

Protocolo para la Presentación del Anteproyecto de Grado Opción Monografía

* Este espacio lo diligencia el área de trabajos de grado
Referencia del proyecto* _____

Información General

Información del estudiante 1	Nombre: Laura Paola Carrillo Hoyos
	Programa de maestría: Especialización en gerencia de proyectos
	Tipo y número de documento: CC 1020819451
	Correo institucional: lcarril19451@universidadean.edu.co
	Teléfonos de contacto:
Información del estudiante 2	Nombre: Jeison Ferney Pardo Fajardo
	Programa de maestría: Especialización en gerencia de proyectos
	Tipo y número de documento: CC 1026268971
	Correo institucional: Jpardof68971@universidadean.edu.co
	Teléfonos de contacto: 3102601159
Información del estudiante 3	Nombre: Diego Fernando Chinchilla Beltran
	Programa de maestría: Especialización en Machine Learning
	Tipo y número de documento: CC 1016013398
	Correo institucional: dchinch13398@universidadean.edu.co
	Teléfonos de contacto: 3133153488
Campo de investigación ¹ :	Dirección y Gestión de Proyectos
	Grupo de investigación ¹ : Laura Paola Carrillo Hoyos, Diego Fernando Chinchilla Beltrán, Jeison Ferney Pardo Fajardo Tutor: Yimy Alejandro Bernal Campos
	Línea de investigación ¹ : Modelos, Metodologías y Gestión para la Gerencia de Proyectos
	Título tentativo del proyecto: Análisis de la aplicación de inteligencia artificial en la gestión de riesgos en proyectos de ingeniería del sector petrolero y en qué se diferencia de los enfoques tradicionales.

Lugar y fecha de presentación Bogotá DC 2026

¹ <https://universidadean.edu.co/investigacion/grupos-de-investigacion>

Tabla de Contenidos

Resumen

Introducción

Planteamiento del problema

Delimitación del problema

Variables técnicas y contextuales

Naturaleza del problema

Objetivos

Justificación de la investigación

Antecedentes investigativos

Marco institucional

Marco teórico

Técnicas de recolección de información

Técnicas de análisis de información

Relación con los objetivos de investigación

Instrumentos de recolección documental

Procedimiento

Plan de análisis

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias

Resumen

El presente trabajo aborda la aplicación vigente de la inteligencia artificial en la gestión de riesgos dentro de proyectos de ingeniería del sector petrolero. El propósito central es identificar los aportes documentados más relevantes de esta tecnología competente en simular procesos cognitivos humanos, como aprendizaje, razonamiento y toma de decisiones en procesos de la identificación temprana de riesgos, automatización operativa de tareas, modelado de datos, optimización de procesos y gestión de riesgos. Esta exploración y revisión bibliográfica surge de la necesidad de entender como la inteligencia artificial puede fortalecer la toma de decisiones frente a los proyectos del sector, reducir la alta incertidumbre y optimizar el desempeño de estos proyectos, mediante el uso de esta tecnología capaz de procesar grandes volúmenes de datos en tiempo real y de manera rápida, automatizar procesos y generar información estratégica para la gestión de riesgos y anticipación de escenarios de un entorno caracterizado por alta complejidad técnica, variabilidad operativa, económica, logística, geopolítica, además de elevados niveles de inversión.

La exploración bibliográfica ha evidenciado que la implementación de estas tecnologías basadas en inteligencia artificial se ha convertido en un determinante estratégico para el sector Oil & Gas, debido a su capacidad para fortalecer el análisis predictivo y mejorar la precisión en la identificación de riesgos. Desde esta perspectiva Waqar et al. (2023) sostienen que la aplicación de modelos de machine learning y analítica avanzada en proyectos del sector de petróleos contribuye a la anticipación de eventos críticos y a la optimización de procesos de toma de decisiones basados en datos.

Metodológicamente, se realiza un análisis documental de casos publicados e información en la literatura académica y en fuentes del sector, lo anterior para examinar de forma estructurada, como se ha implementado la inteligencia artificial en la gestión de riesgos dentro de proyectos de ingeniería del sector petrolero. El estudio busca ofrecer una

visión estructurada sobre el potencial, oportunidades y limitaciones actuales de esta tecnología, identificando tendencias de implementación y su contribución a la mejora en el desempeño del sector.

Palabras clave: *Inteligencia artificial, gestión de riesgos, planificación de proyectos, analítica predictiva, proyectos de ingeniería, sector petrolero, machine learning, análisis predictivo.*

Introducción

El sector petrolero se caracteriza por operar en entornos altamente complejos, donde la variabilidad de las condiciones del mercado y los factores técnicos y geopolíticos influyen directamente en el desarrollo de los proyectos. En este contexto la gestión de riesgos se convierte en un componente vital para garantizar la viabilidad, sostenibilidad y rentabilidad, especialmente considerando altos niveles de inversión e impacto que pueden generar desviaciones técnicas, económicas, ambientales y en tiempo.

Tradicionalmente, la gestión de riesgos en proyectos del sector Oil & gas ha seguido lineamientos estructurados y organizados, apoyados en juicio experto y análisis de información histórica usando tecnologías como matrices de probabilidad e impacto. Si bien históricamente en el sector estas metodologías tradicionales aportaron seguridad, anticipación, dirección y prevención su capacidad de respuesta puede llegar a ser tardía y en ocasiones deficiente al no seguirle el ritmo a la alta complejidad de este sector. De las mayores limitantes de esta metodología tradicional es que no fue diseñada para el procesamiento de datos operativos, financieros y técnicos en tiempo real, lo cual termina por dejar en evidencia que estos enfoques ya

no son suficientes para anticipar riesgos en entornos tan dinámicos y cambiantes como los del sector de hidrocarburos.

En este escenario, las tecnologías basadas en inteligencia artificial están siendo incorporadas progresivamente en la transformación en el sector Oil & gas. Su capacidad para analizar grandes volúmenes de datos, automatizar procesos y generar modelos predictivos para la gestión de riesgos son tecnologías con un aporte en entornos de alta complejidad. No obstante, a pesar de su creciente implementación, aún existe una escasa literatura académica que permita comprender de forma más clara y suficiente como las tecnologías están siendo aplicadas específicamente en la gestión de riesgos y proyectos de ingeniería petrolera.

A partir de esta problemática este trabajo busca analizar como la inteligencia artificial está siendo usada en la gestión de riesgos en proyectos de ingeniería del sector petrolero y para ello se realiza una revisión estructurada de literatura académica que permita identificar sus principales aportes, limitaciones y diferencias frente a los enfoques tradicionales, para ofrecer una visión más clara y fundamentada sobre este cambio que el sector ya está viviendo.

Planteamiento del problema

Descripción del problema

El sector petrolero se caracteriza por el desarrollo de proyectos de ingeniería de alta complejidad técnica, elevados niveles de inversión y una exposición significativa a riesgos operativos, financieros, logísticos y ambientales. En el sector energético, se observa que un alto porcentaje de proyectos de Oil & Gas presentan desviaciones en costos y tiempos lo que se traduce en sobrecostos y pérdidas de valor para las organizaciones. Con base en la experiencia profesional de uno de los investigadores de este trabajo en el sector petrolero colombiano, se

reconocen dinámicas propias de la naturaleza cíclica de la industria, en las cuales algunos proyectos presentan impactos económicos negativos, mientras que otros alcanzan niveles de rentabilidad favorables lo que refleja la influencia de variables cambiantes alta incertidumbre, variabilidad de precios internacionales e inversiones, factores geopolíticos y la complejidad técnica, las cuales influyen directamente en el desempeño de los proyectos del sector.

Ante este panorama, la gestión de riesgos en el sector petrolero se ha basado históricamente en metodologías tradicionales apoyadas en juicios de expertos y análisis parcial de información a través de tecnologías como matrices. Si bien estas metodologías aportaron seguridad, anticipación, dirección y prevención en el sector de hidrocarburos, su capacidad de respuesta puede reflejar limitaciones y restricciones al no seguirle el ritmo a la alta complejidad de este tipo de proyectos, especialmente frente al volumen de datos operativos, financieros y técnicos que actualmente generan las organizaciones del sector. Una de sus mayores limitantes es que no fueron diseñadas para el procesamiento de datos voluminosos y de información en tiempo real, lo que termina por dejar en evidencia que hay una oportunidad en esta metodología emergente de mejorar la anticipación de riesgos, optimizar procesos y mejorar toma de decisiones en entornos tan variables y cambiantes como los del sector de hidrocarburos.

Ante esta realidad, la creciente digitalización de la industria energética ha abierto la posibilidad de integrar tecnologías basadas en inteligencia artificial, capaces de procesar datos voluminosos e información, identificar patrones y generar modelos predictivos para anticipar eventos adversos con mayor precisión. Cabe señalar que estas tecnologías también reducen riesgos en la cadena de suministros, permitiendo detectar a tiempo anomalías operativas e irregularidades en alguno de sus eslabones (Jurina & Kapulica, 2024) como volúmenes mal reportados o compras de crudo sin origen claro, lo que fortalece los controles internos y protege el desempeño del proyecto de forma administrativa, financiera, tributaria y jurídica. Diversos estudios recientes señalan que la

aplicación de modelos de machine learning y analítica avanzada en la industria del Oil & Gas puede mejorar la detección temprana de fallas, optimizar la planificación del proyecto, la organización eficiente de recursos, la coordinación logística y la trazabilidad de la información, así como el monitoreo y la optimización de los procesos operativos. Estas tecnologías contribuyen a fortalecer la toma de decisiones basada en datos, por medio de entornos colaborativos que permiten una gestión más integrada, ágil y orientada a resultados que optimizan el desempeño en la gestión de riesgos en proyectos de ingeniería del sector petrolero (Waqar et al., 2023).

No obstante, a pesar de la creciente implementación de estas tecnologías y sus prometedores beneficios aún se observa un vacío significativo en la literatura académica respecto a la evaluación estructurada de su impacto específico en la gestión de riesgos dentro de proyectos de ingeniería del sector petrolero. Es decir, no se cuenta con suficiente evidencia sistematizada que permita identificaren qué medida la aplicación de inteligencia artificial contribuye efectivamente a la identificación y mitigación de riesgos y al mejoramiento del desempeño del proyecto.

En contraste, en el sector Oil & Gas, la Inteligencia Artificial ha sido ampliamente adoptada, evidenciando mejoras y optimización en la toma de decisiones. Su implementación ha permitido acelerar el análisis de información, aumentar la precisión de las proyecciones y reducir tiempos operativos, al tiempo que impulsa el desarrollo de capacidades técnicas en las organizaciones. *CE Noticias Financieras* (2025). Sin embargo que su implementación en el sector no cuente con literatura académica que evalúe el impacto real de las tecnologías basadas en inteligencia artificial es un problema que va más allá de una brecha puesto que sin evidencia que respalde su implementación las organizaciones del sector seguirán tomando decisiones basadas en experiencias que nadie ha documentado formalmente y eso en un sector donde cada decisión implica un riesgo importante no se debe ignorar. Por eso documentar y analizar no es solo un

ejercicio académico sino una necesidad real para que el sector pueda avanzar con más piso y más criterio.

