulatorios nacionales no alcanzan en contextos de transición rápida.





Las brechas identificadas en la sección 3.4.5 —ausencia de diseños longitudinales, escasez de evidencia sobre salud mental ocupacional, trabajadores subcontractados y comparación intersectorial controlada— configuran una agenda de investigación prioritaria que esta revisión delimita con precisión, pero no puede resolver, y que requiere una próxima generación de estudios con mayor potencia metodológica.

4.3. Limitaciones del estudio

Las interpretaciones propuestas en esta discusión son hipótesis plausibles y bien sustentadas en la evidencia disponible, pero deben leerse como conclusiones consistentes con un corpus de rigor metodológico moderado, no como afirmaciones definitivas. Tres limitaciones propias de esta revisión acotan su alcance.

La búsqueda se restringió a tres bases de datos con acceso abierto —IEEE Xplore, ScienceDirect y SciELO—, lo que puede haber excluido estudios relevantes disponibles en bases especializadas en salud ocupacional como PubMed o NIOSHTIC, así como literatura gris producida por organismos reguladores. Esta restricción responde a criterios de factibilidad, pero implica una cobertura parcial del campo. Adicionalmente, el corpus incluye únicamente estudios publicados, lo que introduce un sesgo sistemático hacia hallazgos positivos o estadísticamente significativos; los contextos en que la SST en la transición energética ha presentado resultados negativos o nulos pueden estar subrepresentados. Finalmente, la heterogeneidad del corpus impidió la agregación cuantitativa de resultados. La síntesis narrativa temática adoptada es metodológicamente apropiada para ese perfil, pero introduce un grado de interpretación del investigador que no puede eliminarse completamente y que limita la replicabilidad exacta del proceso de síntesis.

Conclusiones

La evidencia sintetizada en esta revisión permite afirmar que la SST en el sector energético está experimentando una transformación estructural cuya característica definitoria no es la desaparición de los riesgos laborales, sino su reconfiguración en función de las tecnologías involucradas y, sobre todo, de las decisiones de diseño organizacional, de la capacidad de adaptación contextual de los marcos de gestión preexistentes y de la voluntad institucional de incorporar la protección laboral como condición estructural del proceso de transición y no como una externalidad a gestionar una vez que las instalaciones están en operación.





Los tres objetivos específicos de esta revisión fueron cumplidos con evidencia directa. En relación con la identificación de riesgos ocupacionales emergentes, el corpus documentó perfiles diferenciados por tecnología: biohazards, explosiones y riesgos mecánicos en biogás y biodiésel, factores humanos como vector causal dominante en sistemas de hidrógeno y exposición a sustancias tóxicas en condiciones de informalidad y precariedad laboral en cadenas de valor del solar fotovoltaico. La evidencia confirma que cada subsector de la transición energética presenta un perfil de riesgo propio que no puede gestionarse con respuestas uniformes.

En relación con la documentación de innovaciones tecnológicas y organizacionales para la gestión de la seguridad laboral, los sistemas ciberfísicos, IoT y digital twins demostraron potencial efectivo de reducción de incidentes en entornos de hidrógeno y petroquímica. Sin embargo, el hallazgo central de este objetivo no es tecnológico sino organizacional: esa efectividad está condicionada por el clima de seguridad institucional, sin el cual la innovación tecnológica no se traduce en mejoras sostenibles de seguridad (Masudin et al., 2024; Milošević et al., 2025).

En relación con la integración de SST y sostenibilidad en el marco de la transición energética, la evidencia establece que la descarbonización no mejora automáticamente las condiciones laborales y que dicha integración es operativizable cuando se incorpora como criterio explícito en los procesos de decisión sectorial. La SST es, en este sentido, una condición estructural de una transición genuinamente sostenible, no una dimensión periférica ni instrumental.

Esta revisión constituye una síntesis sistemática que articula riesgos ocupacionales emergentes, innovaciones en gestión de seguridad y dimensión de transición justa en el cruce temático Oil & Gas / energías renovables, respondiendo a una brecha de síntesis que la literatura había generado como consecuencia de su propio desarrollo fragmentado. Como resultado de esa articulación, los investigadores disponen de una base evidencial estructurada para diseñar estudios de siguiente generación con mayor potencia metodológica; los profesionales y tomadores de decisiones disponen de un mapa de condiciones críticas —tecnológicas, organizacionales y de gobernanza— para gestionar la transición energética con criterios de SST explícitos e integrados.





Referencias

- Agencia Internacional de Energía. (2023). *World Energy Employment 2023*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/world-energy-employment-2023>
- Arana-Landín, G., Laskurain-Iturbe, I., Iturrate, M., & Landeta-Manzano, B. (2023). Assessing the influence of industry 4.0 technologies on occupational health and safety. *Heliyon*, 9(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13720>
- Guida, H. F. S., Figueiredo, M. G., & Hennington, É. A. (2020). Perfil dos acidentes de trabalho fatais em empresa de petróleo no período de 2001 a 2016. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, 45, e31. <https://doi.org/10.1590/2317-6369000044718>
- Hegazy, H., Saady, N. M. C., & Zendejboudi, S. (2025). Safety in biogas plants: An analysis based on international standards and best practices. *Process Safety and Environmental Protection*, 200, 107390. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.107390>
- International Renewable Energy Agency & International Labour Organization. (2024). *Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2024* (Nos. 978-92-9260-627-5). International Renewable Energy Agency. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Oct/IRENA_Renewable_energy_and_jobs_2024.pdf
- Khan, F., Alsaduni, I., Khan, O., & Parvez, M. (2025). Enhancing safety and risk management in biodiesel production: A machine learning approach using k-means clustering to address operational challenges and standardization issues. *Results in Engineering*, 26, 105175. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105175>
- Li, H., Yazdi, M., Adumene, S., & Goleiji, E. (2025). Integrating safety management systems in hydrogen production facilities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 128, 345-358. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.04.196>
- Lindholm, M., Reiman, A., & Tappura, S. (2024). The evolution of new and emerging occupational health and safety risks: A qualitative review. *Work*, 79(2), 503-521. <https://doi.org/10.3233/WOR-230005>
- Marhavilas, P. K., Delianidis, N., Koulinas, G., & Boustras, G. (2025). Safety assessment by amalgamating MCDM/AHP, HAZOP, Decision Risk-Matrices' Analysis, and FTA, Through a safety's color-Mapping visualization – Application to Industrial and Technological Systems. *Safety Science*, 191, 106941. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2025.106941>
- Mashaba, T., & Mathaba, T. N. D. (2025). Evaluating the impact of integrating fourth industrial revolution (4IR) technologies in maintenance of pressure vessels and pipelines in the petrochemical industry. *Journal of Pipeline Science and Engineering*, 5(4), 100283. <https://doi.org/10.1016/j.jpse.2025.100283>
- Masudin, I., Tsamarah, N., Restuputri, D. P., Trireksani, T., & Djajadikerta, H. G. (2024). The impact of safety climate on human-technology interaction and sustainable development: Evidence from Indonesian oil and gas industry. *Journal of Cleaner Production*, 434, 140211. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140211>
- Milošević, I., Stojanović, A., Nikolić, Đ., Mihajlović, I., Brkić, A., Perišić, M., & Spasojević-Brkić, V. (2025). Occupational health and safety performance in a changing mining environment: Identification of critical factors. *Safety Science*, 184, 106745. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106745>





- Noshchenko, O., Hagspiel, V., & Deshpande, P. C. (2025). Assessing the sustainability of offshore platform power supply alternatives using Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): A case study of Norway. *Science of The Total Environment*, 973, 179053. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179053>
- Nunoo, E. K., Lockner, E., Afrifa, E. A., Essandoh-Yeddu, J., Twum, E., Essien, B., Nyametso, J., Oteng, C., Asafo, J., Amankwa, E., & Kwabena, P. (2026). Safety preparedness in the oil and gas industry: A psychological assessment of factors affecting employee intentions and behaviors toward emergency response. *Progress in Disaster Science*, 29, 100534. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2026.100534>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71.
- Pasman, H. J., Sripaul, E., Khan, F., & Fabiano, B. (2023). Energy transition technology comes with new process safety challenges and risks. *Process Safety and Environmental Protection*, 177, 765-794. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.07.036>
- Popay, J., Roberts, H., Sowden, A., Petticrew, M., Arai, L., Rodgers, M., ... & Duffy, S. (2006). *Guidance on the conduct of narrative synthesis in systematic reviews*. ESRC Methods Programme.
- Page, M.J. et al. (2021) The PRISMA 2020 statement.
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339.
- Sovacool, B. K., & Stock, R. (2024). “We struggle to survive”: Exploring the whole systems energy injustices of solar photovoltaics in India. *The Electricity Journal*, 37(6), 107426. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2024.107426>
- Thomas, J., & Harden, A. (2008). Methods for the thematic synthesis of qualitative research in systematic reviews. *BMC Medical Research Methodology*, 8(1), 45. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-8-45>
- Turner, M. C., Basagaña, X., Albin, M., Broberg, K., Burdorf, A., van Daalen, K. R., Guseva Canu, I., Kolstad, H. A., Kogevinas, M., Lowe, R., Pearce, N., Pega, F., Saget, C., Schubauer-Berigan, M. K., Svensson, S., Vineis, P., & Straif, K. (2025). Occupational health in the era of climate change and the green transition: A call for research. *The Lancet Regional Health - Europe*, 54(101353). <https://doi.org/10.1016/j.lanepe.2025.101353>
- Vitale, E., Salvago, P., Campanella, A. F., & Cirrincione, L. (2024). Emerging occupational risks in green jobs: A review. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 37(3), 244-256. <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.02396>
- Wen, J. X., Marono, M., Moretto, P., Reinecke, E.-A., Sathiah, P., Studer, E., Vyazmina, E., & Melideo, D. (2022). Statistics, lessons learned and recommendations from analysis of HIAD 2.0 database. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(38), 17082-17096. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.03.170>
- Yingchun, X., Guoping, C., Chunyun, L., Guosen, M., & Liangyan, L. (2021). Design and applications of anti-management model in China's primary refineries. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 14(1), 302-313. <https://doi.org/10.1080/16878507.2021.1964276>



Declaración de conflicto de interés y originalidad

Conforme a lo estipulado en el *Código de ética y buenas prácticas* publicado en **PetroRenova Indexed, Revista Científica de la Energía**, los autores **León Estrada, Fernando Tomas; Medina Cazador, Antonio José y Montes de Oca Andrade, Julio César**, declaran al Comité Editorial que no tienen situaciones que representen conflicto de interés real, potencial o evidente, de carácter académico, financiero, intelectual o con derechos de propiedad intelectual relacionados con el contenido del artículo: **Seguridad y salud en el trabajo: innovación y sostenibilidad en la transición energética**, en relación con su publicación. De igual manera, declaran que el trabajo es original, no ha sido publicado parcial ni totalmente en otro medio de difusión, no se utilizaron ideas, formulaciones, citas o ilustraciones diversas, extraídas de distintas fuentes, sin mencionar de forma clara y estricta su origen y sin ser referenciadas debidamente en la bibliografía correspondiente. Consienten que el Comité Editorial aplique cualquier sistema de detección de plagio para verificar su originalidad.

Los autores declaran que, en la preparación de este manuscrito, no utilizó herramientas de inteligencia artificial generativa para la redacción de textos o interpretación de datos.

Para citar este artículo:

León, T; Medina, A. y Montes de Oca, J. (2026). Seguridad y salud en el trabajo: innovación y sostenibilidad en la transición energética. *PetroRenova Indexed, Revista Científica de la Energía*. Vol. 2, núm. 3(44-69), julio-septiembre, 2026. <https://doi.org/10.5281/zenodo.21810492>





Anexo 1

Características generales de los estudios incluido

Autor/Año	País/Región	Diseño del estudio	Unidad analítica real	Población laboral implicada	Sector energético	Tecnología / proceso analizado	Riesgo SST principal	Innovación / gestión reportada	Transición energética	Sostenibilidad / gobernanza	Variables / outcomes	Periodo / seguimiento	Contexto
Hegazy et al., 2025	Internacional / Canadá	Análisis documental + incidentes	Incidentes + documentos normativos	Operadores de plantas de biogás	Bioenergía	Plantas de biogás	Biohazards, explosiones, riesgos eléctricos y mecánicos	Bowtie, Fishbone, jerarquía de control, estándares ATEX/ISO	Explícita	Si	Frecuencia de incidentes, controles, causas	1990–2023	Operación de plantas de biogás
Khan et al., 2025	India / Arabia Saudita	Evaluación de riesgos aplicada + ML	Instalaciones/procesos	Operadores de planta biodiésel	Bioenergía	Producción industrial de biodiésel	Incendios, fugas químicas, derrames, error humano	Bowtie + clustering ML, monitoreo automatizado	Explícita	Si	Probabilidad de incidentes, risk scores	NR	Planta industrial
Li et al., 2025	Australia / Reino Unido	Casos múltiples + análisis cuantitativo	Instalaciones de hidrógeno	Personal de planta / safety managers	Hidrógeno	Producción de hidrógeno	Fugas, inflamabilidad, presión	CSMS, IoT, digital twins	Explícita	Si	Incidentes, compliance, respuesta operativa	NR	Instalaciones energéticas
Marhavilas et al., 2025	Grecia / Chipre	Caso aplicado con modelización de riesgos	Instalación/nodos de riesgo	Trabajadores de estación gas	Gas natural	Estación M&RS	Gases tóxicos e inflamables	HAZOP + DRIMA + AHP + FTA	Contextual	Indirecta	Ranking de riesgos	NR	Sistema urbano transporte gas
Machaba & Mathaba, 2025	Sudáfrica	MCDM multicriterio	Tecnologías 4IR	Ingenieros / inspectores	Petroquímica	Smart sensors, IoT, AI	Integridad de equipos	IoT, robots, mantenimiento predictivo	Indirecta	Si	Rankings TOPSIS	2020–2024 literatura	Petroquímica
Masudin et al., 2024	Indonesia	Encuesta + entrevistas (PLS-SEM/FsQCA)	Trabajadores	Empleados upstream O&G	Oil & Gas	IoT, CPS	Interacción humano-tecnología	HTI + safety climate	Indirecta	Si	Path coefficients	NR	Upstream Oil & Gas
Milošević et al., 2025	Serbia	Encuesta + SEM	Trabajadores	Operadores maquinaria minera	Minería energética	Equipos mineros	Fatiga, ambiente, conducta	Modelos SEM de desempeño SST	Contextual	Indirecta	Factores SST	2023–2024	Proyecto SmartMiner
Noshchenko et al., 2025	Noruega	MCDMA/MAVT + encuesta	Alternativas energéticas + stakeholders	Seguridad laboral como criterio social	Offshore Oil & Gas	Electrificación offshore	Seguridad laboral indirecta	MCDa sostenibilidad	Explícita	Si	Evaluación multicriterio	NR	Plataforma offshore
Nunoo et al., 2026	Ghana	Encuesta + PLS-SEM	Trabajadores	Empleados planta gas	Oil & Gas	Preparación emergencias	Explosiones, derrames	Modelo TPB extendido	Contextual	Si	Conducta de preparación	2024	Atuabo Gas Plant
Sovacool & Stock, 2024	India	Métodos mixtos	Trabajadores y comunidades	Mineros, recicladores, laborers	Solar PV	Cadena de valor PV	Exposición tóxica, precariedad laboral	Enfoque whole-systems	Explícita	Si	Percepciones laborales	2021–2022	Ciclo de vida PV
Wen et al., 2022	Multirregional	Base de datos incidentes	Incidentes/eventos	Personal de planta	Hidrógeno	Sistemas de hidrógeno	Explosiones, fugas	HIAD database	Explícita	Indirecta	Tipo evento y causas	Hasta 2021	Base internacional
Yingchun et al., 2021	China	Caso aplicado pre-post	Instalación/refinería	Operarios y managers	Oil & Gas	Refinería	Riesgos de proceso	Modelo anti-management	Contextual	Indirecta	Safety scores	6 meses	Refinería
Guida et al., 2020	Brasil	Epidemiológico documental	Fatalidades ocupacionales	Trabajadores O&G	Oil & Gas	Exploración, refino	Explosiones, caídas, electricidad	Vigilancia SST	No	Si	Mortalidad ocupacional	2001–2016	Empresa petrolera