En consecuencia, surge la necesidad de analizar de manera documentada y sistemática la aplicación de tecnologías de inteligencia artificial en la gestión de riesgos en proyectos de ingeniería del sector petrolero, para identificar sus aportes, limitaciones y oportunidades de mejora dentro del contexto industrial actual.

Delimitación del problema

El enfoque de este estudio está en el proceso de gestión de riesgos en proyectos de ingeniería del sector hidrocarburos, específicamente en el cómo las tecnologías de inteligencia artificial se aplican allí. Otras áreas de la gestión de proyectos, así como aplicaciones de inteligencia artificial por fuera del contexto de gestión de riesgos de este sector, no son abordadas.

En cuanto a la revisión documental, esta cubre literatura académica especializada del período 2015 a 2026. Este rango, coincide con registros de cuando el sector de hidrocarburos empezó a acelerar la adopción de técnicas de machine learning y deep learning de forma más concreta, pero no necesariamente documentada.

El sector Oil & Gas es el marco del análisis, con énfasis particular en proyectos variables y complejos. Se realizan referencias al contexto colombiano, aunque la evidencia académica y especializada consultada tiene un alcance global.

Por último, este es un estudio de tipo documental. No se contempla recolección de datos primarios, trabajo de campo, ni tampoco implementación de modelos tecnológicos propios. Lo que sustenta el análisis es la síntesis crítica de evidencia secundaria, esa que está disponible en bases de datos académicas.

Variables técnicas y contextuales

Para el presente estudio, se identificaron dos categorías de variables que orientan la revisión y comparación de la literatura académica consultada.

Variables técnicas, metodologías tradicionales y las tecnologías de inteligencia artificial aplicadas en la gestión de riesgos en proyectos de ingeniería del sector petrolero con las que se comparan. También se tuvo en cuenta la capacidad de cada enfoque para detectar riesgos de manera temprana, procesar grandes volúmenes de datos operativos, financieros y técnicos, anticipar escenarios adversos en entornos cambiantes propios del sector.

En cuanto a las variables contextuales, se tuvo en cuenta las variables en el que operan los proyectos de ingeniería del sector petrolero, incluyendo las condiciones del mercado, la manera en que las organizaciones han venido implementando tecnologías de inteligencia artificial para usar, adaptar y entrenar sus modelos, y la disposición organizacional frente a la adopción de estas tecnologías en sus procesos de gestión de riesgos.

Estas variables permitieron entender en qué condiciones se han implementado y documentado de manera académica las tecnologías basadas en inteligencia artificial y que factores del entorno influyen en su efectividad dentro de la gestión de riesgos.

Naturaleza del problema

La naturaleza del problema en la presente investigación es de carácter aplicado, puesto que se orienta al análisis de la utilización de la inteligencia artificial en la gestión de riesgos en proyectos de ingeniería del sector petrolero, con implicaciones directas para la gerencia de proyectos en entornos de alta variabilidad. Se trata de una revisión orientada a comprender aplicaciones concretas documentadas en la literatura.

La investigación es de tipo documental, dado que se fundamenta en el análisis sistemático de información secundaria proveniente de artículos académicos, estudios previos y casos reportados. No corresponde a una investigación de campo experimental, puesto que no implica recolección de datos primarios ni implementación de modelos tecnológicos propios.

En cuanto a su alcance, el estudio es descriptivo porque busca identificar las principales tecnologías de inteligencia artificial aplicadas en la gestión de riesgos y sistematizar sus características; y es analítico porque examina sus aportes en los procesos de identificación y mitigación de riesgos, así como las diferencias frente a los enfoques tradicionales utilizados en el sector petrolero.

La investigación no contempla manipulación de variables ni comprobación experimental de ideas, sino el examen crítico y comparativo de información existente. En este sentido, el problema radica en la ausencia de una sistematización clara sobre cómo se ha aplicado la inteligencia artificial en la gestión de riesgos en proyectos de ingeniería petrolera y cuáles han sido sus principales contribuciones según la evidencia académica disponible.

Objetivos

Objetivo general

Caracterizar la aplicación de la inteligencia artificial en la gestión de riesgos en proyectos de ingeniería del sector petrolero, mediante la revisión de casos documentados en la literatura, identificando sus diferencias frente a los enfoques tradicionales.

Objetivos específicos

1. Analizar las principales tecnologías de inteligencia artificial aplicadas en la identificación y mitigación de riesgos en proyectos de ingeniería del sector petrolero, a partir de la literatura especializada.
2. Identificar las diferencias, ventajas y limitaciones entre la gestión de riesgos tradicional y la gestión de riesgos apoyada en tecnologías de inteligencia artificial en el sector petrolero.

Justificación de la investigación

La investigación aporta al campo de la gerencia de proyectos y al proponer una articulación entre la gestión de riesgos en proyectos de ingeniería, ampliamente sistematizada en la literatura, y la aplicación de tecnologías de inteligencia artificial, cuyo uso en entornos industriales del sector petrolero aún presenta oportunidades de desarrollo, documentación e integración. El PMI (2021) reconoce la necesidad de incorporar enfoques adaptativos y basados en datos dentro del ciclo de vida del proyecto; sin embargo, los marcos metodológicos existentes aún no ofrecen directrices consolidadas sobre cómo integrar tecnologías de inteligencia artificial en los procesos de gestión de riesgos del sector de hidrocarburos.

Con un sobre costo promedio del 18% y retrasos superiores a 2,5 años (Independent Project Analysis, 2020), y con pérdidas por interrupciones no planificadas estimadas en USD 50 mil millones anuales a nivel global, el sector enfrenta la necesidad urgente de adoptar mecanismos más predictivos mediante el uso de inteligencia artificial.

Las tecnologías basadas en inteligencia artificial pudiesen ser una oportunidad para mejorar la forma en que se gestionan los riesgos en proyectos de ingeniería del sector petrolero. Su capacidad para automatizar tareas, así como la identificación

temprana de riesgos reduce la dependencia de criterios y juicios de experto minimizando los errores humanos y permitiendo a los gerentes de proyectos enfocarse en la toma de decisiones estratégicas (Hossain et al., 2024).

Los proyectos en el sector Oil & Gas se caracterizan por su alta complejidad y por estar expuestos a muchas variables. Ante este escenario explorar y documentar la implementación de tecnologías que optimicen los procesos de gestión de riesgos no es solo conveniente sino necesario. La inteligencia artificial se presenta como una alternativa permitiendo automatizar tareas repetitivas, anticipar riesgos y apoyar la toma de decisiones con base en datos reales lo que puede transformar de forma importante la manera en que las organizaciones del sector identifican analizan y controlan sus riesgos (Santos et al., 2024).

El sector petrolero colombiano enfrenta condiciones que incrementan la incertidumbre y los costos operativos, especialmente en aspectos logísticos (Redacción CEIPA, 2025). En este contexto, la inteligencia artificial se plantea como una herramienta práctica para anticipar riesgos, mejorar la toma de decisiones en la gestión de proyectos y reflejar diferencias frente a los enfoques tradicionales.

El enfoque de revisión documental sistemática permite construir conocimiento a partir de la evidencia académica acumulada, minimizando el sesgo de selección y garantizando la trazabilidad de fuentes, la metodología empleada permite construir un estado del arte riguroso, que sirve como base para futuras investigaciones aplicadas en la gestión de riesgos mediante inteligencia artificial y su diferenciación frente a los enfoques tradicionales.

Antecedentes investigativos

En los últimos años, las tecnologías basadas en la inteligencia artificial se han incorporado como diferenciadores claves en las que las organizaciones implementan su uso de creciente relevancia manteniéndose así competitivas (Microsoft, 2024) en el desarrollo y gestión de proyectos. Diferentes investigaciones han analizado su aplicación en la optimización de procesos, la mejora en la toma de decisiones y de manera particular, en la gestión de riesgos en entornos altamente variables.

Por ejemplo, Waqar et al. (2023) analizaron el uso de modelos de machine learning en proyectos del sector Oil & Gas, encontrando que estas tecnologías permiten mejorar la capacidad de predicción de eventos críticos y fortalecer la toma de decisiones basada en datos. Los autores concluyen que la analítica avanzada facilita la identificación temprana de riesgos que, bajo enfoques tradicionales, podrían pasar desapercibidos.

De manera similar, Poh et al. (2018) estudiaron la gestión de riesgos en proyectos petroleros caracterizados por alta incertidumbre, evidenciando que los métodos convencionales, como matrices cualitativas y juicio experto, presentan limitaciones frente a la complejidad de estos entornos. Como resultado, proponen la incorporación de modelos cuantitativos y predictivos como complemento a las metodologías tradicionales. En esta misma línea, Negash et al. (2018) analizaron el impacto de la incertidumbre en proyectos de petróleo y gas, concluyendo que la variabilidad de factores económicos, técnicos y geopolíticos exige tecnologías más robustas para la gestión de riesgos. Sus resultados destacan la necesidad de integrar tecnologías que permitan procesar grandes volúmenes de información y mejorar la capacidad de anticipación.

Por otra parte, investigaciones más recientes han abordado aplicaciones específicas de inteligencia artificial en el sector. Por ejemplo, Zhang et al. (2021) desarrollaron un modelo basado en redes neuronales para la predicción de fallas en sistemas de producción de hidrocarburos, logrando altos niveles de precisión en la detección de eventos anómalos. Este tipo de aplicaciones demuestra el potencial de la IA

para reducir riesgos operacionales y mejorar la continuidad de los procesos. Se aplicaron algoritmos de machine learning como máquinas de soporte vectorial y árboles de decisión para analizar riesgos en sistemas de transporte de petróleo y gas, Sun et al. (2020). Los resultados mostraron que estos modelos permiten identificar patrones complejos en los datos y mejorar la evaluación de riesgos en comparación con métodos tradicionales.

Desde una perspectiva más amplia, Koroteev y Tekic (2021) analizaron la adopción de inteligencia artificial en la industria del petróleo y gas, concluyendo que, aunque muchas organizaciones aún se encuentran en etapas iniciales, la IA tiene un alto potencial para transformar la gestión de proyectos, especialmente en áreas como mantenimiento predictivo, optimización de operaciones y gestión de riesgos. En el contexto latinoamericano, algunos estudios han comenzado a explorar la implementación de estas tecnologías en proyectos energéticos. Por ejemplo, investigaciones recientes señalan que la inteligencia artificial puede contribuir a la optimización de recursos, la reducción de costos y la mejora en la eficiencia operativa, aunque su adopción aún es limitada en comparación con otros contextos internacionales. En conjunto, estos antecedentes evidencian que la inteligencia artificial ha sido aplicada en diferentes ámbitos del sector petrolero, mostrando resultados positivos en la predicción de fallas, la optimización de procesos y el fortalecimiento de la gestión de riesgos. Sin embargo, también se identifica que existe una falta de estudios que integren de forma ordenada estas aplicaciones específicamente en el contexto de la gestión de riesgos en proyectos de ingeniería, lo que justifica la pertinencia de la presente investigación.

Marco institucional

El desarrollo de proyectos de ingeniería en el sector petrolero en Colombia se encuentra regulado por un conjunto de entidades, normas y lineamientos que buscan garantizar la seguridad,

sostenibilidad y eficiencia en las operaciones. En este contexto, la gestión de riesgos y la incorporación de nuevas tecnologías como la inteligencia artificial deben alinearse con los marcos institucionales vigentes a nivel nacional e internacional. En Colombia, el sector de hidrocarburos está liderado por el Ministerio de Minas y Energía, entidad encargada de formular, adoptar y coordinar la política pública en materia de exploración, explotación, transporte y refinación de petróleo y gas. Este ministerio establece lineamientos generales que orientan la ejecución de proyectos energéticos, incluyendo aspectos relacionados con la gestión de riesgos, la seguridad industrial y la sostenibilidad.

Por su parte, la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) cumple un rol fundamental en la administración de los recursos hidrocarburíferos del país. Esta entidad regula y supervisa los contratos de exploración y producción, asegurando que las empresas operadoras cumplan con estándares técnicos, ambientales y operacionales. Dentro de sus funciones, se destaca la exigencia de prácticas adecuadas de gestión de riesgos en las diferentes fases de los proyectos.

En materia ambiental, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) es responsable de evaluar, otorgar y hacer seguimiento a las licencias ambientales requeridas para el desarrollo de proyectos del sector petrolero. Esta entidad exige la identificación, evaluación y mitigación de riesgos ambientales, lo cual se articula directamente con los procesos de gestión de riesgos en proyectos de ingeniería. Adicional, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establece la normativa ambiental que deben cumplir los proyectos del sector, incluyendo regulaciones relacionadas con el manejo de impactos, prevención de contingencias y protección de los recursos naturales.

En cuanto a la gestión de proyectos y riesgos, uno de los principales referentes internacionales es el Project Management Institute, el cual, a través de la guía PMBOK, establece buenas prácticas para la dirección de proyectos. Este marco incluye procesos

©Universidad Ean SNIES 2812 | Vigilada Mineducación | Personería Jurídica Res. n°. 2898 del Minjusticia - 16/05/69

específicos para la gestión de riesgos, tales como la identificación, análisis, planificación de respuestas y monitoreo, los cuales son ampliamente utilizados en proyectos del sector Oil & Gas. De igual forma, la norma International Organization for Standardization, particularmente la ISO 31000, proporciona principios y directrices para la gestión de riesgos aplicables a cualquier tipo de organización. Esta norma promueve un enfoque estructurado y sistemático para la identificación, análisis y tratamiento de riesgos, siendo un referente clave en entornos industriales complejos como el sector petrolero.

En el escenario de la gobernanza global de la inteligencia artificial, las Naciones Unidas (ONU) estableció un órgano asesor en IA para orientar su gobernanza a nivel internacional. La IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) es una organización técnica profesional dedicada al avance de la tecnología en beneficio de la humanidad. A través de su IEEE Standards Association (IEEE SA), es líder en abordar los retos de IA, su función principal es desarrollar normas y reunir estándares internacionales con el objetivo de fomentar la colaboración y promover el desarrollo responsable de la inteligencia artificial a nivel mundial. Siendo La IEEE responsable de la creación de una amplia cartera y portafolio de estándares globales relacionados con la inteligencia artificial.

La serie de normas IEEE 7000™ aborda consideraciones éticas y sociales en la IA y los sistemas autónomos, como la transparencia, la protección de datos, el sesgo algorítmico y la responsabilidad en su implementación.

En relación con la transformación digital y el uso de inteligencia artificial, Esto permite entender que Colombia ha avanzado en la formulación de estrategias nacionales. El Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) ha liderado iniciativas como la Política Nacional de Transformación Digital e Inteligencia Artificial, orientadas a fomentar la adopción de tecnologías emergentes en diferentes sectores productivos. Estas estrategias buscan fortalecer la competitividad del país mediante el uso

de datos, analítica avanzada e inteligencia artificial. De igual modo el Departamento Nacional de Planeación (DNP) ha desarrollado el documento CONPES 3975 de 2019, el cual establece la política nacional para la transformación digital e inteligencia artificial. Este documento define lineamientos para la adopción ética y estratégica de la IA, promoviendo su uso en la optimización de procesos, la toma de decisiones basada en datos y la innovación en sectores clave como el energético.

En el ámbito empresarial, compañías del sector como Ecopetrol han comenzado a desarrollar iniciativas de transformación digital, incorporando analítica de datos e inteligencia artificial en sus operaciones. Estas prácticas reflejan una tendencia hacia la modernización del sector, donde la gestión de riesgos puede beneficiarse del uso de tecnologías avanzadas. Empresas como Petrobras han incorporado proyectos de transformación digital basados en inteligencia artificial y ciencia de datos para optimizar el rendimiento de sus yacimientos y visualización de las reservas y redes de drenaje usando tecnologías como “realidad aumentada” y procesamiento en “la nube” (EFE News Service, 2022).

A nivel internacional, la industria del petróleo y gas ha puesto su atención en el avance de la inteligencia artificial para su incorporación para aumentar la eficiencia, incrementar la productividad, y reducir los costos del sector con tendencias cíclicas y paralelamente, se observa un crecimiento en la demanda de energía eléctrica asociado a la expansión de centros de datos necesarios para el funcionamiento de estas nuevas tecnologías y desarrollos digitales. Proyectándolas incluso a un incremento significativo del consumo energético a nivel global hacia el año 2050 (CE Noticias Financieras, 2025).

Marco teórico

“Análisis de la aplicación de inteligencia artificial en la gestión de riesgos en proyectos de ingeniería del sector petrolero y en qué se diferencia de los enfoques tradicionales”, este marco teórico será la base conceptual, teórica y empírica desde el que se analiza el problema de investigación. Que son las tecnologías basadas en inteligencia artificial, la gestión de riesgos en el sector Oil & Gas y en qué se diferencia gestionar riesgos con inteligencia artificial de hacerlo con métodos tradicionales.

El recorrido inicia de la inteligencia artificial como campo de estudio, tomando como base el enfoque de agentes racionales desarrollado por Russell y Norvig (2021) en Artificial Intelligence: A Modern Approach. Desde ahí se examina la gestión de riesgos como eje central de la dirección de proyectos, particularmente en entornos donde la incertidumbre es alta y es de las variables mas importantes del sector.

Posteriormente se analiza en lo que realmente es el eje para esta investigación: cómo se atraviesan la inteligencia artificial y la gestión de riesgos, y qué cambia cuando esto ocurre en el sector petrolero. Porque no es lo mismo aplicar inteligencia artificial en cualquier industria que hacerlo en una donde los márgenes de error y las variables son altas, los datos vienen de múltiples fuentes y las decisiones tienen consecuencias que se miden en millones.

También se abordan los impactos que ya están documentados. Algunos son muy dicientes, otros más difíciles de leer puesto que dependen mucho del contexto en que se midieron. Y se identifican las brechas dado que hay bastante investigación sobre herramientas específicas, pero poca que compare de manera ordenada los enfoques tradicionales con los basados en inteligencia artificial dentro de un mismo marco.

Ese es, al final, el aporte que este trabajo busca hacer. No resolver todo, sino llenar una parte de ese vacío con evidencia sistematizada.

Lo que cambió con la inteligencia artificial en el sector petrolero no fue solo que las cosas se hicieran más rápido. Fue que empezó a ser posible anticiparse sin que en el camino las variables fueran tan certeras en la cadena de suministros. Detectar una señal antes de que se convierta en fallo, cruzar datos de múltiples sin que deba hacerse manualmente, formar escenarios con información real y no solo con experiencia acumulada. Los métodos tradicionales tienen valor y el sector los conoce bien. Pero parte de ese tiempo que se invierte en tareas repetitivas y revisiones rutinarias puede ser liberado. La inteligencia artificial, bien entrenada, no piensa mejor que un experto, pero responde más rápido y en la gestión de riesgos en este sector da mejores resultados en menos tiempo.

La inteligencia artificial (IA)

La inteligencia artificial es un campo amplio y esto se ve desde su definición Russell y Norvig (2021), en su libro Artificial Intelligence: A Modern Approach es uno de los textos más citados con más de 59.000 referencias en Google Scholar y presencia en más de 1.500 universidades, y en aquel texto por medio de preguntas intentan encontrar una forma de poner orden las definiciones para entender la inteligencia artificial:

Pregunta uno ¿el sistema piensa o actúa?, pregunta dos ¿lo hace como humano o de forma racional? Y dependiendo de cómo se respondan, se llega a definiciones distintas. La ciencia cognitiva busca imitar el pensamiento humano. El test de Turing mide si una la inteligencia artificial logra comportarse de forma tan similar a un humano que no se pueda distinguir entre sí. La tradición lógica persigue que el razonamiento sea correcto. Y el enfoque que los autores defienden un agente racional, un sistema que toma la mejor decisión posible con lo que sabe en ese momento. No necesita razonar como una persona. Lo importante es que la decisión sea la mejor con los datos disponibles en ese momento. Para este estudio nos enfocaremos en esta definición puesto que la inteligencia

artificial no necesita imitar al gestor de proyectos ni imitar su juicio. Lo que hace la herramienta es procesar volúmenes de datos que ningún equipo humano podría revisar con esta velocidad, identificar patrones que no son evidentes a simple vista y anticipar eventos para la gestión de riesgos. No reemplaza el criterio; le da herramientas donde el criterio solo no alcanza.

Kaplan y Haenlein (2019) definen la inteligencia artificial desde una perspectiva un poco más práctica, es la capacidad de un sistema para interpretar datos, aprender de los mismos y usar ese aprendizaje para tomar mejores decisiones. Los autores lo dividen las definiciones en tres niveles que van de lo más pequeño a lo más grande:

- La inteligencia artificial estrecha o ANI es la que existe hoy y la que el sector petrolero implemento. Se llama así puesto que realiza una sola cosa y la hace bien, pero no más que eso. Ejemplo: Hay sistemas diseñados exclusivamente para monitorear las vibraciones de una turbina y anticipar cuándo puede fallar. Otros están entrenados solo para analizar imágenes sísmicas y detectar posibles yacimientos. Y otros revisan datos de producción para identificar caídas anómalas antes de que se conviertan en un riesgo mayor. Cada uno es muy bueno en lo suyo, pero el que cuida la turbina no sabe leer una imagen sísmica, y el que analiza producción no sabe hacer ninguna de las dos cosas anteriores. Así funciona la ANI: especializada, precisa y limitada al mismo tiempo.
- La inteligencia artificial general o AGI aprendería y resolvería cualquier tarea intelectual como un humano, sin importar el campo. Algo así como: Un sistema que hoy analiza datos sísmicos y mañana, sin ningún ajuste o enseñanza previa redacta un informe de riesgos o evalúa un contrato sería inteligencia artificial general. Esta aún no existe construir un sistema así requiere un nivel de comprensión del contexto que la tecnología actual no ha logrado.