Anexo 2

Evaluación de calidad metodológica / riesgo de sesgo

Autor/Año	Diseño	Tipo de evidencia	Herramienta de appraisal	Unidad analítica	Juicio global	Principales limitaciones	Aplicabilidad
Hegazy 2025	Análisis documental + incidentes	Documental/registrar	Appraisal adaptado registros incidentes	Incidentes	Rigor moderado	Dependencia fuentes secundarias; subregistro	Alta para SST renovables
Khan 2025	Evaluación de riesgos + ML	Modelización aplicada	Appraisal modelización ingeniería	Instalaciones	Rigor moderado	Datos operativos limitados	Alta para bioenergía
Li 2025	Casos múltiples	Empírica indirecta	MMAT	Instalaciones	Rigor moderado	Dataset limitado	Alta para hidrógeno
Marhaviias 2025	Modelización híbrida	Modelización aplicada	Appraisal ingeniería riesgo	Instalación	Moderado	Caso único	Media
Mashaba 2025	MCDM	Decisión multicriterio	Appraisal MCDM	Tecnologías	Moderado	n expertos NR	Media
Masudin 2024	Encuesta + SEM	Empírica directa	JBICross-sectional	Trabajadores	Moderado	Diseño transversal	Alta
Milošević 2025	Encuesta + SEM	Empírica directa	JBICross-sectional	Trabajadores	Moderado	N limitado	Media
Noshchenko 2025	MCDA	Decisión multicriterio	Appraisal MCDA	Alternativas energéticas	Moderado	Evidencia indirecta	Media
Nunoo 2026	Encuesta + SEM	Empírica directa	JBICross-sectional	Trabajadores	Moderado	Una planta	Alta
Sovacool 2024	Métodos mixtos	Empírica directa	MMAT	Trabajadores	Moderado	Generalización limitada	Alta
Wen 2022	Base incidentes	Documental/registrar	Appraisal registros	Incidentes	Moderado	Subregistro	Alta
Yingchun 2021	Caso pre-post	Caso aplicado	JBICase	Instalación	Moderado-bajo	Sin control	Media
Guida 2020	Epidemiológico documental	Documental/registrar	JBICadaptado	Fatalidades	Moderado	Datos corporativos	Alta





Anexo 3

Síntesis narrativa estructurada + mapeo temático

Autor/Año	Diseño	Tipo de evidencia	Foco central	Problema SST	Hallazgo principal	Dirección del aporte	Dominio principal	Dominios secundarios	Evidencia útil	Incidentes reportados	Calidad
Hegazy 2025	Documental + incidentes	Directa	Seguridad biogás	Biohazards y explosiones	Identifica patrones y controles	Favorece	SST	Transición, gobernanza	Sí	75 incidentes	Moderada
Khan 2025	Modelización aplicada	Directa	SST bioenergía	Incendios y químicos	Automatización reduce riesgo	Favorece	SST	Innovación	Sí	Derrames y fallas	Moderada
Li 2025	Casos múltiples	Directa	Seguridad hidrógeno	Fugas y presión	CSMS reduce incidentes	Favorece	Innovación	SST, transición	Sí	Reducción incidentes	Moderada
Marhaviías 2025	Modelización	Indirecta	Riesgos gas natural	Desviaciones operativas	Prioriza riesgos	Parcial	SST	Tecnología	Sí	Potenciales liberaciones	Moderada
Mashaba 2025	MCDM	Indirecta	Tecnologías 4IR	Integridad equipos	IoT mejora seguridad	Favorece	Innovación	SST, sostenibilidad	Sí	Prevención fugas	Moderada
Masudin 2024	Encuesta	Directa	Safety climate	Interacción humano-tecnología	Safety climate modera HTI	Favorece	SST	Innovación, sostenibilidad	Sí	Accidentes potenciales	Moderada
Milošević 2025	Encuesta	Directa	Clima SST minería	Fatiga y ambiente	Clima influye en desempeño	Favorece	SST	Organización	Sí	Accidentes y enfermedades	Moderada
Noshchenko 2025	MCDA	Contextual	Electrificación offshore	Seguridad laboral indirecta	Electrificación preferible	Parcial	Transición	Sostenibilidad	Sí	NR	Moderada
Nunoo 2026	Encuesta	Directa	Preparación emergencias	Derrames/explosiones	Factores psicológicos predicen conducta	Favorece	SST	Gobernanza	Sí	Emergencias industriales	Moderada
Sovacool 2024	Métodos mixtos	Directa	Injusticias laborales PV	Exposición tóxica	Transición solar produce injusticias	Favorece	SST	Transición, gobernanza	Sí	Lesiones laborales	Moderada
Wen 2022	Base incidentes	Directa	Seguridad hidrógeno	Explosiones	Factores humanos dominan eventos	Favorece	SST	Transición	Sí	706 incidentes	Moderada
Yingchun 2021	Caso aplicado	Indirecta	Gestión seguridad refinería	Riesgos de proceso	Mejora puntuación seguridad	Favorece	SST	Gestión	Sí	Riesgo accidente	Moderada-baja
Guida 2020	Epidemiológico	Directa	Fatalidades Oil & Gas	Explosiones y caídas	Alta mortalidad offshore	Favorece	SST	Gobernanza	Sí	222 fatalidades	Moderada



Convergencia estratégica de Redes Neuronales de Grafos, REROSIM y Scaled Load Ratio para gemelos digitales de inyección de vapor

Strategic convergence of Graph Neural Networks, REROSIM And Scaled Load Ratio for steam-injection digital twins

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21810662>

Recibido: 2026-05-17 Aceptado: 2026-06-25

Romero, Isbelis¹

Correo: isbelisromeroucv@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-5107-9535>

Resumen

Este artículo propone un modelo de gemelo digital para optimizar la gestión de yacimientos bajo inyección de vapor, integrando tres metodologías avanzadas de la literatura SPE: *Redes Neuronales de Grafos (GNN)*: Adaptadas del almacenamiento de CO₂ para actuar como sustitutos físicos rápidos, modelando la evolución de presión, temperatura, saturaciones y calidad de vapor. Método *REROSIM* (Reservoir Engineering Reservoir Simulation): Abstrae la conectividad inter-pozo para evaluar la dinámica del barrido sin depender de simulaciones de grilla fina. *Analítica de Scaled Load Ratio (SLR)*: Evalúa la integridad operacional del bombeo mecánico, previniendo fallas por fricción, fatiga o interferencia de gas. El enfoque unifica el subsuelo con la superficie. Al combinar física, velocidad computacional y vigilancia de integridad, la arquitectura permite ejecutar escenarios en minutos y aprender del dato histórico, garantizando una optimización que protege la confiabilidad mecánica del sistema.

Palabras clave: Redes Neuronales de Grafos, REROSIM, Conectividad inter-pozo, Scaled Load Ratio.

Abstract

This article proposes a digital twin model to optimize reservoir management under steam injection, integrating three advanced methodologies from SPE literature: Graph Neural Networks (GNNs)—adapted from CO₂ storage applications to serve as rapid physics-based surrogates that model the evolution of pressure, temperature, saturations, and steam quality; the REROSIM method—which abstracts inter-well connectivity to evaluate sweep dynamics without relying on fine-grid simulations; and Scaled Load Ratio (SLR) analytics—which assess the operational integrity of mechanical pumping systems, preventing failures caused by friction, fatigue, or gas interference. This approach unifies subsurface and surface operations. By combining physics, computational speed, and integrity monitoring, the architecture enables the execution of scenarios in minutes and facilitates learning from historical data, ensuring optimization that safeguards the system's mechanical reliability.

¹ Ingeniero de Petróleo. Petróleos & Renovables S.A.



Keywords: Graph Neural Networks, REROSIM, Interwell connectivity, Scaled Load Ratio, mechanical integrity.

Introducción

Los activos maduros de crudo pesado y extrapesado enfrentan una combinación de retos técnicos que, rara vez, se resuelve con una sola herramienta: heterogeneidad geológica, movilidad desfavorable, alta relación agua-petróleo, producción cíclica, restricciones de energía, riesgos de integridad y necesidad de justificar cada intervención con evidencias de valor. La inyección de vapor, por su capacidad para reducir la viscosidad del crudo y movilizar volúmenes remanentes, sigue siendo una de las alternativas de recuperación mejorada más relevantes en yacimientos térmicos. Sin embargo, su éxito depende de ubicar el calor donde realmente genera barrido, evitar canales preferenciales, controlar pérdidas térmicas y no sobrecargar los sistemas de producción artificial.

En los últimos años, la digitalización de yacimientos ha pasado de dashboards descriptivos hacia modelos predictivos que asimilan datos, simulan escenarios y proponen decisiones. La literatura técnica muestra tres direcciones complementarias. La primera es el uso de redes neuronales de grafos para representar yacimientos como grafos donde los nodos concentran propiedades de control de volumen y las aristas codifican adyacencia, transmisibilidad y capacidad de flujo. La segunda es REROSIM, que reduce la complejidad del yacimiento a una red de conexiones inyector-productor calibrada con datos de producción e inyección. La tercera es SLR, una métrica simple, normalizada y operativamente accesible para monitorear la condición de bombas de varillas desde cargas superficiales, sin reconstruir cartas de fondo mediante una ecuación de onda (Tariq, 2025).

La convergencia de estas líneas permite formular un gemelo digital térmico de nueva generación. En lugar de depender, únicamente, de simuladores numéricos de alta fidelidad, que continúan siendo indispensables para validación y diseño base, se propone una jerarquía híbrida: un GNN entrenado con casos físicos de inyección de vapor para estimar campos de presión, temperatura y saturación; un REROSIM térmico para traducir esas respuestas a lógica inter-pozo accionable; y un módulo SLR para asegurar que los cambios de vapor, producción o levantamiento artificial no comprometan la continuidad operacional. Esta integración no pretende eliminar la ingeniería convencional; busca organizarla en un flujo más ágil y útil para decisiones diarias.





Se desarrolla como artículo de síntesis aplicada; por tanto, no presenta un caso de campo propio ni resultados de simulación originales, sino una metodología estratégica que puede convertirse en programa piloto para campos térmicos de Venezuela, Latinoamérica o análogos internacionales.

1. Fundamentos teóricos

La inyección de vapor modifica simultáneamente movilidad del petróleo, balance de energía, presión local, saturación de agua caliente, estabilidad de los equipos de subsuelo y vida útil de los sistemas de levantamiento. En condiciones ideales, el vapor se distribuye hacia zonas con petróleo remanente móvil, transfiere calor de manera eficiente y retorna en forma de incremento de producción neta. En campos reales, el comportamiento suele ser más complejo: una fracción del vapor se canaliza por zonas de alta permeabilidad, otra se pierde hacia intervalos ya barridos, parte se condensa antes de llegar al frente útil y, algunos pozos productores, experimentan cambios abruptos de carga, emulsionamiento, arenamiento o inestabilidad del bombeo.

Los modelos tradicionales de yacimientos ofrecen una representación detallada de la física, pero pueden requerir semanas de preparación, calibración y corridas de sensibilidad. Su costo computacional se vuelve más relevante cuando la pregunta operacional cambia todos los días: qué inyector debe recibir más vapor, qué productor necesita reducción de velocidad, qué patrón muestra canalización térmica, qué pozo debe priorizarse por integridad y cuál escenario genera mayor valor con el menor consumo de energía. En un campo con decenas o cientos de pozos, la frecuencia de decisión excede la capacidad de ejecutar estudios completos para cada ajuste (Shaikh, 2025).

La propuesta de convergencia parte de una premisa: el yacimiento térmico debe ser leído como una red física y operativa. A escala de malla, el flujo y el calor obedecen ecuaciones de conservación que pueden aprenderse mediante GNN entrenadas con simulaciones de alta fidelidad. A escala de patrón, la comunicación efectiva entre inyectores y productores puede aproximarse con REROSIM, que sintetiza conectividad, volumen conectado y retardo. A escala de pozo, el desempeño mecánico puede vigilarse con SLR, transformando cargas superficiales en señales tempranas de falla. La estrategia se vuelve poderosa cuando estas capas no trabajan aisladas, sino dentro de un mismo ciclo de datos y decisión.





Esta integración también responde a una limitación frecuente de los proyectos de inteligencia artificial en petróleo: la desconexión entre modelos estadísticos y decisiones de ingeniería. Un algoritmo que predice producción sin explicar rutas de conectividad, sin respetar restricciones térmicas y sin evaluar la integridad del levantamiento puede ser rápido, pero no necesariamente confiable. Por eso, el marco propuesto no se basa en una caja negra única, sino en módulos especializados que conservan trazabilidad física y facilitan la revisión por equipos de geología, yacimientos, producción, operaciones, mantenimiento e integridad.

1.1. Redes neuronales de grafos para inyección de vapor

Las redes neuronales de grafos en la simulación de yacimientos resultan especialmente atractivas, para yacimientos, porque la roca y los fluidos no se comportan como píxeles independientes, sino como sistemas conectados por transmisibilidades, continuidad hidráulica y contrastes de propiedades. En un grafo de yacimiento, cada nodo puede representar un bloque de malla o una región agrupada con porosidad, permeabilidad, espesor, profundidad, facies, presión, temperatura y saturaciones. Cada arista representa vecindad, conductancia, distancia efectiva, contacto estratigráfico o conexión preferencial. El mensaje que viaja por las aristas resume cómo un cambio local se propaga hacia su entorno (Shaikh, 2025).

La aplicación de GNN al almacenamiento de CO₂ ha demostrado una idea transferible: los modelos pueden aprender la evolución espacio - temporal de presión y saturación sobre mallas regulares o irregulares si reciben suficientes casos de entrenamiento generados por simulación. En el caso de inyección de vapor, el aprendizaje debe ampliarse para incorporar energía. La red no sólo debe aproximar la distribución de fluido; también debe reconocer la transferencia de calor, condensación del vapor, pérdidas hacia capas adyacentes, disminución de viscosidad con temperatura y variación de movilidad relativa (Tariq, 2025).

La adaptación del enfoque GNN desde CO₂ a vapor requiere redefinir entradas y salidas. Las entradas estáticas incluyen propiedades de roca, límites estratigráficos, continuidad lateral, presencia de barreras y estado inicial. Las entradas dinámicas incorporan tasa de vapor, calidad de vapor, presión de inyección, entalpía, tiempo de remojo cuando aplique, tasa de producción, presión de fondo, temperatura registrada, eventos de cierre y restricciones de superficie. Las salidas relevantes serían campos de temperatura, presión, saturación de aceite, saturación de agua, condensado, calor acumulado, indicadores de barrido y probabilidad de canalización térmica.





La ganancia estratégica del GNN térmico no reside en reemplazar toda la simulación física, sino en acelerar las preguntas de alto volumen: sensibilidad a caudales, redistribución de vapor, comparación de patrones, estimación de impacto por cierre temporal o evaluación rápida de un nuevo ciclo. El simulador convencional seguiría generando casos de entrenamiento, validará escenarios críticos y resolvería decisiones de inversión. El GNN, en cambio, funcionaría como sustituto para el espacio de decisión diario y para optimización externa donde se evalúan miles de alternativas (Tariq y Shaikh, 2025).

Reformulación física: del CO₂ al vapor

La sustitución conceptual de CO₂ por vapor no es un cambio cosmético. El CO₂ en almacenamiento subterráneo, se analiza normalmente mediante flujo multifásico, presión, saturación de gas y salmuera, capilaridad y atrapamiento. El vapor introduce un problema termo-hidráulico: la variable temperatura modifica viscosidad del crudo, densidad de fases, movilidad, transferencia de masa por condensación y eficiencia de barrido. Además, la energía inyectada tiene un costo operativo directo, por lo que, un modelo útil debe pronosticar producción incremental y eficiencia térmica, no sólo movimiento de fluidos (Tissot y Welte, 1984).

El grafo térmico debe codificar aristas que representan tanto capacidad hidráulica como capacidad de transporte térmico. Dos bloques pueden tener buena comunicación de presión, pero mala transferencia de calor si existe una barrera vertical, alto enfriamiento o contacto limitado. Por esa razón, se propone una arista compuesta con atributos de transmisibilidad, distancia, contraste de permeabilidad, continuidad de facies, capacidad calorífica efectiva, conductividad térmica y pérdida estimada hacia rocas encajantes. Esta riqueza de atributos permite que el mensaje del GNN no sea una simple correlación espacial, sino una aproximación informada por la física.

Las funciones de pérdida del entrenamiento también deben cambiar. Para CO₂, el error en presión y saturación puede ser suficiente en muchas aplicaciones. Para vapor, conviene usar pérdidas ponderadas que penalicen errores de temperatura en zonas cercanas a productores, errores de presión en intervalos próximos a límites operativos y errores de saturación en regiones con petróleo remanente. También se puede añadir una penalización de balance de energía, obligando al modelo a respetar la relación entre calor inyectado, calor almacenado, calor producido y pérdidas.





Un elemento relevante es la estabilidad de largo horizonte. Las predicciones autoregresivas pueden acumular error cuando el GNN usa su propia salida como entrada para pasos posteriores. En inyección de vapor, ese error acumulado puede traducirse en frentes térmicos desplazados o sobreestimación de temperatura. Por ello, se recomienda entrenar con horizontes múltiples, incorporar datos de cierre y reinicio, usar aprendizaje curricular y contrastar las predicciones con puntos de control provenientes de registros de temperatura, pruebas de presión, trazadores térmicos y mediciones de producción (Tariq y Shaikh, 2025).