- Y la superinteligente o ASI iría más lejos todavía que la general. No solo haría lo que hace un humano, sino que lo haría mejor, más rápido y en cualquier área, desde la medicina hasta la ingeniería de petróleos. Por ahora es más debate que realidad cercana.

Para esta investigación lo relevante es que todo lo que se aplica hoy en el sector petrolero cae dentro de la inteligencia artificial estrecha o ANI. Los modelos predictivos, la detección de anomalías, la clasificación de riesgos, todos son ANI. Saberlo no limita el análisis, sino que lo ubica correctamente: estamos hablando de herramientas reales, operativas y con resultados documentados, no de promesas tecnológicas a futuro.

Dentro del machine learning hay tres formas de aprender y cada una tiene un uso distinto en el sector, las tres formas son distintas pero complementarias y las tres tienen lugar en el sector de hidrocarburos. Russell y Norvig (2021) lo explican así:

- Aprendizaje supervisado: trabaja con datos que ya tienen respuesta conocida. Aprende de lo que pasó previamente para predecir lo que puede suceder. Siendo útil para la gestión de riesgos, el modelo ya sabe cómo se ve un resultado y trabaja desde allí.
- Aprendizaje no supervisado: no tiene respuestas previas este busca patrones en datos sin clasificación, lo que lo hace valioso cuando no se tienen datos históricos suficientes o cuando no se sabe exactamente qué anomalía está presentando.
- Aprendizaje por refuerzo: aprende haciendo. Toma decisiones, mide si funcionaron y ajusta la siguiente vez. Sus aplicaciones en el sector todavía están desarrollándose pero ya empiezan a verse en optimización de perforación y gestión de yacimientos.

El deep learning va un paso más allá dentro de ese mismo espectro. Usa redes neuronales con múltiples capas y ha mostrado resultados muy buenos reconociendo

patrones complejos en grandes volúmenes de datos. Las redes convolucionales (tecnología que permite a las computadoras "ver" y entender imágenes) procesan datos espaciales como imágenes sísmicas. Las recurrentes y su variante LSTM analizan datos en secuencia, como lecturas de sensores o historiales de producción. Para el sector petrolero eso es relevante porque sus datos vienen de muchas fuentes al mismo tiempo, sensores del fondo del pozo, registros sísmicos, condiciones meteorológicas, permitiendo gestión simultánea en tiempo real.

Gestión de riesgos en proyectos

La gestión de riesgos no siempre inicio con este nivel de formalidad dentro de un proyecto, durante siglos era “sentido común”, tiempo después cuando los proyectos comenzaron a crecer y los errores no aportaban experiencia sino dinero perdido, la intuición dejó de ser suficiente y aparecieron las primeras metodologías formales, luego esos esquemas inflexibles se fueron quedando cortos cuando la realidad cambiaba más rápido que cualquier plan elaborado, y fue ahí donde nacieron metodologías ágiles, estas metodologías ofrecen mas flexibilidad al cambiar con las variables que vienen en el camino del proyecto y no se previeron al iniciar el proyecto, Ese proceso de evolución quedo plasmado cuando la PMI, organización que es un referente global para quienes lideran proyectos, lo reconoció de forma explícita y publicó la séptima edición del PMBOK Guide (2021) Una guía y manual producto de la PMI. En el que abandonó un modelo de 49 procesos y lo reemplazó por 12 principios y 8 dominios de desempeño. En la actualidad con herramientas basadas en inteligencia artificial y datos que hace unos años nadie hubiera creído usar de manera tan rápida y precisa, anticiparse ya no depende únicamente de la experiencia de quienes están al frente o el juicio experto sino de la capacidad de procesar e interpretar información. El sector petrolero es un buen ejemplo de exactamente ese problema, sus proyectos cargan con variables que otros sectores no enfrentan: precios del crudo que suben y bajan, condiciones geológicas y logísticas que

aparecen y regulaciones que varían según el país y el momento. Un equipo de trabajo, por más experimentado que sea no logra atender todo esto al mismo tiempo sin olvidar algo en el proceso. Las herramientas de inteligencia artificial emergentes resuelven exactamente eso, devolviéndole al experto lo que más necesita: piso firme para tomar decisiones sin ahogarse en el volumen de información. Y en gestión de riesgos eso cambia todo, porque el problema histórico no ha sido la falta de juicio experto sino la falta de tiempo y datos suficientes para usarlos bien. Las herramientas de inteligencia artificial emergentes resuelven exactamente eso, un experto con criterio y piso firme para tomar decisiones. El sector petrolero es un buen ejemplo de exactamente ese problema, sus proyectos cargan con variables que otros sectores no enfrentan: presiones de yacimiento, precios del crudo que suben y bajan, condiciones geológicas y logísticas que aparecen y regulaciones que varían según el país y el momento. Un equipo de trabajo, por más experimentado que sea no logra atender todo esto al mismo tiempo sin olvidar algo en el proceso. Las herramientas de inteligencia artificial emergentes resuelven exactamente eso, devolviéndole al experto lo que más necesita: piso firme para tomar decisiones sin ahogarse en el volumen de información.

Hillson y Simon (2020) con la metodología ATOM proponen algo distinto, parten de una crítica honesta a modelos inflexibles que aun dominan la práctica, específicamente a la matriz de probabilidad e impacto herramientas visuales en las que se plantean preguntas como: ¿Qué tan probable es que algo malo pase? ¿Qué tan grave sería si pasa?, este modelo es inflexible y si bien ordenan los riesgos y problemas en urgencias y el como atenderlos, en nuestra experiencia hemos visto esto de cerca en el sector de hidrocarburos donde por ganar contratos licitan con precios sin viabilidad real y una vez adjudicado el proyecto sobre la marcha las decisiones se van tomando, el mercado cambia, la logística falla, los costos se disparan, aunque lo habían previsto formalmente y el juicio experto existe se esfuerzan en ir apagando incendios, y ese ciclo sin fecha de

cierre que ATOM propone en identificar evaluar planificar implementar y volver a revisar siempre es exactamente lo que el PMBOK también reconoce cuando en la evaluación continua insiste, siendo además el tipo de problema donde un sistema de inteligencia artificial tiene más para ofrecer porque sin esperar a que alguien lo recuerde monitorea aprende, ordena y el perfil de riesgo se actualiza.

Hillson y Simon (2020) proponen algo distinto con la metodología ATOM. Su punto de partida es una crítica a las matrices de probabilidad e impacto que todavía dominan la práctica en muchas organizaciones. No es que esas matrices estén mal, es que son estáticas y la realidad de los proyectos y la gestión de riesgos no lo es. ATOM propone un ciclo que se retroalimenta: identificar, evaluar, planificar respuestas, implementar y volver a revisar. Sin fecha de cierre, sin archivar el resultado. Los autores son bastante directos en ese punto y es algo que resonó con nosotros y en nuestra propia experiencia, la gestión de riesgos estática y que se hace una sola vez al inicio del proyecto y después nadie vuelve a mirar no gestiona nada. Es un documento y uno que no aporta y el propio PMBOK lo reconoce cuando insiste en que la evaluación debe ser continua, no puntual. Lo que propone ATOM es más cercano a lo que hace un sistema de inteligencia artificial bien entrenado: monitorear, aprender de los datos nuevos y actualizar el perfil de riesgo sin esperar a que alguien lo recuerde.

Serpella et al. (2014) en su enfoque del sector de construcción en Chile.

Estudiaron por qué la gestión de riesgos falla en la práctica y encontraron tres razones recurrentes: organizaciones que culturalmente no priorizan el riesgo, conocimiento que se queda en la cabeza de una sola persona y nunca se sistematiza, y controles que existen formalmente pero que nadie aplica en realidad. Eso no es un problema exclusivo de este sector y ubicación. Es un patrón que se repite en sectores donde la presión operativa es alta y la gestión del riesgo termina siendo lo que se hace cuando hay tiempo, que casi nunca es suficiente.

Inteligencia artificial aplicada a la gestión de proyectos

La inteligencia artificial llegó a la gestión de proyectos en el momento muy oportuno, los métodos tradicionales empezaban a quedarse cortos frente a proyectos que cambian rápido y no dan espera, tenerla disponible y no usarla a favor sería como tener la información y elegir no leerla a favor. Según el PMI (2019), el 81% de los profesionales de proyectos encuestados a nivel global reportaron que las tecnologías de inteligencia artificial han tenido un impacto real en sus organizaciones, y se proyecta que para 2030 la inteligencia artificial podría hacerse cargo en cierta medida de el 80% de la carga de trabajo asociada a tareas tradicionales de gestión de proyectos. Eso no significa que el gestor de proyectos vaya a desaparecer, significa que su trabajo va a evolucionar y en nuestra opinión será favorable porque mientras la inteligencia artificial se encarga de recopilar datos, plasmar y hacer seguimiento de cronogramas, detectar desviaciones y elaborar informes, el profesional humano puede enfocarse en lo que realmente requiere criterio: el liderazgo estratégico, la negociación con stakeholders, la gestión de conflictos y las decisiones complejas que ningún modelo debería tomar solo porque justo acá es donde si se requiere juicio ético, experto y lectura del contexto, algo que los datos por sí solos no suplen.

Fridgeirsson et al. (2021) encontraron en su estudio las áreas del PMBOK donde la inteligencia artificial tiene mayor potencial, y tres sobresalen: estimación de costos, planificación del cronograma y gestión de riesgos. Las Support Vector Machines que identifican patrones para clasificar riesgos y los modelos de Random Forest que predicen resultados combinando cientos de decisiones a la vez, lideran las aplicaciones de clasificación y predicción. Las redes neuronales se usan en la estimación de esfuerzo y los modelos de lenguaje natural empiezan a usarse para analizar lecciones aprendidas.

Las redes neuronales es decir los sistemas de aprendizaje automático que logran identificar patrones en datos históricos de proyectos anteriores para estimar tiempos,

costos, riesgos y recursos, que básicamente aprenden de lo que ya pasó para anticipar lo que puede venir, se usan cada vez más en la estimación de recursos, y los modelos de lenguaje natural (algoritmos capaces de leer, interpretar y extraer conclusiones de grandes volúmenes de texto no estructurados como lo que hace chat gpt, claude y otras, que pueden revisar en minutos los documentos de lecciones aprendidas, empiezan a encontrar su lugar en la gestión del de proyectos. La inteligencia artificial rinde más donde la incertidumbre y el volumen de datos son más altos, que es exactamente donde los métodos tradicionales basados en juicio experto muestran sus mayores limitantes

Bento et al. (2024) desarrollaron uno de los análisis bibliométricos más amplios sobre inteligencia artificial y gestión de proyectos, y su hallazgo más relevante para este trabajo es: "risk assessment" o evaluación de riesgos, fue el término con más coincidencias en toda la literatura analizada, lo que confirma que la gestión de riesgos es uno de los eje centrales del campo. Pero los mismos autores y nuestra consulta dejan ver que aunque la gestión de riesgos es uno de los temas que más aparecen en la literatura sobre inteligencia artificial y proyectos, la investigación continua siendo dispersa y cuando se trata de proponer ambientes que realmente integren las capacidades de la inteligencia artificial con los procesos establecidos de gestión de riesgos. Es una brecha que la literatura académica aún no ha cerrado, pues hasta ahora los estudios describen el potencial pero pocos han dado el paso de probarlo mas alla de lo empírico o de construir modelos que funcionen en la práctica real de los proyectos. Se escribe mucho sobre el tema y sus posibles beneficios, pero se plasma muy poco, y esa brecha entre lo que se discute y lo que se construye de manera estructurada es precisamente el espacio que esta investigación busca ocupar esta investigación nace justamente de esa brecha, de haber estado en proyectos en el sector petrolero donde la información existía pero nadie la estaba usando para anticiparse.

Inteligencia artificial en el sector petrolero

El sector petrolero es quizás uno de los entornos industriales más exigentes y al mismo tiempo más prometedores para aplicar inteligencia artificial, no porque sea fácil hacerlo sino porque las condiciones que lo hacen variable son exactamente las mismas que pueden suplirse con estas herramientas. Operaciones en geografías hostiles, proyectos que se miden en décadas, cadenas de valor que dependen unas de otras y una exposición constante a riesgos que vienen de todos lados, técnicos, financieros, ambientales y geopolíticos, en nuestra experiencia es común encontrar sociedades con años de datos almacenados que nunca fueron analizados a profundidad, entregas que se repitieron con los mismos errores porque nadie revisó lo que pasó antes, empresas que cayeron en medidas cautelares cuyos informes quedaron archivados o en investigación sin que nadie los usara para prevenir, tareas repetitivas que consumen tiempo y recursos precisamente porque los datos que podrían automatizarlas existen pero nadie los está leyendo. Y es justo acá, en ese volumen de datos que ningún equipo humano puede procesar a tiempo, que la inteligencia artificial tiene algo concreto para ofrecer tomar toda esa información que las organizaciones acumulan sin analizar y convertirla en algo que sirva para decidir con anticipación y no cuando el riesgo ya sucedió.

Waqar et al. (2023) en la revisión sistemática más citada sobre el tema evaluaron 115 artículos publicados entre 2011 y 2022 y lo que muestran sobre inteligencia artificial en proyectos petroleros es que no solo ha crecido sino que después de 2016 se disparó de forma notable justo cuando el deep learning se consolidó y la computación en la nube dejó de ser costosa para la mayoría de las organizaciones, y las aplicaciones que más aparecen en la literatura cubren toda la cadena de valor, el machine learning optimizando parámetros de perforación reduce la probabilidad de errores técnicos, las redes neuronales en mantenimiento predictivo convierten fallas que antes sorprendían en eventos anticipables, el deep learning interpretando datos

sísmicos reduce la incertidumbre geológica antes de que el presupuesto esté comprometido, y la analítica de big data en tiempo real da al responsable la oportunidad de hacer algo con la información. Lo que autores y este trabajo dejan en evidencia es que la inteligencia artificial no solo mejora la eficiencia operativa sino que cambia la capacidad de las organizaciones para anticiparse a los eventos y riesgos.

El campo de la inteligencia artificial en el sector petrolero crece según los datos de Lima et al. (2025) identificaron 11.296 artículos en Scopus y hay un crecimiento promedio del 15% anual entre 2015 y 2024, los términos que dominan la literatura académica según este análisis bibliométrico son, "digital twin" o gemelo digital, "predictive maintenance" o mantenimiento predictivo, "deep reinforcement learning" o aprendizaje por refuerzo profundo, y "explainable AI" o inteligencia artificial explicable, son términos que representan una necesidad concreta que el sector y juntos dibujan un campo que dejó de hablar de promesas para empezar a hablar de implementación. Sin embargo uno de los obstáculos que aparecen cuando se habla de adoptar modelos de inteligencia artificial es que los algoritmos no explican o muestran su "propio razonamiento" y sería un error confiar en una predicción que no se puede justificar se necesita gestionar el riesgo y no solo delegarlo sin entenderlo. y en el sector petrolero y otros, es un problema a solucionar, se debe innovar una estrategia que haga que quien es el responsable de tomar decisiones pueda leer, interpretar y cuestionar porque si la predicción no se puede cuestionar o revisar no es una herramienta útil sino un riesgo peor que los que se esperan mitigar, así que la academia tiene pendiente: registrar y estudiar dónde y cómo corregir este camino antes de que la adopción de estos modelos avance más rápido que la capacidad de entenderlos y cuestionarlos.

En nuestra experiencia una de las barreras en el sector no es técnica sino cultural las organizaciones que más se detienen ante la adopción de inteligencia artificial no lo

hacen porque la tecnología no dé resultados sino porque temen que su integración sea lenta y que durante ese proceso los métodos tradicionales que ya dominan y que ya generan resultados inmediatos se vean más seguros es el miedo al cambio disfrazado de prudencia financiera. D'Almeida et al. (2022) revisaron en detalle las técnicas de inteligencia artificial aplicadas en operaciones de perforación y producción y usaron redes neuronales para predecir la tasa de penetración modelos de regresión para estimar presión de poro y sistemas difusos para detectar anomalías de fondo de pozo y en en producción herramientas que optimizan como se completan los pozos, estiman cuánto petróleo se puede recuperar y analizan que tan confiables son los equipos en superficie para analizar que tan útiles están siendo los equipos de superficie herramientas que ya están disponibles y que ya rinden pero que muchas organizaciones no adoptan no porque no sepan de ellas sino porque integrarlas pide cambios organizacionales y culturales que muchas veces implican más esfuerzo que la tecnología misma.

En el sector petrolero los datos varían de campo en campo y eso hace que adaptarse a un solo modelo de inteligencia artificial no siempre salga bien porque la naturaleza, el contexto y la calidad de lo que se recoge varía bastante dependiendo del campo donde se opere, entonces combinar varios modelos en lugar de uno solo tiene más sentido y es exactamente lo que Zhang et al. (2025) proponen en su método de mantenimiento predictivo donde la combinación de modelos es la respuesta. tipos de equipos y condiciones de operación. El método fue validado en el campo Shengli en China y lo que demostró es que combinar modelos especializados mejora tanto la precisión como la robustez de las predicciones. Predecir fallas de equipos con semanas de anticipación convierte lo que antes era una incertidumbre no gestionable en un evento anticipable con respuestas ya planificadas, que en términos de gestión de riesgos es exactamente la diferencia entre reaccionar y anticiparse.

Una grieta en una tubería de gas natural no aparece de un momento a otro sino que se va formando en el tiempo y detectarla antes es exactamente lo que separa una operación que gestiona sus riesgos de una que solo los atiende en la urgencia, en términos prácticos una predicción con 99,37% de precisión significa que de cada 100 fallas o para el ejemplo grietas, el modelo detecta 99 antes de que ocurran lo que convierte una emergencia en una pausa programada. Azmi et al. (2024) llegaron a ese número comparando distintas arquitecturas de modelos predictivos en campos reales y lo que encontraron es que los modelos híbridos que combinan procesamiento espacial con procesamiento temporal funcionan mejor que cualquier modelo tradicional precisamente porque las fallas en infraestructura petrolera no llegan de golpe sino que se desarrollan en espacio, condiciones y tiempo estos modelos emergentes hacen exactamente eso mejor que cualquier método tradicional.

Una de las aplicaciones más ambiciosa es tener una réplica virtual completa del equipo o infraestructura que se alimenta de datos en tiempo real y simula lo que está pasando y lo que puede pasar antes de que pase en el mundo real eso es lo que hacen los gemelos digitales y en el sector petrolero sería simular como se va a comportar un yacimiento bajo distintos escenarios o monitorear la integridad de un ducto sin mandar a nadie a revisarlo físicamente lo cual en campos hostiles sería una ventaja operativa real sin embargo el problema que señalan Tugay et al. (2024) luego de analizar 98 estudios sobre el tema es que todavía no existe un estándar claro para desarrollarlos es una barrera práctica que hace que cada organización construya el suyo de forma distinta dificultando que se adopten de manera generalizada especialmente en la gestión de riesgos donde la consistencia de los modelos importa tanto como la precisión.

En Colombia la historia tiene su propio camino y no todas las empresas están en el mismo punto del camino. Ecopetrol como la operadora nacional más grande del país se ha puesto al frente de la adopción de herramientas con inteligencia artificial lo ha hecho

con datos sísmicos y geológicos en los Llanos Orientales y la Cuenca del Valle Superior del Magdalena mientras que ESP Energy Group ya tiene números concretos sobre la mesa: 30% de mejora en eficiencia operativa 20% de reducción en costos de producción 40% de incremento en la tasa de éxito identificando sitios de perforación y 15% menos de incidentes operativos (Oil Channel 2024). La ACP (2024) describe una industria en este país aun está encontrando su ritmo en esta transición con primeras aplicaciones en pozos inteligentes y optimización de producción basada en análisis predictivo lo que sugiere que el potencial está identificado pero el camino hacia una integración aún está por recorrerse.

Impactos documentados de la inteligencia artificial

Market Research Future (2024) documenta que las tecnologías de inteligencia artificial han contribuido a reducir el tiempo de inactividad no planificada hasta en un 25 % y a mejorar las tasas de éxito en exploración en un 17 %. Según nuestra experiencia en el sector petrolero esos porcentajes pueden ser comparados así: un pare en operación no planificado o una exploración fallida pueden costar desde millones hasta cientos de millones de dólares buscar un ahorro económico y evitar los riesgos que no se materializaron y un proyecto que siguió adelante, en nuestra opinión las mejoras que parecen menores en papel se sienten de verdad cuando un proyecto no se cae por un riesgo que nadie anticipó o cuando la viabilidad financiera de una operación entera no queda comprometida por algo que con mejores herramientas se pudo haber visto venir.

Independent Project Analysis (2020) da los siguientes datos sobre los proyectos en Oil & Gas y mencionan que los sobrecostos son en promedio del 18 % y que tienen retrasos superiores a 2,5 años, con pérdidas por interrupciones no planificadas estimadas en USD 50 mil millones anuales a nivel global y cuando el promedio del sector muestra estos números el problema no es de casos aislados sino de algo que está mal en la forma en que se gestiona el riesgo desde adentro. Si los métodos convencionales de gestión de

riesgos matrices de probabilidad impacto, registros históricos fueran suficientes, estos niveles de desviación no serían lo usual. Eso apoya la idea de que se requieren tecnologías complementarias basadas en inteligencia artificial, que puedan procesar información que los métodos tradicionales están dejando de lado.