1.2. REROSIM como lógica inter-pozo y puente de interpretación

REROSIM ofrece una forma diferente de mirar el yacimiento: no como una malla con miles o millones de celdas, sino como una red de unidades de conexión entre inyectores y productores. Cada conexión contiene parámetros equivalentes de conductividad, volumen conectado, retardo y fracción de contribución. Este enfoque reduce la dimensionalidad y permite que los equipos operacionales visualicen la pregunta clave: qué inyector está afectando a qué productor, con qué intensidad y con qué tiempo de respuesta (Yan et al., 2025).

En campos sometidos a vapor, la conectividad inter-pozo tiene una expresión térmica. Un productor puede responder en presión sin recibir calor significativo; otro puede recibir agua caliente o vapor condensado por un canal de alta permeabilidad; un tercero puede mostrar incremento de temperatura antes que incremento de aceite, señal de barrido ineficiente o acercamiento de vapor vivo. REROSIM puede adaptarse a esta realidad incorporando no sólo tasas de inyección y producción, sino entalpía inyectada, temperatura de producción, corte de agua, respuesta de aceite, presión y eventos operacionales.

La matriz de conectividad térmica resultante permite clasificar patrones. Conexiones de alta fracción, bajo retardo y baja producción incremental sugieren reciclaje de calor o canalización. Conexiones de fracción media, retardo razonable y respuesta de aceite positiva indican barrido útil. Conexiones débiles pueden representar zonas no comunicadas, barreras o áreas con petróleo remanente que requieren rediseño de inyección. Esta lectura convierte el gemelo digital en una herramienta de priorización: no todos los inyectores merecen más vapor; algunos necesitan redistribución, control de perfil o reducción temporal (Yan et al., 2025).

La ventaja de REROSIM dentro de la convergencia es que traduce las predicciones de campo del GNN a relaciones inter-pozo comprensibles. El GNN puede estimar mapas de temperatura y presión, pero el operador necesita una recomendación: aumentar 10% el vapor en





V-12, reducir V-08 por canalización, monitorear P-23 por riesgo mecánico, ejecutar trazador en el patrón norte. REROSIM actúa como interfaz interpretativa entre alta resolución espacial y decisión por pozo.

REROSIM térmico: variables y ecuaciones de trabajo

Una formulación básica de REROSIM para vapor puede extender la relación de respuesta inter-pozo clásica. En lugar de usar únicamente tasas de inyección, se introduce el flujo de calor útil. Para un productor j , la respuesta de aceite, agua o temperatura puede expresarse como la suma de contribuciones de inyectores i ponderadas por una fracción de conectividad f_{ij} y un retardo τ_{ij} . En términos prácticos, la ecuación no pretende resolver toda la termodinámica, sino construir un modelo equivalente calibrado con datos históricos (Yan et al., 2025).

La forma conceptual sería:

$$R_j(t) = \sum f_{ij} \cdot U_i(t - \tau_{ij}) + D_j(t) + \epsilon,$$

Donde:

R_j es una respuesta del productor,

U_i representa señal de vapor o energía inyectada,

D_j captura tendencia local de declinación o agotamiento y ϵ recoge ruido operacional.

Para inyección de vapor, U_i puede ser una combinación de tasa de vapor, calidad, presión, entalpía, volumen acumulado y duración del ciclo. La calibración permite estimar cuánto de esa energía afecta a cada productor.

El modelo puede incluir indicadores de eficiencia térmica por conexión: producción incremental de aceite por unidad de calor, incremento de temperatura por unidad de vapor, cambio en corte de agua y tiempo de residencia. Una conexión con alta temperatura y bajo aceite incremental no debe interpretarse como éxito; puede indicar que el vapor llegó al productor sin movilizar suficiente petróleo. En cambio, una respuesta diferida, con aumento gradual de aceite y control de agua, puede ser técnicamente más valiosa, aunque no sea la señal más intensa (Yan et al., 2025).

La calibración debe ser automática pero supervisada. REROSIM puede apoyarse en algoritmos no gradientes, filtros de ensamble o búsqueda bayesiana para ajustar conectividades, siempre con restricciones físicas: fracciones no negativas, suma acotada por inyector, retardos





consistentes con distancias y continuidad geológica, y penalización de conexiones incompatibles con barreras conocidas. Este balance entre dato y conocimiento de ingeniería evita mapas de conectividad matemáticamente correctos, pero geológicamente absurdos (Yan et al., 2025).

1.3. Scaled Load Ratio como capa de integridad mecánica

El Scaled Load Ratio (SLR) es una métrica diseñada para transformar cargas superficiales de bombas de varillas en una señal normalizada de condición. Su idea central es comparar la carga mínima y máxima observada con las cargas mínima y máxima esperadas en condición normal. Cuando el cociente escalado se mantiene cerca de la unidad, la bomba se encuentra en un régimen comparable al patrón sano. Cuando se aleja de la unidad, el sistema puede estar enfrentando llenado incompleto, fricción anormal, golpe de fluido, interferencia de gas, contacto de émbolo o cambios de carga que anticipan falla (Jung et al., 2026).

La importancia estratégica del SLR en un proyecto de vapor es que la mejora del yacimiento puede crear estrés adicional en el pozo. La inyección de vapor puede alterar temperatura de fluidos, viscosidad, producción de agua, gas liberado, emulsiones, sólidos, ciclos de arranque-parada y condiciones de bombeo. Una estrategia que aumenta producción, pero multiplica fallas de varillas, bombas o equipos de superficie no maximiza valor. Por tanto, el gemelo digital debe evaluar simultáneamente respuesta de yacimiento e integridad del sistema de levantamiento (Kokal y Sayegh, 1995).

La analítica SLR tiene una virtud operacional: usa datos de superficie y evita depender, para el primer nivel de alarma, del cálculo de cartas de fondo con especificaciones detalladas del tren de varillas. Esto no significa abandonar el diagnóstico tradicional; significa priorizar. El modelo puede generar una lista de pozos donde el comportamiento de carga se aleja del patrón sano con suficiente frecuencia, y los ingenieros pueden concentrar allí análisis más detallados, inspección de cartas, reducción de velocidad, cambio de carrera, tratamiento de gas, limpieza o intervención mecánica (Jung et al., 2026).

En la convergencia propuesta, SLR no es un módulo aislado de mantenimiento. Es una restricción dinámica para la optimización de vapor. Si un productor asociado a una conexión interpozo importante presenta SLR inestable, el algoritmo no debería recomendar aumentos agresivos de vapor sin evaluar la capacidad mecánica de recibir el nuevo régimen. De igual modo, si un inyector muestra alta oportunidad de barrido, pero los productores receptores tienen riesgo de





falla, la decisión óptima puede ser gradual, acompañada de ajustes de levantamiento artificial y vigilancia estrecha (Jung et al., 2026).

De la alarma al índice de integridad

El SLR puede convertirse en un índice de integridad mecánica cuando se combina con frecuencia de eventos, persistencia temporal, severidad de desviación, cambios de velocidad de bombeo y condiciones térmicas del pozo. Una desviación aislada puede ser ruido; una desviación sostenida después de un aumento de vapor puede señalar una relación causal. Por ello, se recomienda calcular SLR suavizado, frecuencia de anomalía en una ventana móvil, tendencia de variación y distancia al rango normal (Jung et al., 2026).

El índice de riesgo mecánico podría componerse de cuatro bloques: desviación SLR, variabilidad de carga, eventos operacionales y exposición térmica. La desviación SLR captura el alejamiento de la condición normal. La variabilidad de carga mide oscilaciones y posibles eventos intermitentes. Los eventos operacionales incorporan cambios de velocidad, paradas, arranques, tratamientos o modificaciones de inyección. La exposición térmica reconoce que la temperatura puede modificar viscosidad, expansión de materiales, elastómeros, corrosión y régimen de bombeo (Takacs, 2015).

La clasificación resultante permite ordenar los pozos en categorías de acción: *Verde*: condición estable, apta para optimización normal. *Amarilla*: vigilancia, ajustes conservadores y revisión de tendencia. *Naranja*: limitación temporal de cambios operacionales, diagnóstico de cartas y reducción de velocidad si aplica. *Roja*: alto riesgo de falla, intervención prioritaria o restricción automática en el optimizador. La utilidad no es sólo detectar fallas, sino impedir que el plan de yacimiento las acelere.

El aprendizaje automático puede mejorar la predicción de falla si se entrenan modelos con históricos de eventos. Sin embargo, en campos donde no existe una base etiquetada robusta, el SLR sigue siendo útil como métrica de arranque. Se recomienda iniciar con reglas transparentes y luego evolucionar hacia modelos supervisados o autoencoders cuando se acumulen datos suficientes de operación normal y fallas documentadas (Jung et al., 2026).

1.4. Arquitectura integrada del gemelo digital térmico

La arquitectura propuesta tiene cuatro capas: datos, modelos, decisión y aprendizaje: *La capa de datos* recibe información de producción, inyección, presión, temperatura, calidad de





vapor, cartas dinamométricas, eventos de mantenimiento, pruebas de pozo, propiedades de roca y fluidos, geología y límites operativos. *La capa de modelos* contiene el GNN térmico, REROSIM inter-pozo, SLR mecánico y reglas de negocio. *La capa de decisión* ejecuta escenarios, optimiza distribución de vapor, prioriza intervenciones y emite recomendaciones. *La capa de aprendizaje* compara pronóstico versus realidad y actualiza parámetros.

El flujo operativo inicia con depuración de datos. En yacimientos maduros, la calidad de la información es tan importante como el algoritmo. Un registro de vapor mal calibrado, una prueba de producción desfasada o una carta de bomba asociada a un pozo equivocado pueden inducir recomendaciones erróneas. Por ello, el gemelo debe contener reglas de validación: rangos físicos, consistencia de unidades, detección de outliers, reconciliación de eventos y trazabilidad de cambios.

La segunda etapa es la simulación base. Se generan escenarios con un simulador térmico de alta fidelidad para cubrir rangos de incertidumbre: permeabilidad, continuidad de facies, calidad de vapor, pérdidas de calor, presión, viscosidad, espaciamiento de pozos y estrategias de control. Estos escenarios entrenan el GNN. La calidad del sustituto depende de la amplitud y realismo del conjunto de entrenamiento; no se debe entrenar con casos que jamás podrían ocurrir ni excluir eventos críticos que sí aparecen en campo (Tariq y Shaikh, 2025).

La tercera etapa es la asimilación inter-pozo. REROSIM se calibra con datos reales de tasas, temperaturas, presiones y respuestas de productores. Así, la conectividad operativa puede diferir de la conectividad geológica esperada. Esta diferencia no se trata como error, sino como señal de aprendizaje: puede revelar una fractura, un canal de alta permeabilidad, una barrera no mapeada, un daño localizado o una comunicación vertical no anticipada (Yan et al., 2025).

La cuarta etapa es la vigilancia mecánica. El módulo SLR se actualiza con cargas superficiales y eventos de bombeo, calculando estado normal, desviaciones y alarmas. Cuando el optimizador prueba escenarios de redistribución de vapor, consulta este módulo para evitar recomendar cambios que superen la tolerancia mecánica de productores sensibles. De esta forma, el gemelo digital deja de ser un optimizador de barrido aislado y se convierte en un sistema de gestión de confiabilidad integral (Jung et al., 2026).





2. Metodología propuesta para implantación en campo

La implantación debe realizarse por fases, con entregables verificables y criterios de avance:

Fase cero, es una evaluación de madurez digital: disponibilidad de datos, confiabilidad de sensores, historial de fallas, estructura de bases de datos, estándares de nomenclatura, capacidad de cómputo y patrocinio operacional. Sin esta revisión, el proyecto corre el riesgo de construir un modelo sofisticado sobre datos débiles.

Fase uno, consiste en seleccionar un piloto de tamaño manejable: un patrón térmico, un bloque con historia representativa o un conjunto de inyectores y productores con alta prioridad de valor. El piloto debe tener suficiente variabilidad operacional para aprender, pero no tanta complejidad que impida cerrar el ciclo. Se recomienda incluir pozos con buena instrumentación, productores con levantamiento por varillas y al menos un historial de ajustes de vapor.

Fase dos, construye el modelo físico base. El equipo de yacimientos define casos de simulación térmica que cubren incertidumbres relevantes. El objetivo no es reproducir cada detalle del campo desde el inicio, sino crear una biblioteca de respuestas físicamente plausibles. Sobre esta biblioteca se entrena el GNN y se evalúan métricas de error en presión, temperatura, saturación y producción incremental. Los casos que generen mayor error se revisan para ampliar entrenamiento o ajustar arquitectura.

Fase tres, calibra REROSIM con datos de campo. Se calculan matrices de conectividad, retardos y eficiencia térmica. Los resultados se contrastan con conocimiento geológico, pruebas de trazadores, tendencias de temperatura, mapas de presión y experiencia de operación. Las conexiones fuertes y no explicadas se marcan como hipótesis para investigación; las conexiones esperadas pero ausentes se revisan por posible daño, barrera o falta de comunicación (Yan et al., 2025).

Fase cuatro, implementa SLR. Se define el periodo normal por pozo, se limpian outliers, se calculan cargas normalizadas y se entrenan reglas o modelos de alarma. El equipo de producción valida si las alarmas corresponden a eventos reales o a cambios operacionales benignos. Esta revisión es clave para evitar fatiga de alarmas. Una alarma útil debe ser suficientemente temprana para actuar y suficientemente precisa para merecer atención (Jung et al., 2026).





Fase cinco, integra los módulos en un tablero de decisiones. El usuario debe poder ver el mapa térmico estimado por GNN, matriz de conectividad REROSIM, estado SLR por productor, escenarios comparativos y recomendación final. La recomendación debe incluir explicación: ¿qué cambió?, ¿qué pozos se benefician?, ¿qué restricciones aplican?, ¿cuál es el riesgo? y ¿qué datos se usarán para verificar el resultado? La adopción depende de que los ingenieros puedan auditar el razonamiento del gemelo (Tariq y Shaikh, 2025; Yan et al., 2025; Jung et al., 2026).

3. Resultados

El éxito de la integración tecnológica en la industria petrolera depende de la sinergia entre la precisión de los datos y su ejecución en campo. En esta sección, se presentan y analizan los resultados clave obtenidos en la investigación, estructurados en cinco ejes fundamentales. En primer lugar, se evalúa la **gobernanza de datos** como pilar de la calidad de la información, seguido del **valor operativo** que aporta la convergencia tecnológica. Asimismo, se examinan los **escenarios de aplicación** específicos en yacimientos de crudo pesado y se realiza la **validación de las técnicas** mediante métricas de desempeño. Finalmente, se identifican los **riesgos técnicos** críticos y se proponen sus respectivas estrategias de mitigación para garantizar la viabilidad del proyecto.

3.1. Gobernanza de datos y calidad de la información

La gobernanza de datos no es un asunto administrativo; es una condición técnica. Los modelos integrados requieren que la tasa de vapor, calidad, presión de inyección, temperatura, producción de aceite y agua, velocidad de bombeo, cartas dinamométricas y los eventos de mantenimiento estén sincronizados en el tiempo. Una recomendación de redistribución de vapor puede fracasar si el modelo atribuye a conectividad lo que en realidad fue un cambio de bomba o una reparación de superficie.

Se recomienda diseñar un modelo de datos común por pozo y por evento. Cada registro debe tener identificador único, fecha y hora, fuente, unidad, calidad, estado de validación y relación con eventos. Los eventos son tan importantes como los valores continuos: cambios de velocidad, intervención con guaya, limpieza, falla eléctrica, cierre por mantenimiento, modificación de estrangulador, prueba de presión, ajuste de vapor, tratamiento químico o cambio de equipo. Sin eventos, el modelo puede interpretar discontinuidades como señales de yacimiento.





La calidad debe medirse mediante indicadores: porcentaje de datos faltantes, número de outliers removidos, retraso de actualización, discrepancia entre mediciones redundantes, trazabilidad de correcciones y estabilidad de sensores. Estos indicadores deben mostrarse junto con las predicciones. Si la confianza del dato baja, la confianza de la recomendación también debe bajar. Un gemelo digital responsable no oculta incertidumbre; la cuantifica y la comunica.

El aprendizaje continuo requiere versionamiento. Cada cambio de entrenamiento, calibración REROSIM, umbral SLR o regla de negocio debe quedar registrado. Cuando una recomendación produce buen resultado, se documenta la condición que la hizo exitosa. Cuando falla, se analiza si el problema fue dato, modelo, hipótesis física o ejecución. Esta disciplina convierte el piloto en una memoria técnica acumulativa y no en una aplicación aislada.