Allied Market Research (2021) valoró el mercado global de inteligencia artificial en petróleo y gas en USD 2,32 mil millones para 2021, con una proyección de alcanzar USD 7,99 mil millones para 2031, a una tasa de crecimiento anual compuesta del 13,5 %. Este crecimiento sostenido refleja que la inversión en inteligencia artificial por parte de las compañías petroleras está pasando de ser experimental a estratégica y las organizaciones están asignando recursos. Un estudio de Accenture (2019) estimó que la inteligencia artificial podría generar ahorros de USD 18 mil millones anuales en el sector petrolero mediante mejoras en seguridad operativa, mientras que McKinsey & Company señala que la implementación de inteligencia artificial en gestión de riesgos puede reducir hasta un 30 % el tiempo dedicado a tareas repetitivas de monitoreo y reporte. Con menos horas en tareas repetitivas, los profesionales pueden concentrarse y evolucionar en el análisis estratégico, la evaluación y respuesta de escenarios complejos y la toma de decisiones que requieren criterio humano, lo cual mejora la calidad integral de la gestión de riesgos.

Brechas de investigación identificadas

A pesar de que crece la literatura académica sobre inteligencia artificial y su implementación en el sector petrolero, todavía existen brechas y vacíos importantes que justifican por qué este estudio es relevante, refleja el camino por recorrer y el por qué no se ha implementado del todo estas tecnologías emergentes basadas en inteligencia artificial. Estas brechas afectan directamente cómo la inteligencia artificial se integra en el sector como herramienta para gestionar proyectos y riesgos.

La brecha inicial identificada en este estudio es metodológica. Waqar et al. (2023) concluye que aunque hay avances en la aplicación de inteligencia artificial en proyectos de Oil & Gas, aún hay desafíos como la calidad de los datos operativos y su consistencia, la manera en la que se entrenaran los modelos y que estos sean confiables, y las soluciones que funcionan en la virtualidad no siempre funcionan en la realidad. No existe un marco metodológico claro que guíe la implementación y validación de tecnologías de inteligencia artificial para gestionar riesgos y proyectos específicos. Sin estas reglas, las organizaciones no saben qué tecnología de inteligencia artificial usar para cada tipo de riesgo, ni en qué momento del proyecto aplicarla.

La segunda brecha es de integración. Bento et al. (2024) señalo que la literatura sobre inteligencia artificial en gestión de proyectos tiende a enfocarse en soluciones dispersas, un algoritmo que predice costos, otro que detecta anomalías, otro que optimiza el cronograma y tiempos. Pero cuando se trata de conectar estas capacidades con los procesos reales de gestión de riesgos (como PMBOK, ISO 31000 o ATOM), la investigación está dispersa. Lo que la tecnología puede hacer y lo que realmente esta siendo usado en la práctica aún no coinciden.

La tercera brecha es normativa. El PMI (2021) reconoce en el PMBOK séptima edición la importancia de enfoques adaptativos y basados en datos, pero no explica cómo integrar inteligencia artificial en los procesos de gestión de proyectos y de riesgos. La ISO 31000:2018 dice que la gestión de riesgos debe basarse en la mejor información disponible, pero no orientan sobre cómo la inteligencia artificial puede mejorar esa información. Y ATOM, aunque usa un enfoque iterativo compatible con inteligencia artificial, fue diseñada antes del machine learning masivo. Esta falta de directrices normativas frena la adopción y deja a las organizaciones sin un marco para evaluar qué tan bien funcionan sus implementaciones de inteligencia artificial.

La cuarta brecha es geográfica y contextual. Los estudios se concentran en América del Norte, Europa y Medio Oriente. En Colombia, aunque Ecopetrol y empresas como ESP Energy Group han avanzado en integrar la inteligencia artificial, no hay evidencia clara sobre el impacto real de estas tecnologías en la gestión de riesgos y de proyectos petroleros colombianos. El contexto regulatorio (ANH, Decreto 1073), las condiciones geológicas (Llanos Orientales, Cuenca del Magdalena) y las características de la industria colombiana crean un escenario que no es igual al de otras regiones.

La quinta brecha es de estandarización tecnológica. A pesar de los avances en gemelos digitales, no existe un estándar claro para desarrollarlos en Oil & Gas y muchos profesionales del sector no los conocen bien. Esta brecha importa porque los gemelos digitales son la forma más avanzada de conectar linteligencia artificial con operaciones, y sin un estándar no se pueden adoptar sistemáticamente como herramientas de gestión de riesgos. La presente investigación busca sistematizar la evidencia publicada de forma académica e identificar oportunidades reales para integrar las herramientas emergentes de inteligencia artificial en la gestión de riesgos de proyectos del sector petrolero.

De igual forma, aborda los fundamentos teóricos de la inteligencia artificial y machine learning, así como los principios de gestión de riesgos según estándares internacionales, y cómo integrar todo esto en entornos variables como los proyectos del sector de hidrocarburos.

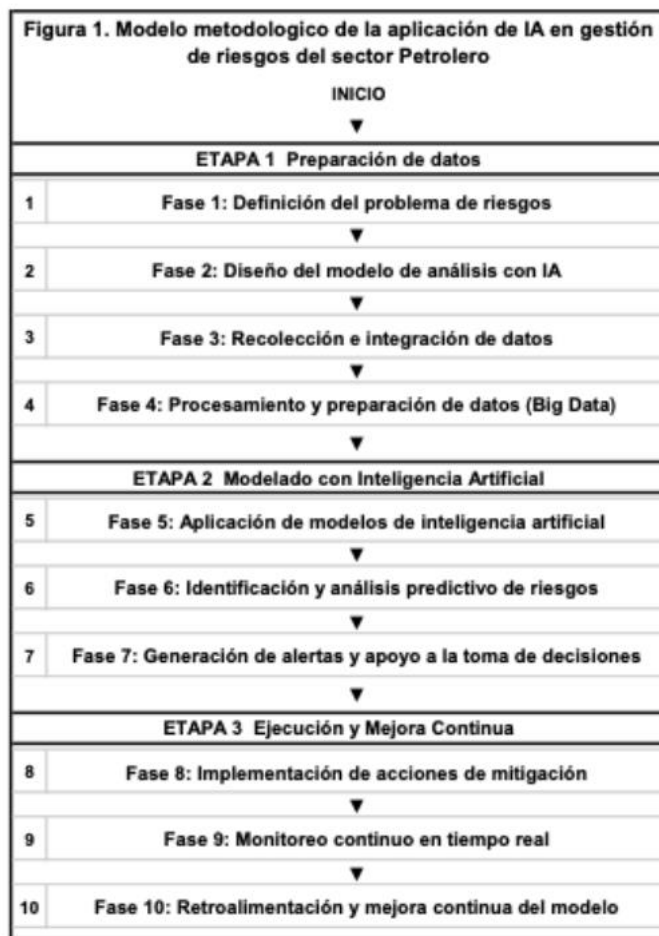
Tabla comparativa: Gestión de riesgos tradicional y Gestión de riesgos con inteligencia artificial

	Aspecto	Tradicional	Con IA
Enfoque general	Enfoque	Predictivo y basado solo en experiencia	Predictivo y basado en datos
	Tipo de análisis	Cualitativo y semi-cuantitativo	Cuantitativo avanzado (ML, Big Data)

	Fuente de conocimiento	Expertos y lecciones aprendidas	Datos históricos + aprendizaje automático
Identificación de riesgos	Método	Lluvia de ideas, entrevistas, checklists	Detección automática en grandes volúmenes de datos
	Cobertura	Limitada a experiencia humana	Amplia (patrones ocultos en datos)
	Velocidad	Lenta	Alta (procesamiento veloz y masivo en tiempo real)
Análisis de riesgos	Evaluación	Probabilidad e impacto subjetivo	Modelos predictivos y simulaciones
	Precisión	Media (depende del juicio experto)	Alta (basada en datos reales y juicio experto)
	Herramientas	Matriz de riesgos	Machine Learning, simulaciones Monte Carlo
Respuesta al riesgo	Acción	Definida manualmente	Recomendaciones automatizadas (Sin procesos claros)
	Tiempo de respuesta	Lento	Rápido
	Adaptabilidad	Media	Alta (aprendizaje continuo)
Monitoreo y control	Seguimiento	Periódico	Continuo (streaming de datos)
	Alertas	Manuales o por matriz	Alertas automáticas inteligentes
	visibilidad	Limitada	Dashboards en tiempo real
Toma de decisiones	Base	Intuición + experiencia	Modelos predictivos
	Incertidumbre	Media	Media / Baja
	Soporte	Humano	Sistemas inteligentes con herramientas de inteligencia artificial.
Mejora continua	Evolución	Media (lecciones aprendidas)	Rápida (aprendizaje automático)
	Retroalimentación	Manual	Automática (feedback loop)

Nota: Elaboración propia con base en literatura sobre gestión de riesgos e inteligencia artificial (PMI, 2021; Russell & Norvig, 2021).

Modelo metodológico de aplicación de inteligencia artificial en la gestión de riesgos



Nota: Modelo metodológico propuesto para la aplicación de inteligencia artificial en la gestión de riesgos en proyectos de ingeniería. Elaboración propia.

Diseño metodológico

Esta investigación es cualitativa, orientada a entender, analizar e interpretar información proveniente de fuentes documentales y bibliográficas académicas relacionadas con la aplicación de la inteligencia artificial en la gestión de riesgos en proyectos de ingeniería del sector petrolero y en qué medida estos enfoques difieren de las metodologías tradicionales. Este enfoque permite comprender las características,

aportes y limitaciones de dichas herramientas emergentes queriendo lograr así una comprensión y análisis a partir de la evidencia existente en la literatura, experiencias y evidencia reportadas.

Tipo de investigación

La investigación es de tipo documental, ya que se basa en revisar y analizar de información secundaria proveniente de artículos científicos, informes técnicos, documentos institucionales y literatura especializada del sector Oil & Gas. No se van a recoger datos primarios ni la aplicación de instrumentos de campo.

Por otra parte, el estudio tiene un alcance descriptivo y analítico. Es descriptivo porque identifica herramientas tecnológicas como la inteligencia artificial utilizadas en la gestión de riesgos, y es analítico porque examina sus aportes y diferencias frente a los enfoques tradicionales.

Método de investigación

Se emplea el método de revisión documental sistemática, que permite revisar de forma estructurada la información disponible sobre el tema de estudio. Este método facilita la identificación de patrones, tendencias y vacíos en la literatura, así como el de seguir construyendo una visión clara del estado actual del tema.

La revisión se orienta a responder la pregunta de investigación mediante la comparación de diferentes estudios que abordan la aplicación de inteligencia artificial en el sector petrolero, especialmente en procesos relacionados con la gestión de riesgos.

Fuentes de información

La información será recolectada a partir de fuentes secundarias confiables, entre las cuales se incluyen:

- Artículos científicos indexados en las bases de datos de la universidad EAN:
Scopus
- Informes del sector Oil & Gas

- Documentos de organismos internacionales y publicaciones del sector energético
- Publicaciones académicas relacionadas con gestión de proyectos, gestión de riesgos e inteligencia artificial

Técnicas de recolección de información

La técnica principal es la revisión bibliográfica, con la que se seleccionaron y analizaron documentos relevantes para la investigación.