Valor operativo de la convergencia

El primer valor operativo es la velocidad. Un GNN entrenado puede evaluar escenarios de vapor en tiempos incompatiblemente menores que una simulación térmica completa. Esto permite explorar combinaciones de tasas, restricciones de presión, cierres temporales y redistribuciones sin esperar ciclos largos. La velocidad no debe confundirse con licencia para decidir sin revisión; debe usarse para ampliar el espacio de alternativas y seleccionar las mejores para análisis de ingeniería.

El segundo valor es la interpretabilidad inter-pozo. REROSIM ayuda a explicar por qué un escenario es recomendado. Si el GNN sugiere que aumentar vapor en un inyector mejora temperatura en una zona, REROSIM puede mostrar qué productores recibirían la energía y con qué retardo. Si la conexión se asocia a canalización, la estrategia puede cambiar de aumento de vapor a control de perfil, reducción de tasa o redistribución hacia otro patrón.

El tercer valor es la confiabilidad. SLR introduce una métrica que obliga a mirar el sistema de levantamiento artificial como parte del yacimiento extendido. En campos térmicos, el mejor barrido no genera valor si se pierde producción por fallas recurrentes. El módulo mecánico permite priorizar mantenimiento preventivo, ajustar velocidad, modificar bombas o planificar intervenciones antes de que la falla cause pérdida de producción (Jung et al., 2026; Takacs, 2015).

El cuarto valor es la integración multidisciplinaria. Geología aporta restricciones y barreras; yacimientos define física y escenarios; producción valida levantamiento y condiciones de pozo; mantenimiento interpreta fallas; operaciones ejecuta cambios; economía evalúa valor. El gemelo





digital se convierte en un espacio común donde cada disciplina ve cómo su información modifica la decisión final.

3.2. Escenarios de aplicación en campos de crudo pesado

En un patrón de inyección continua de vapor, el sistema puede usarse para balancear energía. El GNN predice cómo se moverá el frente térmico ante cambios de tasa. REROSIM identifica si la energía se dirige a productores con petróleo remanente o se recicla hacia pozos con alto corte de agua. SLR evalúa si los productores receptores pueden operar con el cambio previsto. La recomendación final podría ser aumentar vapor en un inyector, reducir otro, limitar velocidad de bombeo en un productor vulnerable y programar medición de temperatura para validar.

En un proceso cíclico tipo huff and puff, el gemelo puede aprender la relación entre volumen de vapor, tiempo de remojo, producción posterior, enfriamiento y fatiga operativa. REROSIM puede adaptarse para conexiones entre ciclos y vecinos afectados; el GNN estima distribución de calor alrededor del pozo; SLR vigila el retorno a producción, etapa en la que las cargas pueden cambiar por variación de viscosidad, gas, emulsiones o llenado.

En campos con canalización térmica, la convergencia puede identificar rutas de baja eficiencia. Un incremento rápido de temperatura en un productor, acompañado de poca producción incremental y conectividad REROSIM fuerte, sugiere que el vapor viaja por una vía preferencial. El plan podría incluir reducción de tasa, gel térmico, cambio de patrón, cierre temporal o redistribución a zonas menos drenadas. SLR añade una dimensión adicional: un productor con vapor cercano puede sufrir condiciones de bombeo distintas y requerir adaptación mecánica (Yan et al., 2025; Jung et al., 2026).

En campos con alta incertidumbre geológica, el sistema permite organizar campañas de datos. Las conexiones REROSIM no explicadas por el modelo estático pueden priorizar trazadores, registros de temperatura, pruebas de presión o actualización de facies. Las zonas donde el GNN muestra alta incertidumbre pueden recibir nuevos escenarios de simulación o datos de campo. Así, el gemelo no sólo responde preguntas; también indica qué datos reducen más incertidumbre (Tariq y Shaikh, 2025; Yan et al., 2025).





3.3. Validación de técnicas y métricas de desempeño

La validación debe cubrir tres niveles:

El primero es la validez del GNN térmico frente al simulador de referencia. Se deben medir errores en presión, temperatura, saturación, producción acumulada, tiempo de llegada térmica y balance de energía. No basta con un error global bajo; el modelo debe ser preciso en zonas de decisión, especialmente cerca de pozos, frentes térmicos, límites de presión y áreas de petróleo remanente (Tariq y Shaikh, 2025).

El segundo nivel es la validez de REROSIM frente al comportamiento de campo. Las métricas incluyen ajuste de tasas, temperatura, corte de agua, producción incremental, retardo de respuesta, consistencia de conectividad con trazadores y estabilidad temporal de la matriz. Un buen REROSIM no tiene que replicar cada fluctuación diaria; debe capturar relaciones útiles para decidir. La interpretación debe revisarse con geología y operaciones para evitar falsas conexiones inducidas por eventos no registrados.

El tercer nivel es la validez del SLR como predictor de riesgo. Las métricas incluyen precisión, recall, F1, anticipación promedio de fallas, tasa de falsas alarmas, reducción de tiempo fuera de servicio y aceptación por el equipo de producción. En etapas tempranas, la métrica más importante puede ser utilidad práctica: cuántas alarmas permitieron una acción preventiva razonable. A medida que se acumulan datos, se puede entrenar un modelo más robusto y estimar beneficios económicos (Jung et al., 2026).

La validación integrada debe medir valor de decisión. Se comparan escenarios recomendados contra línea base: producción incremental, consumo de vapor por barril incremental, reducción de agua producida, estabilidad de presión, número de fallas mecánicas, tiempo no productivo, costo de mantenimiento y variabilidad de operación. La convergencia sólo se justifica si mejora indicadores de yacimiento y confiabilidad al mismo tiempo.

3.4. Riesgos técnicos y mitigación

El primer riesgo es la extrapolación. Un GNN puede ser muy preciso dentro del rango de entrenamiento y fallar fuera de él. Si el campo opera con tasas, presiones o calidades de vapor no incluidas en los escenarios físicos, la predicción pierde confiabilidad. La mitigación es definir límites de validez, detectar condiciones fuera de dominio y redirigir casos extremos al simulador convencional antes de recomendar cambios (Tariq y Shaikh, 2025).





El segundo riesgo es la no unicidad de conectividad. Distintas matrices REROSIM pueden explicar datos similares si la información es insuficiente. La mitigación combina regularización física, edades geológicas, trazadores, pruebas de presión y revisión multidisciplinaria. La conectividad no debe interpretarse como verdad absoluta, sino como hipótesis dinámica con incertidumbre (Yan et al., 2025).

El tercer riesgo es la fatiga de alarmas SLR. Si los umbrales son demasiado sensibles, el personal deja de confiar en el sistema. Si son demasiado laxos, la alerta llega tarde. La mitigación es calibrar por pozo, usar ventanas móviles, distinguir alarmas informativas de críticas, registrar acciones tomadas y ajustar umbrales con retroalimentación operacional (Jung et al., 2026).

El cuarto riesgo es la fragmentación organizacional. Un gemelo digital integrado requiere acuerdos entre yacimientos, producción, mantenimiento y tecnología. Si cada área usa nomenclaturas, bases de datos y criterios distintos, la integración se vuelve frágil. La mitigación es nombrar responsables de datos, definir estándares de eventos y establecer reuniones periódicas donde las recomendaciones se revisen con evidencia.

3.5. Análisis y discusión de resultados

En esta sección se evalúan y discuten, de forma crítica, los hallazgos de la investigación, conectando los fundamentos teóricos con la viabilidad práctica en el entorno industrial. El análisis parte de las **discusiones estratégicas** que justifican el modelo, para luego profundizar en la **optimización operacional** a través de la definición de su función objetivo y restricciones. Con el fin de garantizar la aplicabilidad real, se aborda la **explicabilidad y aceptación** del sistema por parte de los equipos de campo, seguida de la propuesta estructural para el **diseño de un piloto**. Asimismo, se evalúan los **requerimientos computacionales y la escalabilidad** de la arquitectura tecnológica, complementados con un balance de los **indicadores económicos y de sostenibilidad operacional**. Finalmente, se examinan con transparencia las **limitaciones del enfoque** y se ofrece la **formulación mínima junto al pseudocódigo operativo** que sirve de guía para su implementación.

Discusiones estratégicas

La convergencia GNN-REROSIM-SLR representa un cambio de enfoque: de modelos que describen el pasado hacia sistemas que recomiendan acciones bajo incertidumbre. El valor técnico de esta propuesta radica en conectar inteligencia artificial con problemas concretos y





maximizar la recuperación de los campos maduros, reducir consumo de energía, evitar fallas mecánicas y transformar datos dispersos en decisiones auditables.

El enfoque también es coherente con una visión de integración energética. La eficiencia térmica no es sólo una métrica de yacimiento; tiene implicaciones de consumo de combustible, emisiones, costos y sostenibilidad. Un barril incremental obtenido con menor vapor por barril, menor tiempo fuera de servicio y menos intervenciones correctivas tiene una huella operacional más favorable. En ese sentido, el gemelo digital térmico puede ser una herramienta de productividad y de gestión responsable de energía.

Desde el punto de vista de investigación aplicada, el marco abre líneas de trabajo. La primera es construir datasets térmicos sintéticos para entrenamiento GNN en geometrías representativas de crudos pesados. La segunda es desarrollar REROSIM térmico con variables de entalpía y temperatura. La tercera es adaptar SLR a pozos térmicos con levantamiento por varillas, considerando efectos de viscosidad, temperatura y ciclos. La cuarta es diseñar tableros con explicabilidad, donde cada recomendación incluya por qué técnico (Yan et al., 2025).

La propuesta no busca presentar la inteligencia artificial como sustituto del criterio experto. Al contrario, ubica la experiencia de ingeniería como condición de diseño, calibración, validación y adopción. La IA acelera, ordena y detecta patrones; la ingeniería define límites, interpreta causas y decide acciones de campo. El resultado más deseable es una alianza: algoritmos rápidos con juicio técnico maduro.

Optimización operacional: función objetivo y restricciones

La convergencia propuesta permite formular una función objetivo más realista que la maximización simple de producción. En un campo térmico, el objetivo debe considerar petróleo incremental, consumo de vapor, costo energético, manejo de agua, estabilidad de presión, riesgo mecánico y capacidad de facilidades. Una formulación práctica puede maximizar valor neto esperado/periodo, restando costo de generación y distribución de vapor, costo de mantenimiento asociado al riesgo SLR y penalización por operar cerca de límites de presión o temperatura.

El GNN aporta velocidad para evaluar miles de combinaciones de tasas de vapor. REROSIM reduce el problema al mostrar qué conexiones son más sensibles y cuáles responden con retardo. SLR agrega una penalización por productor cuando el escenario exige condiciones que pueden deteriorar la bomba. El optimizador no busca el mayor calentamiento, sino el mayor





valor sostenible: calor aplicado donde produce petróleo, con equipos capaces de sostener el nuevo régimen y con incertidumbre dentro de límites aceptables.

Las restricciones deben definirse con participación de operaciones. Entre ellas se incluyen presión máxima de inyección, capacidad de generación de vapor, límites de calidad, disponibilidad de líneas, restricciones ambientales, límites de producción de agua, presión de fondo de productores, capacidad de separación y categoría de integridad mecánica. Un pozo en categoría roja por SLR puede permanecer en el modelo, pero con tasa de cambio limitada o con bloqueo temporal para recomendaciones agresivas.

La optimización debe operar en dos horizontes. El horizonte táctico, diario o semanal, ajusta tasas dentro de rangos seguros. El horizonte estratégico, mensual o trimestral, evalúa cambios de patrón, nuevas conversiones, trabajos de control de perfil, perforación de infill o rediseño del esquema térmico. En ambos casos, el valor del sistema es la trazabilidad: cada recomendación debe mostrar qué predijo el GNN, qué conexión justificó REROSIM, qué restricción impuso SLR y qué indicador económico motivó la decisión.

Explicabilidad y aceptación por los equipos de campo

La aceptación de un gemelo digital no depende sólo de la exactitud estadística; depende de que los usuarios reconozcan una lógica de ingeniería. Un tablero que muestre únicamente una tasa recomendada sin explicación genera resistencia. En cambio, una recomendación acompañada por conectividad, sensibilidad térmica, estado mecánico y rango de incertidumbre facilita la discusión técnica. La explicabilidad debe diseñarse desde el inicio y no agregarse al final como elemento decorativo.

Para el GNN, la explicabilidad puede apoyarse en mapas de sensibilidad, importancia de atributos y comparación contra escenarios físicos. El usuario debe poder identificar si la predicción se debe a permeabilidad, temperatura inicial, presión, cambio de vapor o cercanía a una conexión dominante. Para REROSIM, la explicación es más directa: fracciones de contribución, retardos, conexiones fuertes y eficiencia por unidad de calor. Para SLR, la señal debe mostrar evolución temporal, rango normal y eventos que explican la desviación.

Una práctica recomendada es usar fichas de decisión por recomendación. Cada ficha incluye descripción del cambio propuesto, beneficio esperado, pozos impactados, evidencia GNN, evidencia REROSIM, estado SLR, restricciones, incertidumbre, plan de seguimiento y fecha de revisión. Estas fichas convierten la IA en un proceso auditable y sirven para el





aprendizaje organizacional. Si la recomendación se ejecuta, se compara el resultado contra pronóstico; si no se ejecuta, se documenta la causa.

La adopción también mejora cuando el sistema reconoce conocimiento experto. Los ingenieros deben poder bloquear una conexión por evidencia geológica, ajustar un rango de presión por experiencia de campo o marcar un evento no capturado automáticamente. El gemelo digital debe ser interactivo: aprende de datos, pero también de observaciones técnicas verificables. Esta interacción evita el falso dilema entre modelo y experiencia.

Diseño de un piloto

Un piloto venezolano debería enfocarse en un área donde exista historia de inyección de vapor, mediciones de producción confiables y equipos de levantamiento con datos de cargas superficiales. La selección del patrón no debe basarse únicamente en producción alta; conviene escoger un bloque donde existan problemas visibles de eficiencia térmica, variabilidad inter-pozo y fallas mecánicas recurrentes. Allí la convergencia puede mostrar beneficios en tres dimensiones: más producción, menos vapor desperdiciado y menos paradas.

El primer entregable del piloto sería una línea base integrada. Esta línea base debe documentar producción por pozo, vapor acumulado, relación vapor-petróleo, temperatura de producción, corte de agua, eventos de falla, frecuencia de intervención, disponibilidad mecánica y costos asociados. Sin línea base, no es posible demostrar valor. La línea base también debe separar producción incremental atribuible a vapor de fluctuaciones por mantenimiento, cambios de bomba o condiciones de superficie.

El segundo entregable sería un mapa de conectividad térmica. Este mapa puede revelar patrones intuitivos y no intuitivos. Las conexiones intuitivas validan el modelo y generan confianza; las no intuitivas abren preguntas técnicas. Por ejemplo, una conexión fuerte entre inyector y productor alejados puede sugerir canal de alta permeabilidad, comunicación vertical o evento operacional mal registrado. La decisión no es aceptar ciegamente la matriz, sino convertirla en hipótesis de trabajo para confirmar con datos.

El tercer entregable sería un ranking de pozos por oportunidad y riesgo. La oportunidad se calcula con potencial de respuesta térmica y eficiencia de vapor; el riesgo se calcula con SLR, historial de fallas, exposición térmica y criticidad operacional. Este ranking ayuda a decidir dónde ejecutar ajustes de vapor, dónde instalar mejores sensores, dónde hacer mantenimiento preventivo y dónde no conviene forzar producción hasta resolver integridad.





Requerimientos computacionales y escalabilidad

El entrenamiento de GNN sobre datos espacio - temporales de yacimiento puede ser intensivo en memoria y tiempo, especialmente, si se usan mallas de alta resolución y horizontes largos. La literatura base muestra que el entrenamiento multi-GPU, el paralelismo de datos, el almacenamiento local de caché y el procesamiento por lotes conscientes del dominio reducen cuellos de botella. Para un piloto, no siempre se requiere un clúster grande, pero sí una arquitectura escalable que pueda crecer desde un bloque hasta un activo completo (Tariq y Shaikh, 2025).

La estrategia recomendada es iniciar con subgrafos. En lugar de entrenar sobre todo el campo, se agrupan patrones o regiones con continuidad operativa. Esto reduce tamaño, acelera iteración y permite detectar errores de datos más rápido. Cuando el piloto madura, se conectan subgrafos mediante aristas de borde que representan comunicación entre patrones. Este enfoque modular también facilita que diferentes equipos trabajen por áreas y luego integren resultados (Tariq y Shaikh, 2025).

El sistema debe separar entrenamiento e inferencia. El entrenamiento puede ejecutarse en ventanas programadas, usando simulaciones físicas y datos históricos revisados. La inferencia debe ser suficientemente rápida para correr escenarios operativos y actualizar tableros. REROSIM y SLR pueden actualizarse con mayor frecuencia que el GNN si llegan nuevos datos de producción y cargas. Esta asincronía es útil: no todos los módulos necesitan reentrenarse al mismo ritmo (Tariq y Shaikh, 2025; Yan et al., 2025; Jung et al., 2026).

También es importante definir almacenamiento reproducible. Los datasets de entrenamiento, modelos, parámetros REROSIM, umbrales SLR y resultados de escenarios deben versionar. Si una recomendación tomada en marzo debe revisarse en junio, el equipo debe poder reconstruir con qué modelo, qué datos y qué supuestos se generó. La trazabilidad no es burocracia; es gestión de riesgo técnico.

Indicadores económicos y de sostenibilidad operacional

El indicador clásico de proyectos térmicos es la relación vapor-petróleo, pero la convergencia permite ampliar el tablero. Se recomienda medir barriles incrementales / tonelada equivalente de vapor, energía consumida/barril incremental, reducción de vapor reciclado, producción diferida evitada por mantenimiento preventivo, reducción de fallas/ mil días de operación, costo de intervención/barril incremental y disponibilidad de equipos críticos.





La sostenibilidad operacional se refleja en usar menos energía para obtener el mismo o mayor volumen de petróleo. Un patrón donde el vapor circula por canales preferenciales consume combustible, agua tratada y capacidad de generación sin generar barrido proporcional. REROSIM ayuda a detectar esa ineficiencia; el GNN estima alternativas de redistribución; SLR evita que el ajuste se transforme en fallas mecánicas. El resultado puede ser una reducción simultánea de costo energético y tiempo no productivo.

La evaluación económica debe considerar incertidumbre. No se recomienda reportar una única cifra de producción incremental, sino rangos asociados a escenarios de conectividad, desempeño mecánico y calidad de datos. Un caso base, un caso conservador y un caso optimista permiten comunicar mejor la decisión. Cuando la incertidumbre sea alta, la recomendación puede ser adquirir datos adicionales antes de ejecutar cambios irreversibles.

En términos de gobernanza corporativa, el sistema puede contribuir a justificar inversiones en sensores, cómputo y mantenimiento predictivo. Si el piloto demuestra que mejores datos reducen vapor desperdiciado o evitan fallas, la infraestructura digital deja de verse como gasto tecnológico y se convierte en habilitador de producción rentable.

Limitaciones del enfoque propuesto

La primera limitación es que el artículo propone un marco conceptual aplicado, no una validación con datos de campo propios. Por lo tanto, las ecuaciones, flujos de trabajo y métricas deben interpretarse como diseño metodológico. La implantación real requiere simulaciones térmicas, datos históricos, sensores, validación con expertos y análisis económico específico del activo.

La segunda limitación es que la transferencia desde CO₂ a vapor exige modificaciones sustantivas. Un GNN entrenado para CO₂ no puede usarse directamente para vapor. Deben cambiarse variables, pérdidas, escenarios, datos y controles. La contribución es la estructura de aprendizaje en grafos, no los pesos de un modelo entrenado en otra física (Tariq y Shaikh, 2025).

La tercera limitación se relaciona con REROSIM. Al ser una simplificación inter-pozo, puede perder detalle local y confundir efectos simultáneos si los datos de eventos son pobres. Su fortaleza es la velocidad y la interpretación, no la sustitución de modelos térmicos detallados en decisiones de diseño mayor (Yan et al., 2025).

La cuarta limitación corresponde a SLR. La métrica se desarrolló para bombas de varillas y debe adaptarse con cuidado a condiciones térmicas, crudos viscosos, cambios de régimen y





particularidades de completación. Para equipos de levantamiento distintos, se requerirían métricas equivalentes de integridad mecánica (Jung et al., 2026; Takacs, 2015).

Formulación mínima y pseudocódigo operativo

El flujo operativo puede resumirse en una secuencia reproducible. Primero, se actualizan datos de campo y se valida la calidad. Segundo, se calcula el estado mecánico por pozo mediante SLR y se asigna categoría de integridad. Tercero, se actualiza REROSIM con tasas, temperaturas y eventos recientes para recalcular conectividad y retardos. Cuarto, se ejecutan escenarios de vapor en el GNN térmico dentro de límites de validez. Quinto, se comparan escenarios con una función objetivo que incorpora producción incremental, eficiencia térmica, restricciones de presión y penalización mecánica.

En pseudocódigo de ingeniería: para cada patrón, leer datos validados; si calidad de datos es insuficiente, emitir recomendación de adquisición antes de optimizar; calcular SLR por productor; actualizar conectividad REROSIM; generar conjunto de escenarios de vapor; estimar respuesta térmica con GNN; descartar escenarios que violen límites de presión, vapor o integridad; ordenar escenarios por valor esperado; entregar recomendación con evidencia y plan de verificación.

La fórmula conceptual de SLR usada como señal primaria puede escribirse como $SLR = (L_{min}/L_{min_normal}) / (L_{max}/L_{max_normal})$. Para el índice de integridad se puede usar una combinación ponderada: $IM = w_1 \cdot |SLR - 1| + w_2 \cdot AFR + w_3 \cdot \sigma_{carga} + w_4 \cdot E_{eventos} + w_5 \cdot E_{termica}$, donde AFR es la frecuencia de anormalidad en ventana móvil, σ_{carga} representa variabilidad y $E_{eventos}/E_{termica}$ incorporan contexto operacional. Los pesos deben calibrarse por campo y por tipo de equipo (Jung et al., 2026).

La respuesta inter-pozo térmica puede expresarse como $R_j(t) = \sum f_{ij} \cdot U_i(t - \tau_{ij}) + D_j(t)$, donde U_i puede ser tasa de vapor, entalpía o calor útil acumulado. Esta ecuación no reemplaza el simulador térmico; es una representación reducida para interpretar conectividad y asignar responsabilidades de respuesta entre inyectores y productores. Cuando REROSIM y GNN discrepan, la divergencia debe tratarse como oportunidad de diagnóstico: puede indicar datos faltantes, evento no registrado, conectividad no modelada o escenario fuera del dominio de entrenamiento (Yan et al., 2025).

La disciplina de cierre del ciclo es esencial. Cada recomendación debe tener una hipótesis medible: incremento esperado, tiempo de respuesta, pozos impactados y señal mecánica



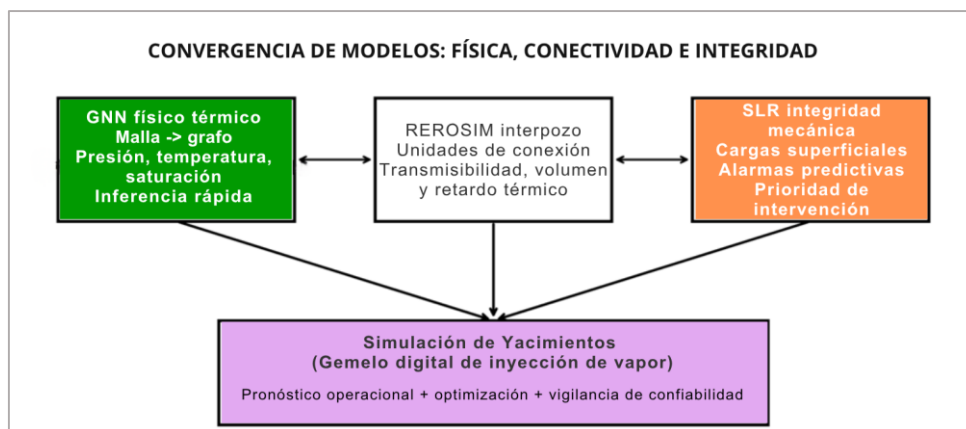


esperada. Después de la ejecución, el equipo compara el resultado real, actualiza los módulos y decide si la política queda aceptada, ajustada o descartada. Así el gemelo digital evoluciona como sistema de aprendizaje operacional y no como reporte estático.

Conclusiones

La integración de GNN, REROSIM y SLR permite diseñar un gemelo digital de inyección de vapor con tres capacidades complementarias: modelado físico rápido, interpretación inter-pozo y vigilancia de integridad mecánica. Esta combinación responde mejor a la realidad de campos maduros que un modelo único enfocado sólo en producción (Figura 1).

Figura 1: Arquitectura de convergencia GNN–REROSIM–SLR para un gemelo digital térmico



Fuente: elaboración propia con base conceptual en Tariq y Shaikh (2025), Yan et al. (2025) y Jung et al. (2026).

La transferencia de GNN desde aplicaciones de CO2 hacia vapor es técnicamente viable como línea de investigación aplicada, siempre que se incorporen variables térmicas, balance de energía, calidad de vapor, condensación y dependencia de viscosidad con temperatura. El sustituto no reemplaza el simulador físico; lo convierte en motor de entrenamiento y validación para decisiones rápidas (Tariq y Shaikh, 2025).

REROSIM aporta una capa de conectividad dinámica que traduce mapas y predicciones a relaciones inyector-productor accionables. Su extensión térmica puede identificar reciclaje de calor, canales preferenciales, retardos útiles y oportunidades de redistribución de vapor (Yan et al., 2025).

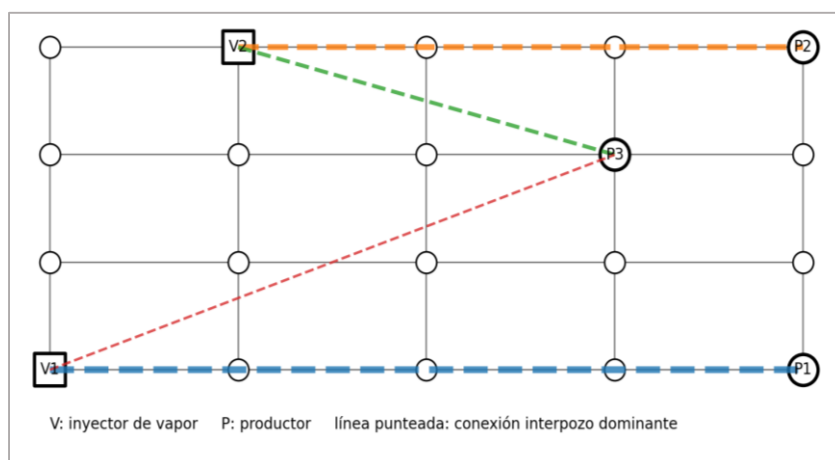




SLR convierte la integridad mecánica en restricción de optimización y no en análisis posterior a la falla. La producción incremental debe evaluarse junto con el riesgo de bombas, varillas y continuidad operacional (Jung et al., 2026).

La metodología propuesta debe implementarse por fases: calidad de datos, piloto, simulación base, entrenamiento GNN, calibración REROSIM, despliegue SLR, integración en tablero, validación y aprendizaje continuo. La gobernanza de eventos y la revisión multidisciplinaria son condiciones críticas de éxito. (Figura 2).

Figura 2. Esquema de grafo térmico: la malla de yacimiento se interpreta como nodos conectados y como vínculos inter-pozo dominantes.



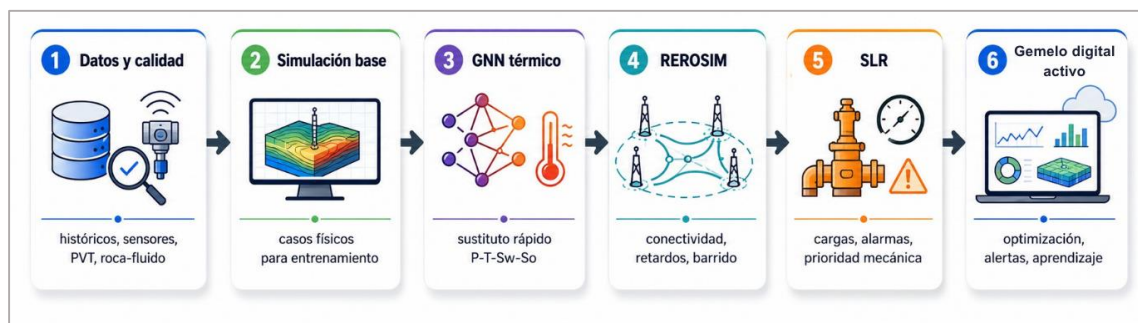
Fuente: elaboración propia.

El valor estratégico de la convergencia está en decidir mejor y más rápido: menos vapor desperdiciado, mayor barrido efectivo, menor tiempo no productivo, intervenciones priorizadas y una cultura técnica donde los datos se convierten en acciones trazables.

La figura 3 muestra la ruta de implantación por etapas para un piloto de gemelo digital de inyección de vapor.



Figura 3. Ruta de implantación por etapas para un piloto de gemelo digital de inyección de vapor.



Fuente: elaboración propia.

En las tablas del 1 al 3 se presentan:

- Esquemas mínimos de datos para el gemelo digital térmico (Fuente: elaboración propia)
- Métricas de validación recomendadas por capa del modelo
- Fases de ejecución sugeridas para un piloto PetroRenova de gemelo digital térmico (Fuente: elaboración propia)

Tabla 1. Esquema mínimo de datos para el gemelo digital térmico

Dominio	Variables mínimas	Uso en GNN	Uso en REROSIM	Uso en SLR / integridad
Yacimiento	Porosidad, permeabilidad, espesor, facies, profundidad, presión, saturaciones, viscosidad.	Atributos de nodos y condiciones iniciales.	Restricciones geológicas para conectividad.	Contexto de riesgo por fluido y régimen.
Vapor	Tasa, calidad, presión, temperatura, entalpía, tiempo de ciclo, pérdidas estimadas.	Control dinámico y balance de energía.	Señal de entrada por inyector y retardo térmico.	Evento operacional que puede modificar cargas.
Producción	Aceite, agua, gas, temperatura, presión de fondo/cabeza, corte de agua, pruebas.	Salidas y validación por pozo.	Respuesta por productor y eficiencia de conexión.	Condiciones que explican desviaciones de carga.
Levantamiento	Cargas mínimas/máxima, velocidad, carrera, torque, estado de bomba, eventos.	Variable auxiliar para escenarios operativos.	Restricción de producción por productor.	Cálculo SLR, alarmas, clasificación de riesgo.
Eventos	Cierres, intervenciones, cambios de bomba, tratamientos, ajustes de vapor, fallas.	Etiquetas y discontinuidades controladas.	Evita atribuir eventos a conectividad falsa.	Etiquetas para entrenamiento de falla.

Fuente: elaboración propia



Tabla 2. Métricas de validación recomendadas por capa del modelo

Capa	Métricas técnicas	Criterio de aceptación inicial	Decisión habilitada
GNN térmico	RMSE/MAE de presión, temperatura y saturación; error de llegada térmica; balance de energía.	Error estable en zonas de pozo y sin deriva relevante en horizonte de pronóstico.	Evaluar escenarios de vapor y sensibilidad operacional.
REROSIM	Ajuste de producción, corte de agua, temperatura, retardo, estabilidad de conectividad.	Conexiones coherentes con datos y geología; incertidumbre documentada.	Redistribuir vapor, detectar canalización, priorizar trazadores.
SLR	F1, recall, falsas alarmas, anticipación de falla, tiempo no productivo evitado.	Alarmas accionables y validadas por producción/mantenimiento.	Planificar mantenimiento, ajustar velocidad y limitar escenarios riesgosos.
Integración	NP incremental, vapor por barril, disponibilidad mecánica, costo por barril incremental.	Mejora frente a línea base y revisión multidisciplinaria.	Emitir recomendación operativa trazable.

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Fases de ejecución sugeridas para un piloto PetroRenova de gemelo digital térmico

Fase	Actividad	Entregable	Riesgo de no ejecutar
0	Evaluación de madurez digital y calidad de datos.	Inventario de datos, brechas, diccionario y plan de limpieza.	Entrenar modelos con información inconsistente.
1	Selección de patrón piloto y objetivos de valor.	Alcance, KPIs, línea base y criterios de éxito.	Piloto demasiado amplio o sin impacto medible.
2	Biblioteca de simulación térmica.	Casos físicos para entrenamiento y validación GNN.	Sustituto rápido sin fundamento físico suficiente.
3	Entrenamiento y prueba del GNN.	Modelo térmico con límites de validez y métricas.	Predicciones rápidas, pero no confiables fuera del rango.
4	Calibración REROSIM térmica.	Matriz de conectividad, retardos y eficiencia térmica.	Recomendaciones sin explicación interpozo.
5	Implementación SLR.	Umbrales por pozo, alarmas y categorías de integridad.	Optimizar vapor ignorando riesgo mecánico.
6	Tablero integrado y cierre de ciclo.	Recomendaciones, seguimiento y aprendizaje continuo.	No convertir análisis en acciones de campo.