Los criterios de búsqueda fueron:

- Palabras clave: inteligencia artificial, machine learning, gerencia de proyectos, gestión de riesgos, Oil & Gas, proyectos de ingeniería
- Idioma: español e inglés
- Relevancia temática y calidad de la fuente
- Relación directa con el problema de investigación

Técnicas de análisis de la información

La técnica principal es la revisión bibliográfica sistemática, contemplada con el análisis bibliométrico y análisis de contenidos sobre literatura recuperada. Esta combinación permite tres niveles de aproximación objeto de estudio. Este análisis se desarrollará a partir de categorías previamente definidas, tales como:

- Identificación cuantitativa de la producción académica sobre inteligencia artificial aplicada a gestión de riesgos en Oil & Gas (volumen de publicaciones, evolución temporal, autores y revistas más citadas).
- Caracterización cualitativa de las herramientas, técnicas y enfoque reportados (machine learning supervisado, Deep learning entre otros)
- Tipo de herramienta de inteligencia artificial utilizada

- Fase de la gestión de riesgos en la que se aplica
- Tipo de riesgo abordado (operacional, financiero, ambiental, etc.)
- Principales resultados o aportes reportados
- Limitaciones identificadas en cada estudio

Posteriormente, se realizará una comparación entre los enfoques tradicionales y los enfoques basados en inteligencia artificial, para identificar diferencias, ventajas y oportunidades de mejora.

Relación con los objetivos de investigación

El diseño responde directamente a los dos objetivos del trabajo planteados de la siguiente manera:

- **Objetivo 1:** Se logra a través de la identificación de herramientas de inteligencia artificial a partir de la revisión de la literatura.
- **Objetivo 2:** Se responde comparando entre enfoques tradicionales y enfoques basados en inteligencia artificial.

Instrumentos de recolección documental

En lugar de instrumentos físicos o de medición, los instrumentos del estudio corresponden a protocolos y matrices documentales empleados para garantizar la trazabilidad y la replicabilidad.

Protocolo de búsqueda: con cadenas booleanas predefinidas ejemplo “artificial intelligence” AND “risk management” AND “oil and gas” OR “petroleum”, aplicado a Scopus, web of science, ScienceDirect, IEEE Xplore y OnePetro.

Criterios de inclusión y exclusión: Artículos publicados entre el 2015 y el 2026, en inglés o español, con texto completo disponible, indexados en bases reconocidas y con

©Universidad Ean SNIES 2812 | Vigilada Mineducación | Personería Jurídica Res. n°. 2898 del Minjusticia - 16/05/69

relación directa con gestión de riesgos en proyectos de ingeniería en el sector petrolero.

Se excluyen editoriales, comunicaciones cortas, literatura gris no verificada y estudios fuera del del sector de hidrocarburos.

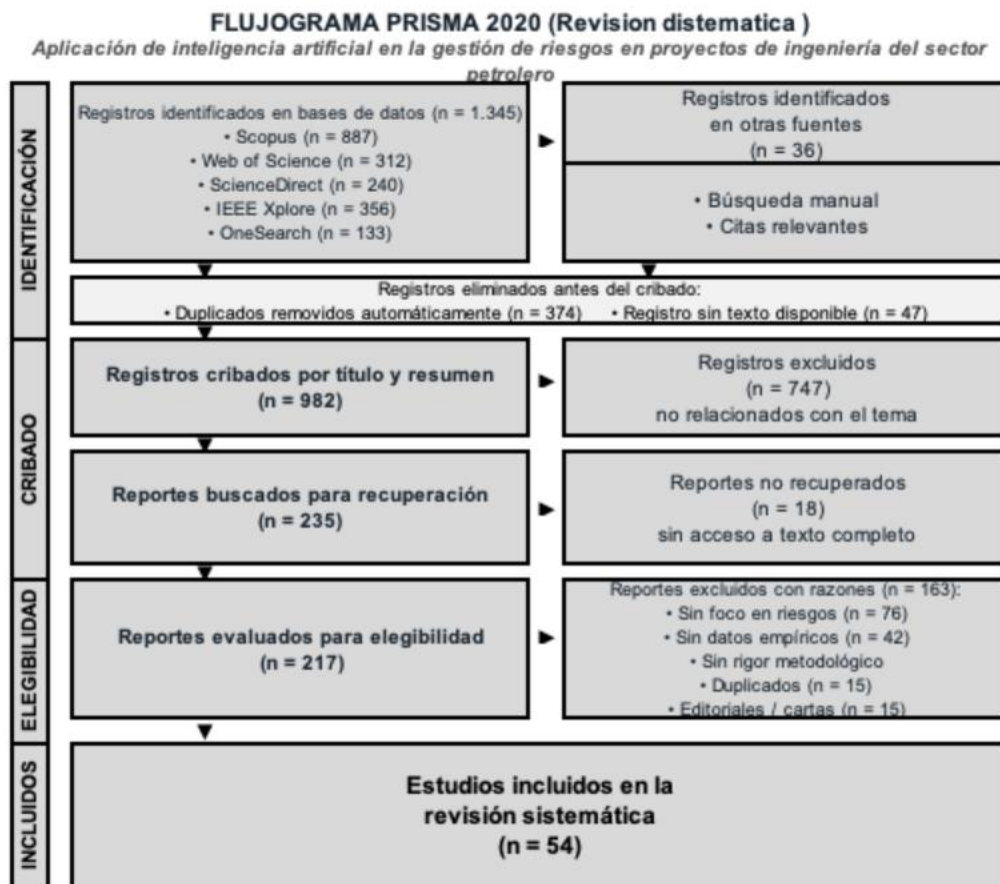
Matriz de extracción de datos con campos como: autor, año, país, tipo de IA empleada, fase de gestión de riesgos abordada (identificación, análisis, monitoreo, control), tipo de riesgo este puede ser (operacional, financiero, ambiental, entre otros), resultados cuantitativos reportados y limitaciones señaladas por los autores.

Procedimiento

Esta investigación desarrolla cinco fases secuenciales:

1. **Definición del protocolo de revisión**, este se establece en las preguntas de revisión, palabras clave, bases de datos, criterios de inclusión y exclusión y la matriz de extracción.
2. **Búsqueda y recuperación**, se define con las cadenas de búsqueda en cada base de datos, con registros del número de resultados por consulta y fecha de ejecución para asegurar la reproducibilidad.
3. **Depuración o cribado**, revisión de títulos y resúmenes para descartar estudios fuera del alcancé, seguida de lectura completa de los textos preseleccionados, las daciones de inclusión se documentan en el flujograma PRISMA
4. **Extracción y codificación**, proceso sistemático de cada estudio incluido en la matriz de extracción, aplicando categorías analíticas previamente definidas. En esta etapa se realiza de forma independiente por los tres investigadores para disminuir el sesgo de selección.
5. **Síntesis integración de los hallazgos mediante análisis temático y comparativo**, elaboración de tablas de resumen y construcción de la narrativa que da respuesta a la pregunta de investigación.

FLUJOGRAMA PRISMA 2020



Adaptado de: Page, M.J. et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71.

Nota: Los eventos presentados con asteriscos y cifras se balancean con los resultados reales de los inicialmente excluidos.

Nota: Modelo de flujoograma propuesto para la aplicación de inteligencia artificial en la gestión de riesgos en proyectos de ingeniería. Elaboración propia.

Esto genera la participación de los tres integrantes del equipo investigador con roles diferenciados de búsqueda, cribado y verificación cruzada. Como controles metodológicos se aplican la doble revisión de estudios y dudosos, el registro de decisiones en bitácora y la verificación de citas en las fuentes originales.

Validación del protocolo de revisión

Este tipo de investigación no usa validación con expertos como en los estudios de campo, pero sí aplica mecanismos equivalentes, pero sí hay controles de rigor: Prueba piloto de protocolo de búsqueda. Se genera una ejecución preliminar de las demás booleanas en scopus para verificar que recuperen los estudios seminales conocidos (Waqar et al.2023; Bento et al.2024; lima et al 2025) ajustando los operadores y términos según los resultados.

Evaluación de calidad de los estudios incluidos, esto se logra mediante los criterios adaptados de instrumentos como CASP, JBI, dando claridad del objetivo, adecuación del método y transparencia de los resultados y declaración de limitaciones. Acuerdo entre revisores, verificación cruzada de la codificación entre los investigadores, las discrepancias se resuelvan por consenso o consulto al tutor. Registro del proceso, archivos de los registros de búsqueda, exportaciones bibliográficas (Ris/BibText) y la matriz de extracción, para que cualquiera pueda verificar cómo se hizo.

Plan de análisis

Este estudio y análisis se desarrolla en un enfoque cualitativo y comparativo, con un apoyo bibliométrico descriptivo, respondiendo directamente a lo que el estudio busca no midiendo, ni probando si no entendiendo, comparando y sistematizando lo que la literatura académica ha documentado sobre la aplicación de tecnologías de inteligencia artificial en la gestión de riesgos del sector petrolero.

El análisis del contenido con categorías deductivas (tipo de herramienta de IA, fase de gestión de riesgos, tipo de riesgo, resultados, limitaciones) e inductivas (tendencias emergentes detectadas durante la lectura)

Análisis bibliométrico descriptivo: Distribución temporal de publicaciones, pases y revistas con mayor producción, concurrencia de palabras clave, autores más citados.

Análisis Comparativo estructurado entre los enfoques tradicionales y enfoques basado en IA, organizados en una matriz de doble entrega con dimensiones de capacidad predictiva, manejo de grandes volúmenes de datos, oportunidad de la respuesta, dependencia del juicio experto y la trazabilidad de la decisión y costos de implementación.

Síntesis narrativa: integra los tres análisis anteriores y articula los hallazgos con los marcos de referencia (PMBOK7, ISO 31000, ATOM) para responder a los objetivos específicos.

Conclusiones

A partir de la revisión de literatura académica especializada este trabajo consolidó un protocolo metodológico para analizar la aplicación de la inteligencia artificial en la gestión de riesgos en proyectos de ingeniería del sector de hidrocarburos. De ese proceso se derivan las siguientes conclusiones.

Esta investigación se planteó entender qué diferencias hay en gestionar riesgos de un proyecto del sector de hidrocarburos con inteligencia artificial frente a hacerlo con los métodos tradicionales que el sector petrolero ha usado históricamente. La revisión de literatura académica permitió apropiarse de una posible respuesta documentada y ese análisis dejó ver algo que no sorprende pero que vale la pena nombrar: el sector lleva años enfrentando las mismas variables. Proyectos que se pasan del presupuesto que se retrasan y riesgos que pocos logran anticipar a tiempo.

La revisión de lo ya documentado evidenció una brecha real en la literatura académica especializada cuando se trata de comparar los enfoques basados en

inteligencia artificial con los tradicionales en gestión de riesgos del sector Oil & Gas.

Autores como Waqar et al. (2023) Bento et al. (2024) y Lima et al. (2025) han estudiado aplicaciones puntuales de tecnologías de inteligencia artificial en este sector pero ninguno integra y contrasta de forma organizada ambos enfoques bajo un mismo marco normativo. Esa brecha es donde este estudio encuentra su lugar.

Las metodologías tradicionales como el juicio de expertos y las matrices de probabilidad e impacto respondieron bien a las condiciones del sector durante mucho tiempo. Pero hoy el volumen de datos operativos financieros y técnicos que generan los proyectos petroleros supera lo que esas herramientas pueden manejar con la velocidad que se necesita. La inteligencia artificial no resuelve todo pero sí cambia la capacidad de anticipación con modelos que detectan patrones procesan información en tiempo real y actualizan los perfiles de riesgo sin esperar a que alguien lo haga manualmente. Donde se ha implementado bien los resultados son concretos: menos tiempos de inactividad no planificados mejor identificación temprana de riesgos y decisiones más respaldadas en datos.

Ahora bien adoptar estas tecnologías no es solo una decisión técnica. Persisten desafíos reales como los costos de implementación la dificultad de integrar la IA con los sistemas que el sector ya tiene funcionando y la resistencia organizacional al cambio. Sin un compromiso claro de la alta dirección y una inversión real en capacitar a los equipos la tecnología sola no transforma nada.

La articulación del PMBOK 7 la ISO 31000 y la metodología ATOM como marco teórico fue una decisión que resultó más útil de lo esperado. Los tres se complementan de una forma que individualmente ninguno logra. El PMBOK pone la estructura del ciclo de vida del proyecto la ISO 31000 aporta los principios de gestión de riesgos y ATOM añade la mirada dinámica e iterativa que se necesita cuando se trabaja con tecnologías que

aprenden y cambian. Juntos permitieron analizar tanto los enfoques tradicionales como los apoyados en inteligencia artificial desde una base que aguanta el análisis.

El valor de esta revisión documental se sostiene en la transparencia del proceso y no en el volumen de literatura consultada. Para eso se construyó un proceso claro desde el principio apoyado en los lineamientos PRISMA 2020: cómo buscar qué incluir qué descartar y por qué. Todo quedó registrado y es verificable. Ese rigor es lo que le da solidez a lo que aquí se concluye.

El uso de bases de datos como Scopus Web of Science ScienceDirect OnePetro y OcEAN respondió a que este tema no le pertenece a una sola disciplina sino que cruza la ingeniería de petróleos la gestión de proyectos y los sistemas de información. Ninguna base de datos por sí sola cubre ese cruce completo y la combinación fue lo que permitió tener una mirada más amplia del problema sin quedarse con una sola perspectiva.

Este trabajo no cierra con respuestas definitivas y eso es honesto porque la revisión sistemática sigue en construcción. Pero lo que sí deja es un protocolo metodológico claro un marco teórico que aguanta y una dirección de análisis concreta. La siguiente fase será ejecutar la revisión completa contrastar la evidencia recolectada y determinar con datos reales en qué medida la inteligencia artificial transforma la gestión de riesgos en proyectos de ingeniería del sector petrolero colombiano. El camino está trazado y lo que sigue es recorrerlo.

Recomendaciones

Con lo que se ha encontrado en el presente estudio y en perspectiva del desarrollo completo de la revisión sistemática, estas son las recomendaciones para la siguiente fase:

Para la siguiente fase de investigación se recomienda ejecutar primero las ecuaciones de búsqueda diseñadas al mismo tiempo en las cinco bases de datos seleccionadas y no una a una, documentando de forma meticulosa los registros obtenidos

de cada etapa del flujo Prisma 2020, identificación, elegibilidad e inclusión, con el fin garantizar la trazabilidad del proceso para mayor solidez.

Antes de aplicar la matriz de extracción, vale la pena realizar una prueba inicial de la matriz de extracción con una muestra de cinco a diez artículos, de este modo se detectarán a tiempo criterios confusos y se puede realizar un ajuste previamente al análisis masivo.

En cuando al análisis bibliométrico se sugiere emplear herramientas como bibliometría para mapear como se citan los autores entre si y como ha ido evolucionado el tema en la literatura académica, Eso ayuda a identificar qué líneas emergentes de investigación y aplicación hay entre tecnologías de inteligencia artificial y gestión de riesgos en el sector petrolero.

Referencias

-
1. Waqar, A., Othman, I., Shafiq, N., & Mansoor, M. S. (2023). Applications of artificial intelligence in oil and gas projects towards sustainable development: A systematic literature review. *Artificial Intelligence Review*, 56(6), 135.
<https://doi.org/10.1007/s10462023104677>
 2. Project Management Institute. (2021). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide) (7th ed.). Project Management Institute.
 3. World Economic Forum. (2020). The digital transformation of oil and gas. World Economic Forum.
 4. Hillson, D. (2017). Practical project risk management: The ATOM methodology (3rd ed.). Management Concepts Press.
 5. World Economic Forum. (2017). Oil and gas: On the cusp of a digitally fuelled new era (Digital Transformation Initiative).
<https://reports.weforum.org/digitaltransformation/oilandgasonthecuspoofadigitallyfuellednewera/>

6. Hillson, D., & Simon, P. (2020). Practical project risk management: The ATOM methodology (3rd ed.). BerrettKoehler Publishers.
7. Independent Project Analysis. (2020). Capital project performance in the oil and gas industry. IPA Global.
8. Market Research Future. (2024). AI in oil and gas market global forecast to 2033. <https://www.marketresearchfuture.com/reports/aiinoilandgasmarket>
9. Merrow, E. W. (2022). Cost overruns in oil and gas megaprojects: Causes and mitigation strategies. Independent Project Analysis.
10. Waqar, A., Othman, I., Shafiq, N., & Mansoor, M. S. (2023). Applications of artificial intelligence in oil and gas projects towards sustainable development: A systematic literature review. Artificial Intelligence Review, 56, 1277112798. <https://doi.org/10.1007/s10462023104677>
11. Serpella, A. F., Ferrada, X., Howard, R., & Rubio, L. (2014). Risk management in construction projects: A knowledgebased approach. Procedia Social and Behavioral Sciences, 119, 653662. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.073>
12. Project Management Institute. (2021). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK Guide) (7th ed.). Project Management Institute.
13. Russell, S. J., & Norvig, P. (2021). Artificial intelligence: A modern approach (4th ed.). Pearson. ISBN: 978-0-13-461099-3.
14. Russell, S. J., & Norvig, P. (2021). Cap. 19: Learning from Examples; Cap. 21: Deep Learning; Cap. 22: Reinforcement Learning. Pearson.
15. Kaplan, A., & Haenlein, M. (2019). Siri, Siri, in my hand: Who's the fairest in the land? Business Horizons, 62(1), 15,25. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.08.004> [Scopus]

16. Project Management Institute. (2021). PMBOK® Guide 7th Ed. and The Standard for Project Management. PMI. ISBN: 978-1-62825-664-2.
17. International Organization for Standardization. (2018). ISO 31000:2018 Risk management Guidelines. ISO, Geneva.
18. Hillson, D., & Simon, P. (2020). Practical project risk management: The ATOM methodology (3rd ed.). Berrett-Koehler. ISBN: 978-1-5230-8985-8.
19. Serpella, A. F., et al. (2014). Risk management in construction projects: A knowledge-based approach. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 119, 653–662. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.03.073 [Scopus]
20. Project Management Institute. (2019). AI innovators: Cracking the code on project performance. PMI Pulse of the Profession Report.
21. Fridgeirsson, T. V., et al. (2021). An authoritative study on the near future effect of AI on PM knowledge areas. *Sustainability*, 13(4), 2345. DOI: 10.3390/su13042345 [Scopus]
22. Bento, S., et al. (2024). How AI will transform PM in the age of digitization: A SLR. *Management Review Quarterly*. DOI: 10.1007/s11301-024-00418-z [Scopus]
23. Waqar, A., Othman, I., Shafiq, N., & Mansoor, M. S. (2023). Applications of AI in oil and gas projects towards sustainable development: A systematic literature review. *Artificial Intelligence Review*, 56, 12771–12798. DOI: 10.1007/s10462-023-10467-7 [Scopus, PubMed]
24. D'Almeida, A. L., et al. (2022). Digital transformation: A review on AI techniques in drilling and production applications. *Int J Adv Manuf Technol*, 119, 5553–5582. DOI: 10.1007/s00170-021-08631-w [Scopus]
25. Zhang, Y., et al. (2025). Enhancing predictive maintenance strategies for oil and gas equipment through ensemble learning modeling. *Journal of Petroleum*

Exploration and Production Technology. DOI: 10.1007/s13202-025-01931-x

[Scopus]

26. Next-Generation Predictive Maintenance: Transforming Oil & Gas with IoT-Driven Deep Learning and Industry 5.0 Innovations. IEEE Conference Publication. DOI: 10.1109/... [IEEE Xplore]
27. Azmi, P. A. R., Yusoff, M., & Sallehud-din, M. T. M. (2024). A review of predictive analytics models in the oil and gas industries. Sensors, 24(12), 4013. DOI: 10.3390/s24124013 [Scopus, PubMed]
28. Tugay, K., et al. (2024). Tools, technologies and frameworks for digital twins in the oil and gas industry: An in-depth analysis. Sensors, 24(19), 6457. DOI: 10.3390/s24196457 [Scopus, PubMed]
29. Oil Channel. (2024). Aplicación de inteligencia artificial en la exploración petrolera en Colombia. <https://oilchannel.tv/noticias/aplicacion-de-inteligencia-artificial-en-la-exploracion-petrolera-en-colombia>
30. Asociación Colombiana del Petróleo y Gas. (2024). El impacto de la IA en la industria del petróleo y el gas. <https://acp.com.co/porta/el-impacto-de-la-ia-en-la-industria-del-petroleo-y-el-gas/>
31. Lima, G. B. A., et al. (2025). Artificial intelligence in the oil and gas industry: Applications, challenges, and future directions. Applied Sciences, 15(14), 7918. DOI: 10.3390/app15147918 [Scopus]
32. Market Research Future. (2024). AI in oil and gas market Global forecast to 2033. <https://www.marketresearchfuture.com/reports/ai-in-oil-and-gas-market>
33. Independent Project Analysis. (2020). Capital project performance in the oil and gas industry. IPA Global.
34. Allied Market Research. (2021). AI in oil and gas market: Global opportunity analysis and industry forecast, 2021–2031.

35. Accenture. (2019). Harnessing the power of AI for the energy industry.

Accenture Strategy Report.

36. Waqar et al. (2023). Artificial Intelligence Review, 56, 12771–12798. Sección 5.

[Scopus]

37. Bento et al. (2024). Management Review Quarterly. Sección 5. [Scopus]

Dirección de CvLac: _____