Fuente: elaboración propia





Referencias

- Jung, Y., Kim, Y., Oh, B., Jun, J., Sun, W. y Jeong, H. (2026). Prediction of Sucker Rod Pump Failures Using Scaled Load Ratios and Machine Learning. *SPE Journal*. SPE-233386-PA.
- Tariq, Z. y Shaikh, M. (2025). Fast, Scalable, and Memory-Efficient High-Performance Graph Neural Networks for Subsurface in Porous Media Simulations using Multi-GPU Parallelism. SPE-229244-MS. *Society of Petroleum Engineers*. <https://doi.org/10.2118/229244-MS>
- Yan, L., Zhou, Z., Li, B., Fang, Q., Yuankai y Shi, Z. (2025). A Reservoir Dynamic Prediction Model Based on the REROSIM Method: Digital Twin and Simulation Studies Driven by Digital Transformation. SPE-227319-MS. *Society of Petroleum Engineers*. <https://doi.org/10.2118/227319-MS>
- Takacs, G. (2015). Sucker-Rod Pumping Handbook: Production Engineering Fundamentals and Long-Stroke Rod Pumping. *Elsevier*.
- Kokal, S. y Sayegh, S. (1995). Asphaltenes: The Cholesterol of Petroleum. *SPE* 29787.
- Shaikh, [Iniciales]. (2025). Automated well optimization. *Journal of Petroleum Science and Engineering* (ahora Geoenergy Science and Engineering) presentado en una conferencia de la SPE (Society of Petroleum Engineers).
- Tissot, B. P. y Welte, D. H. (1984). *Petroleum Formation and Occurrence*. Springer-Verlag.

Declaración de conflicto de interés y originalidad

Conforme a lo estipulado en el *Código de ética y buenas prácticas* publicado en **PetroRenova Indexed, Revista Científica de la Energía**, la autora **Romero, Isabelis**, declara al Comité Editorial que no tiene situaciones que representen conflicto de interés real, potencial o evidente, de carácter académico, financiero, intelectual o con derechos de propiedad intelectual relacionados con el contenido del artículo: **Convergencia estratégica de Redes Neuronales de Grafos, REROSIM y Scaled Load Ratio para gemelos digitales de inyección de vapor**, en relación con su publicación. De igual manera, declara que el trabajo es original, no ha sido publicado parcial ni totalmente en otro medio de difusión, no se utilizaron ideas, formulaciones, citas o ilustraciones diversas, extraídas de distintas fuentes, sin mencionar de forma clara y estricta su origen y sin ser referenciadas debidamente en la bibliografía correspondiente. Consiente que el Comité Editorial aplique cualquier sistema de detección de plagio para verificar su originalidad.

La autora declara que, en la preparación de este manuscrito, no utilizó herramientas de inteligencia artificial generativa para la redacción de textos o interpretación de datos.

Para citar este artículo:

Romero, I. (2026). Convergencia estratégica de Redes Neuronales de Grafos, REROSIM y Scaled Load Ratio para gemelos digitales de inyección de vapor. *PetroRenova Indexed, Revista Científica de la Energía*. Vol. 2, núm. 3(70-96), julio-septiembre, 2026. <https://doi.org/10.5281/zenodo.21810662>



Instrucciones para los autores

Consideraciones generales sobre la presentación y envío de los manuscritos

Los investigadores y público en general interesados en publicar sus trabajos en *PetroRenova Indexed*, pueden acceder al sitio web de la revista (https://indexed.petrorenova.com/index.php/petrorenova_indexed/index) registrarse, consultar las políticas y normativas, así como los formatos respectivos. Por medio de la opción **enviar un artículo**, se procede a llenar los campos requeridos y cargar el manuscrito. También podrán enviarlo a través del correo electrónico puesto a disposición (indexed.petrorenova@gmail.com). De utilizar este medio, deberá enviar el manuscrito en el formato destinado al tipo de publicación.

PetroRenova Indexed proporciona acceso abierto a sus publicaciones, bajo licencia Creative Commons (BY-NC-SA) Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International. En este sentido, todas las publicaciones que est n disponibles en el portal, pueden descargarse en formato pdf gratuitamente.

Con el manuscrito de la propuesta del trabajo, se enviar  al correo mencionado, una comunicación escrita, firmada por el autor o los autores, dirigida al Consejo Editorial de la revista en la que se autoriza a someter el trabajo a evaluación y publicación. En dicha comunicación se debe señalar que el trabajo propuesto es original, inédito y no est  sometido simultáneamente a proceso de evaluación y arbitraje en otra revista.

Desde el momento que el trabajo es aceptado y publicado, el autor o los autores, acepta(n) la cesión de derechos patrimoniales de autor a *PetroRenova Indexed*, a través de un formato que les har  llegar el equipo editorial. Este se reserva el derecho de aplicar cambios de estilo y forma al manuscrito para garantizar la calidad científica del mismo. *PetroRenova Indexed* puede publicar el artículo en formatos físicos o electrónicos, incluido Internet, bases de datos y otros sistemas de información vinculados a la revista. Los autores podrán usar la versión final de su artículo en cualquier repositorio, sitio web o impresos.

Es de importancia aclarar que los datos del autor o los autores deben ser enviados en un documento adjunto, tanto en español como en inglés, que incluya apellidos, nombres, dirección, teléfono, correo electrónico, Orcid, títulos académicos, afiliación institucional con menc n del país, cargos actuales, sociedades a las que pertenece, estudios realizados o en curso y publicaciones recientes.

Presentación de los trabajos

Los trabajos deben presentar un resumen de 150 palabras como máximo y cuatro (4) palabras clave. Tanto el resumen como las palabras clave estarán en español e inglés. Igualmente, el título y el subtítulo del trabajo serán presentados también en los idiomas anteriormente mencionados. La extensión será entre quince (15) y treinta y cinco (35) cuartillas. Todos los trabajos serán presentados en hoja tipo carta, a una sola cara, con numeración continua y con márgenes de dos (2,5) centímetros en todos los lados. Se recomienda utilizar el formato para presentación de trabajos disponible en el portal de la revista.

El texto se presentar  con interlineado de 1,5, en fuente Arial, tamaño 11, con espaciado posterior entre párrafos de 6 pts. Para las notas a pie de página y los contenidos de las tablas, el tamaño será en fuente Arial tamaño 9, con interlineado sencillo.

Evaluación de los trabajos

Todos los trabajos serán evaluados bajo la modalidad **dobles ciegos** por parte de un Comité de árbitros, conformado por tres (3) de los miembros del Comité Científico y dos (2) especialistas de reconocido prestigio, seleccionados por el Comité Editorial de la revista, quienes no conocerán sus identidades. Los criterios de evaluación son los siguientes:

a. Criterios formales o de presentación: 1) originalidad, pertinencia y adecuada extensión del título, 2) claridad y coherencia del discurso, 3) adecuada elaboración del resumen, 4) organización interna del texto y 5) todos los demás criterios establecidos en la presente normativa.

b. Criterios de contenido: 1) dominio de conocimiento evidenciado, 2) rigurosidad científica, 3) fundamentación teórica y metodológica, 4) actualidad y relevancia de las fuentes consultadas y 5) aportes al conocimiento existente.

Una vez recibidos, los trabajos siguen el siguiente proceso, en un tiempo promedio de 60 días: a) inicialmente, se acusa recibo del manuscrito v  correo electrónico; b) seguidamente, el Consejo Editorial realiza una **revisión preliminar** (tiempo estimado 10 días) para determinar si cumple con las Normas para la presentación de trabajos; c) si las cumple, pasa al **arbitraje** (revisión de manuscritos, tiempo estimado 20 días), proceso en el cual especialistas calificados evalúan los trabajos atendiendo criterios de pertinencia, originalidad, aportes y rigurosidad científica y académica. El Comité de  rbitros



Instrucciones para los autores

Instructions for authors

emitirán un veredicto sobre el trabajo presentado, el cual consistirá en: c-1) **Publicable**; c-2) **Publicable con ligeras modificaciones**, que implican aquellas de forma y estilo, en miras de adaptarse a los criterios formales o de presentación de la revista; c-3) **Publicable con modificaciones sustanciales**, que implican aquellas de fondo y construcción del manuscrito, en miras de adaptarse a los criterios de contenido de la revista; c-4) **No publicable**; d) si el trabajo no cumple con los criterios mínimos presente en estas normas; el Consejo Editorial propondrá que no sea enviado al proceso de arbitraje; e) en cualquier caso, la directora de la revista notificará al autor o autores, por escrito, la decisión. En el caso que el veredicto de los árbitros difiera uno de otro (publicable/no publicable), el artículo será sometido a un nuevo arbitraje, hasta obtener una decisión unánime.

En caso de decisión **publicable con modificaciones ligeras o sustanciales**, el o los autores tendrán un máximo de diez (10) días para el envío de las modificaciones al Comité Editorial al siguiente correo electrónico: indexed.petrorenova@gmail.com En caso de no enviar las correcciones en el lapso establecido, se asume **desinterés por parte del o los autores de no publicar su trabajo**. Si el o los autores deciden no publicar su trabajo, deberán presentar una comunicación en la cual dejen claro la no publicación del material enviado en la revista.

Los evaluadores no utilizan IA generativa o tecnologías asistidas por IA para realizar la evaluación o el proceso de toma de decisiones de un manuscrito, ya que el pensamiento crítico y la evaluación original, necesarios para este trabajo, están fuera del alcance de esa tecnología y se pudiesen generar conclusiones incorrectas, incompletas o sesgadas sobre el manuscrito.

La responsabilidad del proceso de arbitraje y la decisión final de publicación de los artículos recae en el Comité Editorial, en la figura de su directora.

Proceso editorial

El Comité Editorial de *PetroRenova Indexed* se reserva la última palabra sobre la publicación de los artículos y el número en el cual se publicarán. El orden de la publicación y la orientación temática de cada número lo determinará el Comité Editorial, sin importar el orden en que los manuscritos hayan sido recibidos y arbitrados. Con base en ello, se les informará a los autores el número y las fechas aproximadas de su publicación. Durante este proceso, el Comité Editorial se reserva el derecho de hacer los ajustes y cambios que aseguren la calidad de la publicación.

El autor deberá estar presto a las comunicaciones de la revista por medio de correo electrónico. También deberá proporcionar información de la investigación que soporta el artículo, certificar que el escrito es de su autoría y que en este se respetan los derechos de propiedad intelectual de terceros, mediante el envío de las comunicaciones mencionadas.

Cuerpo del artículo

Idioma: Los artículos deben ser presentados y redactados en idioma nativo; si es español, el artículo completo se redacta en idioma español y, tanto el resumen como las palabras clave se traducen al inglés. Si es inglés, el artículo completo se redacta en idioma inglés y, tanto el resumen como las palabras clave se traducen al español. Los autores que deseen ampliar el ámbito de lectores internacionales, pueden enviar sus trabajos en español, inglés y en su idioma nativo diferente a los dos mencionados, esto garantiza un mayor número de lectores.

Título: Debe ser corto, explicativo y contener la esencia del trabajo. Este título debe proporcionarse tanto en el idioma español como inglés. Se establecen los siguientes criterios para la redacción del título: a) claridad, b) brevedad (se sugiere entre 10 y 15 palabras), c) especificidad y d) originalidad.

Autor(es): Indicar los nombres y apellidos completos, títulos profesionales, el nombre de la institución donde se realizó el trabajo o de la institución a la cual pertenece el autor, ORCID actualizado con información como investigador, ciudad y país. El número máximo de autores es de cuatro (4).

Resumen: No mayor de ciento cincuenta (150) palabras, en español y en inglés, en un solo párrafo con interlineado sencillo y sin sangría. En caso que el trabajo se presente en otro idioma, el resumen debe redactarse en ese mismo idioma, en español e inglés. En la redacción del resumen se reseña el objetivo del trabajo, los métodos utilizados, resultados y conclusiones. Se establecen los siguientes criterios para la redacción del resumen: a) preciso, b) completo, c) conciso y d) específico.

Palabras clave: Deberán incluirse cuatro (4) palabras clave en español y en inglés. Estas palabras descriptivas facilitan la inclusión del artículo en las bases de datos internacionales. Se sugiere hacer uso del thesaurus de la UNESCO disponible en: <https://vocabularies.unesco.org/browser/thesaurus/es/>

Apartados y sub-apartados: Los trabajos, en forma general, deberán dividirse en introducción, fundamentos teóricos, metodología, resultados: análisis y discusión, conclusión o consideraciones finales y referencias bibliográficas. En el desarrollo, los sub-apartados deberán tener numeración arábiga, siendo de libre titulación y división por parte del autor, procurando el mantenimiento de coherencia interna tanto de discurso como de temática.

Instrucciones para los autores

Instructions for authors

Normas de citas y referencias

Citas: El citado se realizará tomando en cuenta las **normas de la American Psychological Association (APA) en su 7ma. edición actualizada** y aplicando las pautas establecidas en este apartado.

Citas textuales: en el texto se utiliza la modalidad autor-fecha y número de página, se reproduce exactamente las palabras del autor. Si la cita es hasta 40 palabras, se incorpora en el texto entre comillas dobles, sin cursiva. *Ejemplos:*

1. Apellido autor (año) afirma que "texto de la cita" (página).
Según los resultados, Almarza (2020) afirma que "texto de la cita" (p. 5).
2. "texto de la cita" (Apellido autor, año, página).
"las clases sociales se distinguen..." (Almarza, 2020, p. 3).

Si la cita tiene más de 40 palabras, se escribe aparte del texto, en bloque, con sangría en 1 cm en márgenes izquierdo y derecho, sin comillas, sin cursiva y con interlineado sencillo. Al final de la cita se coloca el punto, seguido del Apellido del autor, año y número de página, entre paréntesis. *Ejemplos:*

En consecuencia,

Texto de la cita. (González, 2012, p. 4)

En el caso de la cita textual narrativa,

Por su parte, Alfonso (2012) afirma que

Texto de la cita. (p. 6)

Citas tipo paráfrasis: cuando se cuenta, resume o reorganice con palabras propias las ideas del autor. *Ejemplos:*

Interpretando los resultados, podría afirmarse, según García (2021), que....

Interpretando los resultados, podría afirmarse que la tasa de crecimiento.... (García, 2021).

Cantidad de autores en las citas: para el caso del mismo autor con obras publicadas en el mismo año, se sigue el siguiente formato (García, 2008a, p. 12) o García (2008b, p. 24). Si son dos o tres autores, se colocarán solamente el primer apellido de cada uno, por ejemplo: Según Reyes y Díaz (2008, p. 90) o (Reyes, García y Díaz, 2008, p. 90). Si son más de tres autores (García et al., 2022). Siguiendo el mismo criterio explicado anteriormente para las citas textuales y las paráfrasis.

Las **citas secundarias** se utilizan cuando una fuente principal es referida en el texto. Puede citarse de dos formas:

Entre paréntesis: (Apellido del autor original, fecha, como se citó en Apellido del autor secundario, fecha)

Ejemplo: (Abreu, 2002, como se citó en Romero, 2012)

En forma narrativa: Apellido del autor original (fecha, como se citó en Apellido del autor secundario, fecha)

Ejemplo: Abreu (2002, como se citó en Romero, 2012) afirma que no todos los documentos narrativos son de fácil acceso.

Deben evitarse, en lo posible, citas de trabajos no publicados o en imprenta, también referencias a comunicaciones y documentos privados de difusión limitada, a no ser que sea estrictamente necesario. En caso de fuentes documentales, electrónicas u otras que por su naturaleza resulten inviables o complejas para la adopción del citado autor – fecha, puede recurrir al citado al pie de página. En casos más específicos, consulte las normas **APA en su 7ta edición**.

En el caso de documentos en archivos, los autores pueden recurrir al uso de notas al pie de página o a las normas **APA** para la referencia del contenido de los mismos, siempre y cuando mantengan coherencia en el estilo de citado a lo largo del trabajo, independientemente del método de citado para los documentos en archivos.

Referencias: Las fuentes citadas en el documento deben aparecer en la lista de referencias y cada entrada en la lista de referencia debe haber sido citada en el texto. Las referencias deberán ir al final del artículo, se realizarán tomando en cuenta las **normas de la American Psychological Association (APA) en su 7ma. edición actualizada** y aplicando las pautas establecidas en este apartado. Estas podrán ser bibliográficas, hemerográficas, documentales, electrónicas, orales y otras que se hayan utilizado. Tienen cuatro elementos básicos: autor, fecha de publicación, título del trabajo y fuente de recuperación. Deberán ir a interlineado sencillo y con sangría francesa de 1cm, con separación entre obras referenciadas de 6 ptos. El orden de las referencias es alfabético por apellido.

Las diferentes obras de un mismo autor se organizarán cronológicamente, en orden ascendente y, si son dos obras o más de un mismo autor y año, se mantendrá el estricto orden alfabético por título. Los autores son responsables de la fidelidad de las referencias. Si un autor es citado más de una vez no se coloca la tradicional raya que sustituía los apellidos y nombres del

Instrucciones para los autores

Instructions for authors

autor o autores. Ello se explica porque los buscadores electrónicos de los repositorios institucionales leen palabras y la raya no posee ningún significado alfabético.

Las **normas APA versión 7 actualizadas** permiten referenciar hasta 20 y más de 20 autores. En el caso de hasta 20 autores, se separa el penúltimo del último con la letra “y”. En el caso de más de 20 autores, se escriben los primeros 19, luego puntos suspensivos, seguidos del último autor de la obra. Ejemplos:

Libros

Apellido, inicial del Nombre del autor (año). *Título de la obra*. Casa o ente editorial [no debe llevar la palabra “editorial” a menos que forme parte del nombre de la institución editora].

Ejemplo de libro con un autor:

Vera, M. (2013). *Proyecto educativo republicano e instrucción pública en Maracaibo (1830-1850)*. Fondo Editorial UNERMB.

Briceño-Iragorry, M. (1997). *Mensaje sin destino*. Monte Ávila Editores.

Ejemplo de libro con dos autores:

Acosta, N. y Arenas, O. (1999). *América Latina en el Mundo*. Ediluz.

Ejemplo de libro con más de tres autores:

González, P. et al. (1999). *La innovación es un tema para discutir en países no desarrollados*. Kopena.

Ejemplo de libro obtenido de la web:

Real Academia Española (2011). *Nueva gramática de la lengua española. Manual*. Espasa.
<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/psicologia/article/view/27899/43273>

Capítulos de libros o parte de una compilación

Apellido, inicial del Nombre del autor (año). Título del capítulo o sección. *Título del libro* (páginas). Casa o ente editorial.

Ejemplo de capítulo de libro:

Abric, J. (2001). Las representaciones sociales: aspectos teóricos. *Prácticas sociales y representaciones* (25-41). Ediciones Coyoacán.

Artículo en revista arbitrada

Apellido, inicial del Nombre del autor (año). Título del artículo. *Nombre de la revista*, volumen o año, número.

Ejemplo de artículos en revista arbitrada impresa:

García J. y Colina, A. (2013). Mapas cognitivos: estrategia de enseñanza-aprendizaje en las ciencias sociales. *Perspectivas: Revista de Historia, Geografía, Arte y Cultura*, Año 1 N.º 1.

Ejemplo de artículo en revista arbitrada con DOI (Digital Object Identifier):

Ramírez, L. (2015). El cultivo del cacao venezolano a partir de Maruma. *Historia Caribe*. Vol. 10, N.º 27.
<https://doi.org/10.15648/hc.27.2015.3>

Ejemplo de artículo en revista arbitrada en línea sin DOI:

Castillo, L. y Borregales, Y. (2015). Más allá del pergamino: la pintura histórica y la caricatura política en el estudio historiográfico venezolano. *Procesos Históricos*. N.º 027, Año XIV.
<http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/39640/1/articulo6.pdf>

Trabajos de grado/tesis inédita

Apellido, inicial del Nombre del autor (año). *Título del trabajo*. (Trabajo de grado/tesis de maestría/Tesis doctoral). Institución, Lugar.

Ejemplo de trabajo de grado/tesis inédita:

Lozano, E. (1999). *Casos de mercadeo en empresas colombianas*. (Trabajo de Grado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Ejemplo de trabajo de grado/tesis inédita en línea:

Loaiza, M. (2015). *Casos de mercadeo y publicidad en empresas ecuatorianas*. (Tesis de Maestría). URL

Trabajos presentados en eventos científicos y/o conferencias

Apellido, inicial del Nombre del autor (mes, año). *Título del trabajo*. Trabajo presentado en <nombre de la conferencia> de <Institución organizadora>, lugar.

Instrucciones para los autores

Instructions for authors

Ejemplo de trabajos presentados en eventos científicos y/o conferencias:

García, J. y Durán, W. (mayo, 2013). *Empoderamiento comunal y gestión de riesgos en espacios comunales de la Costa Oriental del Lago de Maracaibo. Retos y propuestas*. Trabajo presentado en las Jornadas Riesgos Naturales y Educación de la Facultad de Humanidades y Educación de la Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

Artículo de periódico

Apellido, inicial del Nombre del autor (año, mes y día). Título del artículo. *Título del periódico*, página.

Ejemplo de artículo de periódico:

Soto, A. (2015, septiembre, 23). PNL logra cambios de conducta en 20 minutos. *Versión Final*, p. 14.

Ejemplo de artículo de periódico en línea:

Chirinos, P. (2015, septiembre, 22). Caminata por un corazón sano. *La Verdad*. <http://www.laverdad.com/zulia/105830-caminata-por-un-corazon-sano.html>

Constituciones

Título de la constitución [Const.]. (fecha de promulgación). número de ed. Editorial.

Ejemplo de constitución:

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela [Const.]. (1999). 3^{ra} edición. Ex Libris.

Leyes

Organismo que la decreta. (día, mes y año). *Título de la ley*. DO o GO: [Diario o Gaceta oficial donde se encuentra]

Ejemplo de leyes:

Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela. (15 de agosto de 2009). *Ley Orgánica de Educación*. Gaceta Oficial N.º 5.929 Extraordinaria.

Documentos en archivo

Nombre del archivo. *Sección en donde se ubica*. Libro o tomo. Legajo, Título o asunto del documento. Folio (s).

Ejemplo de documentos en archivo:

Archivo General de Indias. *Audiencia de Caracas*. Ayudas de costa. Legajo 943. N.º 267. Informe de la contaduría general favorable a una petición de las Clarisas del Convento de Mérida de Maracaibo en el sentido de que se les diese de expolios del obispo Ramos de Lora lo necesario para hacer reparaciones. Madrid, 31 de marzo de 1796. ff.1r-2v.

Entrevistas

Nombre del entrevistado, realizada el día, mes año en Lugar (Lugar).

Ejemplo de entrevistas:

Humberto Chirinos, entrevista realizada el 07 de febrero de 2016 en el barrio Punto Fijo (Cabimas, Venezuela).

Páginas de internet

Apellido, inicial del Nombre del autor (año). Título de la entrada.

Ejemplo de página de Internet:

Ministerio del Poder Popular para la Educación (2014). Colección Bicentenario. http://www.me.gob.ve/sistemas/coleccion_bicentenario/index.php

Entrada de blog

Apellido, inicial del Nombre del autor (año). Título del post. [Entrada de blog].

Ejemplo de entrada de blog:

Moreno, D. (2014). Libro de trucos "Distribuciones basadas en Debian GNU/Linux". [La web del profesor Duglas Moreno]. <http://blogs.unellez.edu.ve/duglasmoreno/archives/85>

Podcast

Apellido, inicial del Nombre del productor. (día, mes y año). *Título del post* [Audio en podcast].

Ejemplo de Podcast:

Leto, J. (18 de enero de 2015). "Las Moscas" de Horacio Quiroga en *Noviembre Nocturno* [Audio en podcast]. http://www.ivoox.com/las-moscashoracio-quiroya-audiosmp3_rf_3967422_1.html

Instrucciones para los autores

Instructions for authors

Película

Apellido, inicial del Nombre del productor y Apellido, inicial del Nombre (director) (año). *Título de la película* [Película]. País de origen: Estudio.

Ejemplo de película:

Jácome, M. (Productora) y Arvelo, C. (director) (2007). *Cyrano Fernández* [Película]. Venezuela: Índigo Media.

Canción

Apellido, inicial del Nombre del escritor (año de copyright). *Título de la canción*. [Canción]. Lugar: Sello discográfico.

Ejemplo de audio:

Juanes. (2013). *La camisa negra* [Canción]. Universal Music Latino

Imagen (fotografía, pintura)

Apellido, inicial del Nombre del artista (Lugar, año). Título de la obra [Formato]. Lugar: Lugar donde está expuesta.

Ejemplo de imagen:

Kahlo, F. (1944). *La columna rota* [Pintura]. México: Museo Dolores Olmedo Patiño.

Imagen o video en línea

Apellido, inicial del Nombre (año). *Título o nombre de la imagen o video* [Archivo de video/imagen].

Ejemplo de video en línea:

Santos, D. (2012). *Apocalipsis ecológico* [Archivo de video]. <https://www.youtube.com/watch?v=JzAektg101M>

Twitter

Apellido, inicial de Nombre [@Usuario twitter] (Año, mes, día). Contenido del Tuit [Tuit].

Ejemplo de Twitter:

Santo-Domingo, J. [@teatromayor] (2015, enero, 19). Vangelis, compositor de las partituras originales de Blade Runner y Carros de fuego es autor de la música de Paisajes <http://bit.ly/luzcasalenvivo> [Tuit]. <https://twitter.com/teatromayor/status/557272037258186752>

Facebook

Apellido, inicial del Nombre [usuario en Facebook] (año, mes, día). *Contenido del post* [Estado de facebook] de (url)

Ejemplo de Facebook:

Hawking, S. [Stephenhawking] (2014, diciembre, 19). *Errol Morris' A Brief History of Time is a very respectful documentary, but upon a viewing last night, I discovered something profound and warming. The real star of the film is my own mother.* [Estado de Facebook] de <https://www.facebook.com/stephenhawking/posts/749460128474420>

Anexos: los anexos constituyen elementos complementarios del texto que refiera el lector a una parte del trabajo o fuera de él, con el propósito de ilustrar las ideas expuestas en el texto, ampliar o aclarar o complementar lo allí expresado. Los anexos son contabilizados como parte del número de páginas del escrito.

En el caso de figuras y cuadros, el autor podrá acompañar el original con las ilustraciones que estime necesarias. Las fotografías e ilustraciones deben ser enviadas en formato .jpg con un mínimo de 300 dpi de resolución. Las leyendas o pie de foto no deben hacer parte de las imágenes, por tanto, deben indicarse separadamente. Los anexos deberán estar numerados (Imagen 1, Ilustración 2, entre otros) y reseñados dentro del texto (Ver ilustración x). El fondo de los gráficos, tablas y cuadros deberán ser en blanco. Es responsabilidad del autor conseguir y entregar a la revista el permiso para la publicación de las imágenes que así lo requieran. Si bien se permiten los anexos a color, debe tomarse en cuenta que la revista en físico se imprime a escala de grises; en tanto que la versión electrónica aparece a color.

Observaciones en cuanto a redacción y estilo

- Las subdivisiones en el cuerpo del texto (capítulos, subcapítulos, entre otras) deben tener numeración arábiga, excepto la introducción, la conclusión y las referencias que no se numeran. Los subcapítulos se reseñarán en decimales (1.1, 1.2, 5.6,) en tanto que las subdivisiones de estos últimos deberán presentarse en letras consecutivas (a, b, c, d, sucesivamente).
- Los términos en latín, extranjerismos, así como títulos de obras científicas, artísticas y literarias deberán figurar en letra itálica o cursiva.
- La primera vez que se use una abreviatura, ésta deberá ir entre paréntesis después de la fórmula completa; sucesivamente se recurrirá únicamente a la abreviatura.
- El inicio de cada párrafo lleva sangría de 1 cm. La separación entre párrafos será de espaciado posterior en 6 puntos.
- Las notas de pie de página deberán aparecer en números arábigos.

Instrucciones para los autores

Instructions for authors

- f. Si bien se permite el uso de las notas al pie de página, éstas tendrán un carácter explicativo y ampliatorio (si amerita el caso) de las ideas planteadas en el trabajo. No se aceptará el uso de pie de página para los datos de citas ni referencias, a excepción de referencias de documentos en archivos.
- g. Los cuadros, gráficos, ilustraciones, fotografías, mapas y similares deben aparecer referenciados y explicados en el texto. Deben estar, asimismo, titulados, numerados e identificados secuencialmente y acompañados por sus respectivos pies de imagen y fuente(s), de la siguiente manera: Fuente: Apellido (s), año. Ej.: Fuente: Márquez, 2012.
- h. Los cuadros, tablas, gráficos, ilustraciones y similares deben ser, preferentemente, de elaboración propia (salvo que el trabajo presentado implique el análisis de anexos de autoría externa). La inserción de los mismos debe estar plenamente justificada y guardar estricta relación con la temática y/o aspectos tratados en el trabajo presentado.

Para más detalles en cuanto a la aplicación de las normas APA, consulte: <https://normas-apa.org/>

Instructions for authors

General considerations regarding the presentation and sending of manuscripts

Researchers and the general public interested in publishing their work in *PetroRenova Indexed*, can access the journal's website (https://indexed.petrorenova.com/index.php/petrorenova_indexed/index) to register, consult the policies and regulations, as well as the respective formats. By means of the option submit an article, fill in the required fields and upload the manuscript. You may also send it through the e-mail address provided at (indexed.petrorenova@gmail.com). If you use this method, you must send the manuscript in the format intended for the type of publication.

PetroRenova Indexed provides open access to its publications, under Creative Commons (BY-NC-SA) Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License. In this sense, all publications that are available on the portal can be downloaded in pdf format free of charge.

With the manuscript of the proposed paper, a written communication, signed by the author or authors, addressed to the Editorial Board of the journal, authorizing the submission of the paper for evaluation and publication, should be sent to the above-mentioned e-mail address. This communication must state that the proposed work is original, unpublished and is not simultaneously undergoing evaluation and arbitration process in another journal.

From the moment the work is accepted and published, the author(s) accept(s) the assignment of copyright to *PetroRenova Indexed*, through a form that will be sent to them by the editorial team. The editorial team reserves the right to apply changes in style and form to the manuscript. *PetroRenova Indexed* may publish the article in physical or electronic formats, including the Internet, databases and other information systems linked to the journal. Authors may use the final version of their article in any repository, website or print.

It is important to clarify that the data of the author(s) should be sent in an attached document, both in Spanish and English, including surname, first name, address, telephone, e-mail, Orcid, academic titles, institutional affiliation with mention of the country, current positions, societies to which they belong, studies completed or in progress, and recent publications.

Presentation of the works

Papers must present an abstract of 150 words maximum and four (4) keywords. Both the abstract and the keywords must be in Spanish and English. Likewise, the title and subtitle of the paper should also be presented in the aforementioned languages. The length of the paper should be between fifteen (15) and thirty-five (35) pages. All papers should be submitted on a single-sided, single-sided, letter-type paper, with continuous numbering and margins of two (2.5) centimeters on all sides. It is recommended to use the format for submission of papers available in the journal's website.

The text should be presented with 1.5-line spacing, in Arial font, size 11, with 6 pts. spacing between paragraphs. For footnotes and table contents, the size will be Arial font size 9, single spaced.

Work evaluation

All papers will be evaluated under the double-blind mode by a Referee Committee, made up of three (3) members of the Scientific Committee and two (2) specialists of recognized prestige, selected by the Editorial Committee of the journal, whose identities will not be known. The evaluation criteria are as follows:

- a. Formal or presentation criteria: 1) originality, pertinence and adequate length of the title, 2) clarity and coherence of the discourse, 3) adequate preparation of the abstract, 4) internal organization of the text, 5) all other criteria established in these rules.

Instrucciones para los autores

Instructions for authors

b. Content criteria: 1) evidenced knowledge domain, 2) scientific rigor, 3) theoretical and methodological basis, 4) actuality and relevance of the sources consulted and 5) contributions to existing knowledge.

Once received, the papers follow the following process, in an average time of 60 days: a) initially, receipt of the manuscript is acknowledged via e-mail; b) then, the Editorial Board performs a preliminary review (estimated time 10 days) to determine whether it complies with the Guidelines for the submission of papers; c) if it complies, it goes to arbitration (review of manuscripts, estimated time 20 days), a process in which qualified specialists evaluate the papers according to criteria of relevance, originality, contributions and scientific and academic rigor. The committee of referees will issue a verdict on the submitted work, which will consist of: (c-1) **Publishable**; (c-2) *Publishable with slight modifications*, involving those of form and style, with a view to adapting to the formal or presentation criteria of the journal; (c-3) **Publishable with substantial modifications**, involving those of substance and construction of the manuscript, with a view to adapting to the content criteria of the journal; c-4) **Not publishable**; d) if the work does not meet the minimum criteria present in these rules, the Editorial Committee will propose that it not be sent to the refereeing process; e) in any case, the editor of the journal will notify the author or authors, in writing, of the decision. In the event that the verdict of the referees differs one from the other (publishable/unpublishable), the article will be submitted to a new arbitration, until a unanimous decision is reached.

In case of a publishable decision with slight or substantial modifications, the author(s) will have a maximum of ten (10) days to send the modifications to the Editorial Committee at the following address: indexed.petrorenova@gmail.com. If the author(s) do not send the corrections within the established period, it is assumed that the author(s) are not interested in not publishing their work. If the author or authors decide not to publish their work, they must submit a communication in which they make clear the non-publication of the material sent in the journal.

The reviewers do not use generative AI or AI-assisted technologies to perform the evaluation or decision-making process of a manuscript, since the critical thinking and original evaluation necessary for this work are beyond the scope of such technology and there is a risk that the technology may generate incorrect, incomplete or biased conclusions about the manuscript.

The responsibility for the refereeing process and the final decision to publish the articles lies with the Editorial Committee, in the person of its director.

Editorial process

The Editorial Board of *PetroRenova Indexed* reserves the final word on the publication of articles and the issue in which they will be published. The order of publication and the thematic orientation of each issue will be determined by the Editorial Committee, regardless of the order in which manuscripts have been received and refereed. Based on this, authors will be informed of the issue and the approximate dates of publication. During this process, the Editorial Committee reserves the right to make adjustments and changes to ensure the quality of the publication. Originals will not be returned.

The author should be ready to receive communications from the journal by e-mail. He/she must also provide information on the research that supports the article, certify that the article is his/her own work and that it respects the intellectual property rights of third parties, by sending the aforementioned communications.

Article body

Language: Articles must be presented and written in native language; If it is Spanish, the complete article is written in Spanish and both the summary and the keywords are translated into English. If it is English, the complete article is written in English and both the summary and the keywords are translated into Spanish. Authors who wish to expand the scope of international readers can send their works in Spanish, English and in their native language other than the two mentioned, this guarantees a greater number of readers.

Title: It should be short, explanatory and contain the essence of the work. This title must be provided in both Spanish and English. The following criteria are established for writing the title: a) clarity; b) brevity (between 10 and 15 words are suggested); c) specificity and d) originality.

Author(s): Indicate the full names and surnames, professional titles, the name of the institution where the work was carried out or the institution to which the author belongs, ORCID with information such as researcher, city and country. The maximum number of authors is four (4).

Summary: No more than one hundred and fifty (150) words, in Spanish and English, in a single paragraph with single spacing. If the work is presented in another language, the summary must be written in that same language, in Spanish and English. When writing the summary, the objective of the work, the methods used, results and conclusions are outlined. The following criteria are established for writing the summary: a) precise; b) complete; c) concise and d) specific.

Keywords: Four (4) keywords must be included in Spanish and English. These descriptor words facilitate the inclusion of the article in international databases. It is suggested to use the UNESCO thesaurus available at: <https://vocabularies.unesco.org/browser/thesaurus/es/>

Instrucciones para los autores

Instructions for authors

Sections and sub-sections: The works must be divided into introduction, theoretical foundations, methodology, results, analysis and discussion of the results, conclusion or final considerations and bibliographic references. In the development, the sub-sections must have Arabic numerals, being freely titled and divided by the author, seeking to maintain internal coherence of both discourse and theme.

Citation and reference standards

Appointments: The appointment will be made taking into account the standards of the **American Psychological Association (APA) in its 7th. updated edition** and applying the guidelines established in this section. In the text, the author-date and page number modality are used in the case of textual citations.

Textual citation: the author's words are reproduced exactly. If the citation is up to 40 words, it is incorporated into the text between double quotes, without italics. *Examples:*

1. Author last name (year) states that "text of citation" (page).

According to the results, Almarza (2020) states that "text of the citation" (p. 5).

2. "text of the citation" (author's last name, year, page).

"social classes are distinguished..." (Almarza, 2020, p. 3).

If the citation has more than 40 words, it is written separately from the text, in a block, indented 1 cm from the left margin, without quotation marks, without italics and with single spacing. At the end of the citation, the period is placed, followed by the author's last name, year and page number, in parentheses. *Examples:*

Consequently,

Citation text. (González, 2012, p. 4)

In the case of the narrative textual citation,

For his part, Alfonso (2012) states that

Citation text. (p.6)

Paraphrase-type citation: when the author's ideas are told, summarized or reorganized in their own words. *Examples:*

Interpreting the results, it could be stated, according to García (2021), that....

Interpreting the results, it could be stated that the growth rate.... (García, 2021).

Number of authors in the citations: in the case of the same author with works published in the same year, the following format is followed (García, 2008a, p. 12) or García (2008b, p. 24). If there are two or three authors, only the first surname of each one will be included, for example: According to Reyes and Díaz (2008, p. 90) or (Reyes, García and Díaz, 2008, p. 90). If there are more than three authors (García et al., 2022). Following the same criteria explained above for textual citations and paraphrases.

The *secondary appointments* They are used when a main source is referred to in the text. It can be cited in two ways:

In parentheses: (Original author's last name, date, as cited in Secondary author's last name, date)

Example: (Abreu, 2002, as cited in Romero, 2012)

In narrative form: Original author's last name (date, as cited in Secondary author's last name, date)

Example: Abreu (2002, as cited in Romero, 2012) states that not all narrative documents are easily accessible.

Citations of unpublished or printed works, as well as references to private communications and documents of limited dissemination, should be avoided, as far as possible, unless strictly necessary. In the case of documentary, electronic or other sources that, due to their nature, are unfeasible or complex for the adoption of the aforementioned author - date, you can resort to the one cited in the footer. In more specific cases, consult **APA standards in its 7th edition**.

In the case of documents in archives, authors can resort to the use of footnotes or **APA standards** to reference their content, as long as they maintain consistency in the citing style throughout the work. Regardless of the citing method for documents in archives.

References: Sources cited in the document must appear in the reference list and each entry in the reference list must have been cited in the text. References should go at the end of the article; they will be made taking into account the standards of the **American Psychological Association (APA) in its 7th. updated edition** and applying the guidelines established in this section. These may be bibliographic, newspaper, documentary, electronic, oral and others that have been used. They have four basic elements: author, publication date, title of the work and recovery source. They must be single-spaced with a French

Instrucciones para los autores

Instructions for authors

indentation of 1cm, with a spacing of 6 pts spaces between referenced works. The order of references is alphabetical by last name.

The different works by the same author will be organized chronologically, in ascending order and, if there are two or more works by the same author and year, the strict alphabetical order by title will be maintained. The authors are responsible for the fidelity of the references. If an author is cited more than once, the traditional line that replaced the surnames and names of the author or authors is not placed. This is explained because the electronic search engines of institutional repositories read words and the line does not have any alphabetical meaning.

The **APA version 7 standards** allow referencing up to 20 and more than 20 authors. In the case of up to 20 authors, the penultimate is separated from the last with the letter "y". In the case of more than 20 authors, the first 19 are written, then ellipses, followed by the last author of the work. The examples presented below correspond to the **APA-2023 standards**.

Books

Last name, initial of the author's name (year). *Title of the work*. Publishing house or entity [should not have the word "publishing" unless it is part of the name of the publishing institution].

Example of a book with an author:

Vera, M. (2013). *Republican educational project and public instruction in Maracaibo (1830-1850)*. UNERMB Editorial Fund.

Briceño-Iragorry, M. (1997). *Message without destination*. Monte Ávila Editores.

Example of a book with two authors:

Acosta, N. and Arenas, O. (1999). *Latin America in the World*. Ediluz.

Example of a book with more than three authors:

González, P. et al. (1999). *Innovation is a topic to discuss in undeveloped countries*. Kopena.

Example of a book obtained from the web:

Royal Spanish Academy (2011). *New grammar of the Spanish language. Manual*. Espasa.
<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/psicologia/article/view/27899/43273>

Book chapters or part of a compilation

Last name, initial of the author's name (year). Chapter or section title. *Book title* (pages). House or publishing entity.

Book chapter example:

Abric, J. (2001). Social representations: theoretical aspects. *Social practices and representations* (25-41). Coyoacán Editions.

Article in refereed journal

Last name, initial of the author's name (year). Article title. *Name of the Journal*, volume or year, number.

Example of articles in a printed refereed Journal:

García J. and Colina, A. (2013). Cognitive maps: teaching-learning strategy in the social sciences. *Perspectives: Journal of History, Geography, Art and Culture*, Year 1 No. 1.

Example of an article in a peer-reviewed journal with DOI (Digital Object Identifier):

Ramírez, L. (2015). The cultivation of Venezuelan cocoa from Maruma. *Caribbean History*. Vol. 10, No. 27.
<https://doi.org/10.15648/hc.27.2015.3>

Example of an article in a peer-reviewed online journal without DOI:

Castillo, L. and Borregales, Y. (2015). Beyond the parchment: historical painting and political caricature in the Venezuelan historiographic study. *Historical Processes*. No. 027, Year XIV.
<http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/39640/1/articulo6.pdf>

Unpublished degree works/thesis

Last name, initial of the author's name (year). *Job title*. (Degree work/master's thesis/doctoral thesis). Institution, Place.

Example of degree work/unpublished thesis:

Lozano, E. (1999). *Marketing cases in Colombian companies*. (Degree Work). Pontifical Javeriana University, Bogotá, Colombia.

Example of unpublished degree work/thesis online:

Loaiza, M. (2015). *Marketing and advertising cases in Ecuadorian companies*. (Master's Thesis).

Instrucciones para los autores

Instructions for authors

Works presented at scientific events and/or conferences

Last name, initial of the author's name (month, year). *Job title*. Paper presented at <conference name> of <organizing institution>, location.

Example of works presented at scientific events and/or conferences:

García, J. and Durán, W. (May, 2013). *Communal empowerment and risk management in communal spaces on the Eastern Coast of Lake Maracaibo. Challenges and proposals*. Work presented at the Natural Risks and Education Conference of the Faculty of Humanities and Education of the University of Zulia, Maracaibo, Venezuela.

Newspaper article

Last name, initial of the author's name (year, month and day). Article title. *Newspaper title*, page.

Example of a newspaper article:

Soto, A. (2015, September, 23). NLP achieves behavioral changes in 20 minutes. *Final Version*, p. 14.

Online newspaper article example:

Chirinos, P. (2015, September, 22). Walk for a healthy heart. *The truth*. <http://www.laVerdad.com/zulia/105830-caminata-por-un-corazon-sano.html>

Constitutions

Title of the constitution [Const.]. (date of promulgation). ed number Editorial.

Constitution example:

Constitution of the Bolivarian Republic of Venezuela [Const.]. (1999). 3rd Edition. Bookplate.

Laws

Body that decrees it. (day, month and year). *Title of the law*. DO or GO: [Official newspaper or Gazette where it is found]

Example of laws:

National Assembly of the Bolivarian Republic of Venezuela. (August 15, 2009). *Organic Law of Education*. Official Gazette No. 5,929 Extraordinary.

Documents on file

File name. *Section where it is located*. Book or volume. File, Title or subject of the document. Folio(s).

Example of documents on file:

General Archive of the Indies. *Caracas Hearing*. Coastal aid. File 943. No. 267. Report from the general accounting office favorable to a request from the Poor Clares of the Convent of Mérida in Maracaibo in the sense that they be given what was necessary to make repairs from the plunderings of Bishop Ramos de Lora. Madrid, March 31, 1796. ff. 1r-2v.

Interviews

Name of the interviewee, carried out on the day, month, year in (Place).

Example of interviews:

Humberto Chirinos, held on February 7, 2016 in the Punto Fijo neighborhood (Cabimas, Venezuela).

Internet pages

Last name, initial of the author's name (year). Entry title.

Example of Internet page:

Ministry of Popular Power for Education (2014). Bicentennial Collection. http://www.me.gob.ve/sistemas/coleccion_bicentenario/index.php

Blog post

Last name, initial of the author's name (year). Post title. [Blog entry].

Blog post example:

Moreno, D. (2014). "Distributions based on Debian GNU/Linux" cheat book. [Professor Duglas Moreno 's website]. <http://blogs.unellez.edu.ve/duglasmoreno/archives/85>

Podcast

Last name, initial of the producer's name. (day, month and year). *Post title* [Audio in podcast].

Instrucciones para los autores

Instructions for authors

Podcast Example:

Leto, J. (2015, January 18). "Las Moscas" by Horacio Quiroga in *Noviembre Nocturno* [Audio in podcast]. http://www.ivoox.com/las-moscashoracio-quiroya-audiosmp3_rf_3967422_1.html

Movie

Last name, initial of the producer's first name and last name, initial of the first name (director) (year). *Movie title* [Film]. Country of origin: Studio.

Movie example:

Jácome, M. (Producer) and Arvelo, C. (Director) (2007). *Cyrano Fernandez* [Film]. Venezuela: Indigo Media.

Song

Last name, first initial of the writer (copyright year). *Song title*. [Song]. Place: Record label.

Audio example:

Juanes. (2013). *The black shirt* [Song]. Universal Music Latino

Image (photography, painting)

Last name, initial of the artist's name (Place, year). Title of the work [Format]. Place: Place where it is exposed.

Image example:

Kahlo, F. (1944). *The Broken Column* [Painting]. Mexico: Dolores Olmedo Patiño Museum.

Image or video online

Last name, first initial (year). *Title or name of the image or video* [Video/Image File].

Online video example:

Santos, D. (2012). *Ecological apocalypse* [Video file]. <https://www.youtube.com/watch?v=JzAektg101M>

Twitter

Last name, first initial [@Twitter User] (Year, month, day). Content of the Tweet [Tweet].

Twitter example:

Santo-Domingo, J. [@Teatromayor] (2015, January, 19). Vangelis, composer of the original scores for Blade Runner and Chariots of Fire, is the author of the music for Paisajes <http://bit.ly/luzcasalenvivo> [Tweet]. <https://twitter.com/teatromayor/status/557272037258186752>

Facebook

Last name, first initial [Facebook user] (year, month, day). *Content of the post* [Facebook status] from Url.

Facebook example:

Hawking, S. [Stephenhawking] (2014, December, 19). *Errol Morris' A Brief History of Time is a very respectful documentary, but upon a viewing last night, I discovered something profound and warming. The real star of the film is my personal mother* [Facebook Status] from <https://www.facebook.com/stephenhawking/posts/749460128474420>

Annexes: Annexes constitute complementary elements of the text that the reader refers to a part of the work or outside of it, with the purpose of illustrating the ideas presented in the text, expanding or clarifying or complementing what is expressed therein. The annexes are counted as part of the number of pages of the document.

In the case of figures and tables, the author may accompany the original with the illustrations he deems necessary. Photographs and illustrations must be sent in .jpg with a minimum of 300 dpi resolution. Captions or captions should not be part of the images therefore, they should be indicated separately. The annexes must be numbered (Image 1, Illustration 2, among others) and outlined within the text (See illustration x). The background of graphs, tables and charts must be white. It is the author's responsibility to obtain and deliver to the Journal permission for the publication of images that require it. Although color annexes are allowed, it should be taken into account that the physical Journal is printed in gray scale; while the electronic version appears in color.

Observations regarding writing and style

- Subdivisions in the body of the text (chapters, subchapters, among others) must have Arabic numbering, except for the introduction and conclusion, which are not numbered. The subchapters will be outlined in decimals (1.1, 1.2, 5.6,) while the subdivisions of the latter must be presented in consecutive letters (a, b, c, d, successively).
- Latin terms, foreign words, as well as titles of scientific, artistic and literary works must appear in italics or italics.

Instrucciones para los autores

Instructions for authors

- c. The first time an abbreviation is used, it must be placed in parentheses after the complete formula; successively, only the abbreviation will be used.
- d. The beginning of each paragraph is indented 1 cm. The separation between paragraphs will be subsequently spaced at 6 points.
- e. Footnotes must appear in arabic numerals.
- f. Although the use of footnotes is permitted, they will have an explanatory and expanding nature (if warranted) of the ideas raised in the work. The use of footers for citation or reference data will not be accepted, except for references to documents in files.
- g. Charts, graphs, illustrations, photographs, maps and similar must be referenced and explained in the text. They must also be titled, numbered and identified sequentially and accompanied by their respective image captions and source(s), as follows: Source: Last name(s), year. Ex.: Source: Márquez, 2012.
- h. Charts, tables, graphs, illustrations and the like must preferably be of your own creation (unless the work presented involves the analysis of annexes of external authorship). Their insertion must be fully justified and strictly related to the theme and/or aspects discussed in the work presented.

For more details regarding the application of APA norms, see: <https://normas-apa.org/>



PetroRenova



Instituto Universitario Politécnico
"SANTIAGO MARIÑO"

PetroRenova

REVISTA CIENTÍFICA DE LA ENERGÍA

INDEXED

Inscrita oficialmente en:



**Esta revista electrónica es publicada en formato digital.
Editada por Petróleos & Renovables S.A., en alianza con
el Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño**