



Reporte entregable 46

Caso de uso de aplicación de IA e IAGEN

Modelado de Yacimientos para la creación de múltiples escenarios subsuperficiales realistas que capturen la complejidad geológica de Vaca Muerta

I. Introducción

La industria del petróleo y el gas ha experimentado una transformación significativa en las últimas décadas, impulsada por la necesidad de optimizar la producción y mejorar la rentabilidad, especialmente en la explotación de recursos no convencionales. En este panorama, la formación Vaca Muerta, ubicada en Argentina, se ha consolidado como uno de los yacimientos de shale gas y petróleo más grandes a nivel mundial.

Esta relevancia estratégica exige la adopción de tecnologías de vanguardia como la Inteligencia Artificial Generativa (IAGEN) para maximizar la eficiencia y sostenibilidad de su explotación.

A pesar del creciente enfoque en las energías renovables, el gas natural se proyecta como un combustible de transición fundamental.

Sin embargo, el modelado de yacimientos no convencionales como Vaca Muerta presenta desafíos inherentes debido a su complejidad geológica. Estos yacimientos se caracterizan por una baja permeabilidad. Esta complejidad dificulta el desarrollo de un

modelo de yacimiento único y universalmente aplicable. La permeabilidad extremadamente baja requiere la implementación de fracturamiento hidráulico, lo que genera intrincadas redes de fracturas inducidas que interactúan con las fracturas naturales preexistentes de maneras que aún no se comprenden del todo.

Las técnicas tradicionales de modelado a menudo muestran limitaciones para capturar el comportamiento dinámico de estos yacimientos, en particular la compleja interacción entre las fracturas hidráulicas y la matriz de la roca de esquisto, así como los largos regímenes de flujo transitorio que pueden extenderse durante meses o incluso años. Las metodologías convencionales de ingeniería de yacimientos con frecuencia asumen un flujo dominado por los límites y yacimientos bien caracterizados, lo que no resulta aplicable a los yacimientos no convencionales como Vaca Muerta, que pueden permanecer en flujo transitorio durante períodos prolongados. La efectividad del fracturamiento hidráulico, un pilar de la producción, es difícil de predecir y modelar con precisión utilizando métodos convencionales, lo que impacta en las previsiones de producción a largo plazo.

La Inteligencia Artificial Generativa (IAGEN) emerge como una tecnología con un potencial disruptivo para abordar estas limitaciones.

La Inteligencia Artificial Generativa (IAGEN) es una rama de la inteligencia artificial que se centra en la creación de nuevo contenido, como modelos, imágenes, código o texto, a partir de datos existentes. Esta tecnología utiliza algoritmos avanzados para analizar grandes cantidades de información, identificar patrones y generar contenido nuevo y original que a menudo es indistinguible del creado por humanos.

A diferencia de la IA tradicional, que se centra en la clasificación o predicción basada en datos de entrada, la IAGEN aprende la distribución subyacente de los datos y puede generar nuevas muestras que pertenecen plausiblemente a esa distribución. En el modelado de yacimientos, esto significa que la IAGEN puede crear múltiples escenarios subsuperficiales realistas, simular características geológicas complejas e

incluso generar datos sísmicos sintéticos, ofreciendo una poderosa herramienta para complementar los datos limitados del mundo real y explorar una gama más amplia de posibilidades.

Al aprender las intrincadas relaciones dentro de los datos geológicos y de producción, la IAGEN puede generar modelos de yacimientos que respetan los conceptos geológicos subyacentes al tiempo que están condicionados por las mediciones disponibles. Esto permite un enfoque más equilibrado entre la comprensión geológica y los conocimientos basados en datos, lo que potencialmente conduce a predicciones más precisas y a una mejor toma de decisiones en comparación con los modelos tradicionales puramente deterministas o excesivamente simplificados.

El objetivo principal de este informe revisado y ampliado es proporcionar un análisis exhaustivo de las aplicaciones de la IAGEN en el modelado de yacimientos para la formación Vaca Muerta. El alcance del informe abarcará los aspectos técnicos de los modelos de IA, su aplicación en las operaciones *upstream* de petróleo y gas (específicamente exploración y producción), las implicaciones económicas y ambientales, y las recomendaciones estratégicas para la industria.

II. Limitaciones de las Técnicas Tradicionales de Modelado de Yacimientos en Vaca Muerta

Las metodologías convencionales de modelado de yacimientos, como las técnicas de simulación numérica tradicional, dependen en gran medida de datos geológicos y petrofísicos detallados, así como de importantes recursos computacionales para modelar yacimientos a gran escala como Vaca Muerta. La construcción de modelos numéricos precisos de Vaca Muerta requiere una comprensión detallada de numerosos parámetros (yacimiento, fluidos, completación, fracturamiento hidráulico). Las demandas computacionales para simular el flujo de fluidos a través de estas formaciones complejas y heterogéneas pueden ser considerables, a menudo requiriendo clústeres de computación de alto rendimiento y

largos tiempos de ejecución de simulación. Además, la precisión de estos modelos está intrínsecamente ligada a la calidad y resolución de los datos de entrada, que pueden ser limitados e inciertos en entornos no convencionales.

Por otro lado, los métodos empíricos y el análisis de curvas de declinación, aunque simples y basados en datos históricos de producción, presentan limitaciones para capturar el comportamiento complejo del yacimiento, predecir el rendimiento a largo plazo bajo condiciones operativas cambiantes (como la gestión del estrangulamiento) y tener en cuenta el impacto de la heterogeneidad geológica y las estrategias de completación de pozos. Si bien el análisis de curvas de declinación y los modelos empíricos pueden proporcionar estimaciones iniciales del rendimiento de los pozos, a menudo no logran capturar la física subyacente del flujo de fluidos en yacimientos no convencionales. Estos métodos luchan por explicar factores como la interferencia entre pozos, la efectividad de los tratamientos de estimulación y el impacto de las variaciones geológicas en la vasta área de Vaca Muerta. Su poder predictivo también es limitado cuando los parámetros operativos o las estrategias de desarrollo cambian significativamente.

Una limitación significativa de las técnicas tradicionales radica en su incapacidad para capturar la complejidad de las fracturas.

Los enfoques de modelado tradicionales a menudo representan estas fracturas como características planares simplificadas, sin lograr capturar la verdadera complejidad de la red de fracturas inducidas, incluyendo ramificaciones, tortuosidad e interacción con fracturas naturales. Esta simplificación puede conducir a discrepancias significativas entre las predicciones del modelo y el rendimiento real del pozo. Además, los modelos tradicionales a menudo luchan por representar con precisión la interacción entre las fracturas hidráulicas y el sistema de fracturas naturales, lo que puede afectar significativamente la permeabilidad del yacimiento, las vías de flujo de fluidos y, en última instancia, la productividad del pozo.

Los modelos tradicionales a menudo no logran representar con precisión esta compleja interacción, que puede mejorar la producción al crear redes de fracturas más extensas o dificultarla al generar complejidad y problemas de contención de fracturas. Comprender y modelar esta interacción es crucial para optimizar los diseños de estimulación.

III. Aplicaciones Avanzadas de la IAGEN en el Modelado de Yacimientos

La IAGEN, particularmente mediante el uso de Redes Generativas Antagónicas (GANs) y Autoencoders Variacionales (VAEs), ofrece un camino prometedor para superar las limitaciones de las técnicas tradicionales de modelado de yacimientos en Vaca Muerta. Las GANs y los VAEs pueden aprender las complejas relaciones y patrones espaciales presentes en los datos geológicos (por ejemplo, imágenes de entrenamiento de formaciones subsuperficiales) y luego generar nuevas realizaciones realistas del yacimiento que exhiben propiedades estadísticas y características geológicas similares. Esto permite la creación de modelos detallados que van más allá de las limitaciones de los métodos geoestadísticos tradicionales, que a menudo se basan en suposiciones más simples sobre la continuidad y variabilidad espacial. La capacidad de generar múltiples modelos de alta resolución también facilita una evaluación más robusta de la incertidumbre geológica.

La IAGEN también se puede utilizar para simular el comportamiento del yacimiento (presión, caudales, saturación de fluidos) bajo diversos escenarios de producción, incluyendo diferentes estrategias de completación y estimulación de pozos (por ejemplo, variar el espaciamiento entre etapas, el volumen de apuntalante, las tasas de inyección), e incluso para generar datos de producción sintéticos que se pueden utilizar para entrenar otros modelos de IA. La IAGEN se puede utilizar para construir modelos proxy o simuladores sustitutos que puedan predecir rápidamente la respuesta del yacimiento a diferentes estrategias de producción. Al entrenar con datos generados a partir de simulaciones numéricas detalladas o producción histórica, estos simuladores impulsados por IA pueden proporcionar pronósticos rápidos y precisos, lo

que permite a los ingenieros explorar eficientemente una amplia gama de escenarios de desarrollo y optimizar los parámetros de producción sin el costo computacional de ejecutar simulaciones numéricas a gran escala para cada escenario.

Además, la IAGEN tiene la capacidad de generar modelos de yacimientos condicionales que son consistentes con los datos observados de los pozos (por ejemplo, registros de pozos, datos de núcleos, mediciones de presión), reduciendo la incertidumbre y mejorando la precisión de la predicción al enfocar la generación del modelo en escenarios subsuperficiales plausibles. Al condicionar el proceso generativo con los datos de pozos disponibles, la IAGEN puede crear modelos de yacimientos que no solo son geológicamente realistas sino que también respetan las mediciones específicas tomadas en las ubicaciones de los pozos. Esta integración de restricciones de datos en el proceso de generación de modelos conduce a una reducción de la incertidumbre asociada con la representación del subsuelo y, en última instancia, resulta en predicciones más confiables del rendimiento del yacimiento lejos de los pozos.

El análisis avanzado de datos sísmicos y geológicos se ve potenciado por el uso de Redes Neuronales Convolucionales (CNN) y el aprendizaje profundo. Las CNN destacan en el análisis de datos espaciales como las imágenes sísmicas. Al entrenar CNN con datos sísmicos etiquetados (por ejemplo, con fallas, fracturas o facies identificadas), estos modelos pueden aprender a reconocer automáticamente estas características en nuevos volúmenes sísmicos no vistos. Esta automatización acelera significativamente el proceso de interpretación, reduce la subjetividad asociada con la interpretación manual y puede revelar detalles geológicos sutiles que los intérpretes humanos podrían pasar por alto, lo que lleva a una comprensión más precisa del marco estructural y la distribución de propiedades del yacimiento. Las CNN también pueden utilizarse para la interpretación sísmica automatizada en Vaca Muerta, incluyendo la identificación de características geológicas sutiles como capas delgadas por debajo de la sintonización sísmica, la detección automatizada de fallas y fracturas y la

clasificación de facies sísmicas para delinear áreas con características de yacimiento similares.

Otras arquitecturas de aprendizaje profundo, como las Redes Neuronales Recurrentes (RNN) y sus variantes como las LSTM y GRU, y los modelos Transformer, son adecuadas para analizar datos geológicos secuenciales como registros de pozos y datos de núcleos para predecir propiedades continuas del yacimiento (por ejemplo, porosidad, permeabilidad, TOC) o clasificar litofacies a lo largo del pozo e incluso extrapolar estas propiedades lejos de las ubicaciones de los pozos. Las RNN y los Transformers están diseñados para procesar datos secuenciales y pueden capturar dependencias temporales (en el caso de registros de pozos registrados con la profundidad) y espaciales en conjuntos de datos geológicos. Al entrenar estos modelos con datos de registros de pozos y núcleos, pueden aprender las relaciones entre diferentes mediciones geológicas y predecir las propiedades del yacimiento en intervalos donde faltan datos o en áreas entre pozos. Los modelos Transformer, con sus mecanismos de atención, son particularmente efectivos para capturar dependencias de largo alcance en estos conjuntos de datos secuenciales, superando potencialmente a las RNN tradicionales en ciertas tareas como el modelado geológico 3D a partir de datos dispersos.

La IAGEN también juega un papel crucial en la optimización de la ubicación de pozos y las estrategias de perforación en Vaca Muerta. Al integrar los modelos de yacimientos generados por la IAGEN con algoritmos de optimización, es posible explorar un vasto espacio de diseño de posibles ubicaciones de pozos y trayectorias de perforación. La IA puede simular la producción a partir de estos diferentes escenarios, teniendo en cuenta factores complejos como la interferencia entre pozos y los patrones de drenaje, e identificar las configuraciones de pozos que tienen más probabilidades de maximizar la recuperación de recursos y los rendimientos económicos. Este enfoque basado en datos para la ubicación de pozos puede reducir significativamente el riesgo de perforar pozos improductivos y optimizar los planes de desarrollo de campos.

Además, los algoritmos de IA pueden optimizar los parámetros de perforación en tiempo real durante las operaciones de perforación en Vaca Muerta, mejorando la tasa de penetración (ROP), previniendo peligros de perforación y reduciendo los costos de perforación al ajustar dinámicamente parámetros como las tasas de flujo, la presión y la configuración de la barrena en función de los datos de sensores en tiempo real y la información geológica.

Finalmente, la IAGEN mejora la caracterización petrofísica del yacimiento en Vaca Muerta al integrar diversos datos petrofísicos (registros de pozos, análisis de núcleos, atributos sísmicos, datos de producción, datos geoquímicos) para crear caracterizaciones del yacimiento más precisas y completas. Al entrenar modelos de IAGEN con grandes conjuntos de datos de mediciones petrofísicas integradas, se pueden aprender las complejas relaciones no lineales entre diferentes tipos de datos y las propiedades del yacimiento. Una vez entrenados, estos modelos se pueden utilizar para predecir las propiedades petrofísicas en áreas donde solo se dispone de datos limitados, o para generar caracterizaciones del yacimiento más completas y consistentes al resolver las inconsistencias entre diferentes fuentes de datos. Este enfoque integrado puede conducir a una comprensión más holística y precisa de las propiedades del yacimiento y su distribución espacial. Además, la IA puede predecir las propiedades petrofísicas (por ejemplo, permeabilidad, porosidad, saturaciones de fluidos) en ubicaciones no muestreadas dentro de Vaca Muerta, reduciendo la necesidad de extensos y costosos programas de perforación de pozos al proporcionar estimaciones confiables de la calidad del yacimiento lejos de los pozos existentes.

IV. Agentes de IA impulsados por IAGEN

1. Concepto de agentes de IAGEN

En los últimos años, la inteligencia artificial generativa (IAGen) ha revolucionado la manera en que interactuamos con la tecnología, permitiendo el desarrollo de sistemas capaces de generar contenido, responder preguntas complejas y asistir en tareas

cognitivas de alta demanda. A partir de esta capacidad, surge una nueva arquitectura tecnológica: los agentes impulsados por IAGen. Estos agentes no son simples interfaces conversacionales, sino sistemas autónomos que pueden interpretar instrucciones, tomar decisiones, ejecutar tareas y aprender de sus interacciones con el entorno.

Un agente de IAGen combina grandes modelos de lenguaje con componentes adicionales como herramientas externas, memoria, planificación y ejecución autónoma. Esto les permite operar en entornos complejos, con capacidad para descomponer objetivos en pasos, coordinar múltiples acciones, interactuar con sistemas digitales (como bases de datos, APIs o documentos) y adaptarse a los cambios del contexto en tiempo real. Estas cualidades los distinguen de los chatbots tradicionales, y abren un espectro de aplicaciones más sofisticadas y personalizables.

En el ámbito organizacional, estos agentes se están utilizando para automatizar procesos, generar análisis de datos, asistir en la toma de decisiones y mejorar la experiencia del usuario, tanto interna como externamente. Por ejemplo, pueden asumir tareas de recursos humanos, legales, financieras o logísticas, e incluso, vinculadas a las áreas técnicas de procesos productivos, actuando como asistentes inteligentes que colaboran con equipos humanos. Esta capacidad de integrar conocimientos y ejecutar tareas de forma autónoma transforma la forma en que las organizaciones pueden escalar sus operaciones sin perder calidad ni control.

Además, los workflows agénticos —estructuras donde múltiples agentes colaboran entre sí para resolver problemas complejos— permiten distribuir responsabilidades entre distintos perfiles de agentes, cada uno con funciones específicas. Esto genera entornos de trabajo híbridos donde humanos y agentes coexisten, optimizando tiempos, costos y resultados. La posibilidad de conectar agentes con herramientas como Google Drive, CRMs o plataformas de gestión documental amplía aún más sus capacidades.

El desarrollo de agentes impulsados por IAGen representa un paso crucial hacia una nueva era de automatización inteligente.

Entre los beneficios de los workflows auténticos impulsados por modelos de inteligencia artificial generativa, se encuentra la posibilidad de automatizar procesos productivos completos, de punta a punta, e incluso, agregar valor a partir del aprovechamiento de las habilidades de los modelos de lenguaje basados en dichas tecnologías.

Sin embargo, su implementación también plantea desafíos técnicos, éticos y jurídicos, desde el diseño responsable hasta la supervisión humana. Por eso, comprender su arquitectura, su lógica operativa y sus impactos potenciales es fundamental para su adopción efectiva y segura en diversos contextos profesionales.

2. Propuesta de diseño de agente impulsado por IAGEN para la actividad

Rol General:

Actuar como **copiloto técnico** que asiste a geólogos, ingenieros de yacimiento y decisores estratégicos en:

- Generación de modelos geológicos realistas con IA generativa.
- Simulación de escenarios de producción.
- Optimización de ubicación de pozos.
- Evaluación de incertidumbre y riesgo operativo.
- Recomendaciones de perforación y completación basadas en datos.

Capacidades del Agente

Ingesta y preparación de datos

- Integración de datos sísmicos, petrofísicos y de producción.
- Limpieza, detección de valores atípicos y estandarización.
- Conversión automática de datos de sensores y logs a formatos entrenables.

Generación de modelos con IA

- Uso de **GANs y VAEs** para crear realizaciones geológicas condicionales.
- Aplicación de **CNNs** para interpretación sísmica automatizada.
- Modelado de registros de pozo con **Transformers** y **RNNs** para predicción de propiedades (TOC, porosidad, etc.).

Simulación de escenarios

- Generación de modelos proxy entrenados con datos históricos y sintéticos.
- Predicción del comportamiento bajo distintos esquemas de completación (espaciado, volumen de proppant, etc.).

Optimización de estrategias

- Evaluación masiva de configuraciones de pozos mediante **algoritmos evolutivos**

y reinforcement learning.

- Sugerencias de perforación en tiempo real durante operaciones (ROP, presión, etc.).

Análisis de incertidumbre y riesgo

- Generación de múltiples escenarios probabilísticos del subsuelo.
- Evaluación de sensibilidad y visualización de rangos de producción esperados.

Generación de reportes ejecutivos

- Informes automáticos con visualizaciones, KPIs técnicos y económicos.
- Justificación de decisiones y modelos empleados (IA explicable).

Flujo de trabajo propuesto resumido

1. **Input inicial:** Datos del subsuelo (sísmico, registros, núcleos, producción).
2. **Modelado generativo:** Escenarios realistas usando IAGen.
3. **Simulación y análisis:** Predicciones bajo diferentes estrategias.
4. **Optimización:** Búsqueda de estrategias óptimas.
5. **Toma de decisiones:** Sugerencias con análisis de incertidumbre y retorno.

6. **Monitoreo en tiempo real** (opcional): Ajustes operativos basados en data continua.

¿Cómo podría implementarse?

- **Plataforma:** Jupyter + Python backend (PyTorch, TensorFlow) + visualización (Plotly, Dash, Streamlit).
- **Datos:** Integración con bases existentes de empresas operadoras, sensores de pozos, archivos .LAS, .SEGY.
- **Interfaz:** Web o embebida en software de planificación de campos (Petrel, DecisionSpace).

V. Beneficios Cuantificables y Estratégicos de la IAGEN en el Modelado de Yacimientos

El uso de la IAGEN en el modelado de yacimientos no convencionales como Vaca Muerta ha demostrado mejorar significativamente la precisión de las predicciones de producción. Los modelos de IA tienen la capacidad de aprender relaciones complejas y no lineales directamente de grandes conjuntos de datos, lo que les permite capturar los intrincados factores que influyen en la producción de manera más efectiva que los métodos tradicionales, que a menudo se basan en modelos físicos simplificados.

La IAGEN también puede identificar estrategias de producción óptimas para maximizar el factor de recuperación y la recuperación final en Vaca Muerta. Al simular una amplia gama de escenarios de producción y analizar el comportamiento resultante del yacimiento, la IAGEN puede identificar la combinación óptima de parámetros

operativos y técnicas de recuperación que conducirán a la mayor recuperación final posible de Vaca Muerta.

La adopción de la IAGEN en Vaca Muerta también presenta un potencial considerable para la reducción de costos operativos y de exploración. El mantenimiento predictivo impulsado por IA puede anticipar fallas en los equipos, reduciendo el tiempo de inactividad no planificado y los costos de mantenimiento. La IA también puede optimizar los parámetros de perforación para mejorar la eficiencia y reducir el tiempo y los costos de perforación. Además, la IA puede analizar los patrones de consumo de energía para identificar áreas de optimización, lo que lleva a menores costos de energía. Estas reducciones de costos pueden mejorar significativamente la viabilidad económica del desarrollo de Vaca Muerta. Además, la IA puede mejorar la tasa de éxito de las actividades de exploración en Vaca Muerta, reduciendo el número de pozos secos y los costos asociados al identificar con mayor precisión las ubicaciones de perforación prometedoras basándose en el análisis de vastos conjuntos de datos geológicos y geofísicos.

La IAGEN también optimiza el tiempo de modelado y simulación en Vaca Muerta al automatizar y acelerar los flujos de trabajo de modelado y simulación de yacimientos. Esto permite tiempos de respuesta más rápidos para los estudios de subsuelo y una toma de decisiones más ágil en la planificación del desarrollo de campos. Los flujos de trabajo tradicionales de modelado de yacimientos a menudo implican numerosos pasos manuales y que consumen mucho tiempo, desde la preparación de datos y la construcción de modelos hasta la simulación y el análisis. La IAGEN puede automatizar muchas de estas tareas, como la generación de sintaxis de simulación, la creación de conjuntos de modelos y el análisis rápido de resultados, lo que reduce significativamente el tiempo necesario para los estudios de subsuelo y permite respuestas más rápidas a las necesidades empresariales.

Finalmente, la IAGEN mejora la toma de decisiones y reduce la incertidumbre en Vaca Muerta. La información detallada y las predicciones proporcionadas por la IA

pueden ayudar a las empresas a tomar mejores decisiones sobre cómo desarrollar y gestionar el yacimiento. Esto puede conducir a estrategias más efectivas, riesgos reducidos y, en última instancia, un mayor éxito en la extracción de recursos.

Tabla 1: Comparación de Técnicas Tradicionales vs. IAGEN de Modelado de Yacimientos

Característica	Técnicas Tradicionales	IAGEN
Modelado de Fracturas	Simplificaciones geométricas	Captura de complejidad y redes
Flujo No Lineal	Dificultad para representar	Mayor capacidad de modelado
Cuantificación de Incertidumbre	Computacionalmente intensivo	Generación eficiente de múltiples realizaciones
Integración de Datos	Flujos de trabajo separados	Plataformas integradas
Costo Computacional	Alto	Potencial para modelos proxy eficientes
Precisión	Limitada por suposiciones	Mayor precisión con aprendizaje de datos

Tabla 2: Beneficios Cuantificables de la IA en la Industria del Petróleo y Gas

Área de Beneficio	Mejora/Estadística Cuantificada
Precisión de Predicción de Producción	Aumento del 8% al 20% en las reservas de petróleo
Reducción de Costos en Perforación	Potencial reducción de \$5 por barril
Reducción de Tiempo de Inactividad	Reducción del 20% en el tiempo de inactividad no planificado
Aumento en la Recuperación de Recursos	No se especifica una cifra general
Reducción de Costos Operativos	Potencial reducción del 15% en los gastos operativos
Precisión de Predicción de Distribución de Gas	Valor R-cuadrado de hasta 0.9731

VI. Desafíos y Estrategias para la Implementación de la IAGEN en la Industria del Petróleo y Gas

La implementación exitosa de la IAGEN en el modelado de yacimientos en Vaca Muerta depende en gran medida de la calidad y disponibilidad de datos. La efectividad de cualquier aplicación de IA, incluyendo la IAGEN para el modelado de yacimientos, se basa en la disponibilidad de datos de entrenamiento suficientes y de alta calidad.

En el sector del petróleo y el gas, particularmente para yacimientos no convencionales como Vaca Muerta, los datos pueden ser escasos y distribuidos de manera desigual. Los desafíos incluyen el acceso a datos históricos, el tratamiento de valores faltantes y valores atípicos, la integración de datos de diversas fuentes (estudios sísmicos, registros de pozos, historial de producción) y la garantía de que los datos estén correctamente etiquetados y formateados para el entrenamiento de modelos de IA.

Abordar estos problemas de calidad y disponibilidad de datos es un requisito fundamental para la implementación exitosa de la IAGEN. Además, la persistente cuestión de los silos de datos dentro de las empresas de petróleo y gas que operan en Vaca Muerta y la urgente necesidad de plataformas de datos integradas y estrategias de gobernanza de datos para facilitar el intercambio y la accesibilidad de datos sin problemas para las aplicaciones de IAGEN son cruciales.

Otro desafío importante es la necesidad de infraestructura computacional avanzada. El entrenamiento de modelos de aprendizaje profundo, que a menudo son la base de la IAGEN, puede ser computacionalmente intensivo y llevar mucho tiempo, requiriendo hardware especializado como unidades de procesamiento gráfico (GPUs) y una potencia de procesamiento significativa. Para las complejas estructuras geológicas y los grandes conjuntos de datos involucrados en el modelado de Vaca Muerta, el acceso a recursos adecuados de computación de alto rendimiento (HPC) o plataformas de computación en la nube escalables es crucial para permitir el desarrollo y la implementación de soluciones efectivas de IAGEN dentro de un plazo razonable.

La escasez de talento especializado representa otro obstáculo. La aplicación exitosa de la IAGEN en el modelado de yacimientos requiere profesionales que posean una sólida comprensión tanto de los principios fundamentales de la ingeniería petrolera y las geociencias como de las capacidades técnicas de la IA y el aprendizaje automático. El actual grupo de talentos con esta combinación específica de habilidades es limitado, lo que exige inversiones en programas de capacitación especializados,

colaboraciones con instituciones académicas e iniciativas de mejora de las habilidades para los profesionales existentes del petróleo y el gas para cerrar esta brecha y fomentar la innovación en este campo.

La resistencia al cambio y la adopción de nuevas tecnologías dentro de la industria del petróleo y el gas en Vaca Muerta, que tradicionalmente ha dependido de flujos de trabajo y herramientas de simulación bien establecidos, también puede ser un desafío. Superar la inercia y fomentar la adopción de nuevas tecnologías requiere demostrar claramente los beneficios tangibles de la IAGEN en términos de mayor precisión, eficiencia y ahorro de costos a través de proyectos piloto y estudios de casos exitosos. Generar confianza en la fiabilidad e interpretabilidad de los resultados impulsados por la IA (IA explicable) y proporcionar capacitación integral y soporte continuo también son cruciales para facilitar la adopción generalizada de la IAGEN dentro de la industria.

Finalmente, deben considerarse las consideraciones regulatorias y de cumplimiento relacionadas con el uso de la IA en los procesos críticos de toma de decisiones dentro del sector del petróleo y el gas que opera en Argentina, particularmente en lo que respecta a la privacidad, la seguridad de los datos y el potencial de sesgos algorítmicos. El sector del petróleo y el gas opera bajo estrictos marcos regulatorios relacionados con la seguridad, la protección ambiental y la gestión de recursos. La implementación de la IA en áreas como el modelado de yacimientos y la optimización de la producción debe cumplir con estas regulaciones. Las consideraciones sobre la privacidad y la seguridad de los datos también son primordiales, especialmente cuando se trata de datos sensibles del subsuelo y operativos. Además, garantizar que los algoritmos de IA sean justos, imparciales y transparentes es crucial para evitar consecuencias negativas no deseadas y mantener la confianza de las partes interesadas.

Para superar estos desafíos, se proponen estrategias como invertir en una infraestructura sólida de gestión de datos y programas de desarrollo de talento

centrados en habilidades interdisciplinarias, fomentar una sólida colaboración entre expertos en el dominio y especialistas en IA para garantizar que el conocimiento del dominio se integre de manera efectiva en los modelos de IA, implementar proyectos piloto bien definidos con objetivos claros para demostrar el valor de la IAGEN y establecer directrices claras y mejores prácticas para el uso ético y responsable de la IA en el modelado de yacimientos.

Recomendación Inversión de corto plazo en equipos de implementación de agentes de IA en tecnología y capacitación:

Se requiere inversión en pruebas de concepto y pruebas piloto. El foco aquí tiene que ser la formación del talento para implementar, ya que se verifica una tendencia de reducción de costos en sistemas que permiten automatización “no code” y “low code”. Para la primera etapa, también se recomienda recurrir a equipos con experiencia en diseño e implementación de agentes de IA. Por último, es clave formar un equipo “in house” para el acompañamiento y la apropiación de una cultura agéntica que redefine la interacción humano-máquina.

VII. Conclusiones y Recomendaciones Estratégicas

En resumen, la Inteligencia Artificial Generativa presenta un potencial significativo para revolucionar el modelado de yacimientos en Vaca Muerta, superando las limitaciones de las técnicas tradicionales y ofreciendo beneficios sustanciales en términos de precisión, eficiencia, reducción de costos y toma de decisiones. Sin embargo, su implementación conlleva desafíos relacionados con la calidad y disponibilidad de los datos, la necesidad de infraestructura computacional avanzada, la escasez de talento especializado y la resistencia al cambio. Es crucial considerar tanto las implicaciones económicas positivas como los posibles desafíos ambientales asociados con el desarrollo y la implementación de la IA.

Para las empresas de petróleo y gas que buscan adoptar la IAGEN para el modelado de yacimientos en Vaca Muerta, se recomienda invertir estratégicamente en

infraestructura de gestión de datos y programas de desarrollo de talento centrados en habilidades interdisciplinarias. Fomentar una sólida colaboración entre expertos en el dominio y especialistas en IA es fundamental para garantizar que el conocimiento del dominio se integre de manera efectiva en los modelos de IA. Priorizar proyectos piloto con objetivos claros y medibles para demostrar el valor de la IAGEN y establecer directrices éticas sólidas para su uso responsable son pasos esenciales. Se sugiere un enfoque gradual para la adopción, comenzando con aplicaciones específicas y escalando progresivamente a medida que se desarrollen la experiencia y la infraestructura.

Para los investigadores, las áreas clave para futuras investigaciones y desarrollo incluyen la mejora de la interpretabilidad y explicabilidad de los modelos complejos de IA, el desarrollo de técnicas de IA que puedan manejar eficazmente la escasez e incertidumbre de los datos, la exploración de la integración de modelos basados en la física con enfoques de IA basados en datos para una mayor precisión y fiabilidad, y el desarrollo de puntos de referencia estandarizados y métricas de validación para los modelos de IAGEN en el dominio del petróleo y el gas.

Para los responsables de la toma de decisiones en Argentina, se recomienda fomentar un entorno que fomente la innovación al tiempo que se garantiza la privacidad, la seguridad de los datos y la sostenibilidad ambiental. Considerar incentivos para las empresas que invierten en infraestructura de IA y capacitación, así como regulaciones que promuevan la transparencia y el uso ético de las tecnologías de IA. También es importante apoyar las iniciativas de investigación y desarrollo centradas en prácticas de IA sostenibles dentro del sector energético.

Fuentes citadas

1. Vaca muerta - SEG Wiki, fecha de acceso: marzo 18, 2025, https://wiki.seg.org/wiki/Vaca_muerta
2. Argentina oil and gas sector: Vaca Muerta shale can drive near-term growth

- and fuel medium-term opportunities - Deloitte, fecha de acceso: marzo 18, 2025, <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/economy/americas/vaca-muerta-argentina-energy-sector-boom.html>
3. of Argentina Vaca Muerta: the future, fecha de acceso: marzo 18, 2025, <https://www.pwc.com.ar/es/assets/document/invest-in-vaca-muerta.pdf>
 4. Argentina's Vaca Muerta shale patch - Rystad Energy, fecha de acceso: marzo 18, 2025, <https://www.rystadenergy.com/news/argentina-s-vaca-muerta-shale-patch-could-produce-1-million-bpd-in-2030-but-hurdle>
 5. What is shale gas, how is it extracted through fracking and what are fracking's impacts? - Grantham Research Institute on climate change and the environment - LSE, fecha de acceso: marzo 18, 2025, <https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/explainers/what-is-shale-gas-how-is-it-extracted-through-fracking-and-what-are-frackings-impacts/>
 6. Grand Challenges for the Oil and Gas Industry for the Next Decade and Beyond - JPT, fecha de acceso: marzo 18, 2025, <https://jpt.spe.org/grand-challenges-for-the-oil-and-gas-industry-for-the-next-decade-and-beyond>
 7. Vaca Muerta Shale Drives Argentina's LNG Export Ambitions - JPT - SPE, fecha de acceso: marzo 18, 2025, <https://jpt.spe.org/vaca-muerta-shale-drives-argentinass-lng-export-ambitions-restricted>
 8. An Overview of Recent Developments and Understandings of Unconventionals in the Vaca Muerta Formation, Argentina - MDPI, fecha de acceso: marzo 18, 2025, <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/4/1366>
 9. COMBINED UNCONVENTIONAL NODAL INFLOW AND CHOKE-DEPENDENT OUTFLOW PERFORMANCE PREDICTION, fecha de acceso: marzo 18, 2025, <https://www.iapg.org.ar/conexplo/PENDRIVE/pdf/simposios/vaca/vacamuerta21.pdf>

10. (PDF) Vaca Muerta Numerical Simulation: A Warning in Compositional Modelling, fecha de acceso: marzo 18, 2025, https://www.researchgate.net/publication/328187370_Vaca_Muerta_Numerical_Simulation_A_Warning_in_Compositional_Modelling
11. Unlocking the True Potential of the Vaca Muerta Shale via an ..., fecha de acceso: marzo 18, 2025, https://www.researchgate.net/publication/287785351_Unlocking_the_True_Potential_of_the_Vaca_Muerta_Shale_via_an_Integrated_Completion_Optimization_Approach
12. A Case Study Using Integrated Multi-Disciplinary Approach to Predict Reservoir Performance in the Vaca Muerta Gas Shales | Request PDF - ResearchGate, fecha de acceso: marzo 18, 2025, https://www.researchgate.net/publication/363475521_A_Case_Study_Using_Integrated_Multi-Disciplinary_Approach_to_Predict_Reservoir_Performance_in_the_Vaca_Muerta_Gas_Shales
13. Robotics and artificial intelligence in unconventional reservoirs: Enhancing efficiency and reducing environmental impact., fecha de acceso: marzo 18, 2025, <https://wjarr.com/sites/default/files/WJARR-2024-3185.pdf>
14. Case Study: Frac-Hit Occurrence Prediction Using AI & ML - Crimson Publishers, fecha de acceso: marzo 18, 2025, <https://crimsonpublishers.com/pps/pdf/PPS.000620.pdf>
15. Driving Innovation in Subsurface Simulation Workflow Using Generative Artificial Intelligence - SLB AI, fecha de acceso: marzo 19, 2025, <https://ai.slb.com/blog/subsurface-simulation-workflow>
16. Elevating the Subsurface - Ikon Science, fecha de acceso: marzo 19, 2025, <https://www.ikonscience.com/wp-content/uploads/2023/12/Elevating-the-Subsurface-Unleashing-Generative-AIs-Impact-v1.pdf>
17. Multi-realization reservoir simulation modeling applied to Vaca ..., fecha de acceso: marzo 19, 2025, <https://library.seg.org/doi/10.15530/urtec-2023-3951192>

18. Reservoir Modeling & Simulation: Advancements, Challenges, and Future Perspectives Introduction Journal of Chemical and Petr, fecha de acceso: marzo 19, 2025, https://journals.ut.ac.ir/article_93771_dec562a30f78195865b16b1cd0730bb8.pdf
19. Uncertainty Quantification in Reservoir Simulation Using Modern Data Assimilation Algorithm - MDPI, fecha de acceso: marzo 19, 2025, <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/3/1153>
20. Uncertainty Analysis in Reservoir Characterization and Management - American Association of Petroleum Geologists, fecha de acceso: marzo 19, 2025, <http://store-assets.aapg.org/documents/previews/1097M96/CHAPTER01.pdf>
21. UNLOCK YOUR RESERVOIR - Viridien, fecha de acceso: marzo 19, 2025, <https://www.viridiengroup.com/sites/default/files/2020-12/Unlock%20your%20reservoir%20-%20Integrated%20expertise%20for%20better%20informed%20drilling%20and%20production.pdf>
22. Generative Artificial Intelligence for Subsurface Modeling and History Matching - JPT, fecha de acceso: marzo 19, 2025, <https://jpt.spe.org/twa/generative-artificial-intelligence-for-subsurface-modeling-and-history-matching>
23. Applying the Transformer Architecture for Semantic Segmentation of Seismic Facies, fecha de acceso: marzo 19, 2025, <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.2024101294>
24. Significant Advancements in Seismic Reservoir Characterization ..., fecha de acceso: marzo 19, 2025, <https://www.geoinsights.com/significant-advancements-in-seismic-reservoir-characterization-with-machine-learning/>
25. Overview of Subsurface Foundation Models - SLB AI, fecha de acceso: marzo 18, 2025, <https://ai.slb.com/blog/subsurface-foundation-models>
26. From LLMs to seismic foundation models, AI can be utilized for subsurface

- E&P - TGS, fecha de acceso: marzo 19, 2025, <https://www.tgs.com/articles/from-llms-to-seismic-foundation-models-ai-can-be-utilized-for-subsurface-ep>
27. Reimagine your geospatial analytics workflows for subsurface data in the era of generative AI | AWS for Industries, fecha de acceso: marzo 19, 2025, <https://aws.amazon.com/blogs/industries/reimagine-your-geospatial-analytics-workflows-for-subsurface-data-in-the-era-of-generative-ai/>
28. Generative AI: Prospects and Applications in Geothermal Energy, fecha de acceso: marzo 19, 2025, <https://pangea.stanford.edu/ERE/db/GeoConf/papers/SGW/2024/Ekeopara.pdf>
29. How Generative AI can Speed up the Preparation of Subsurface Study Reports with Fully Trusted Information | Earthdoc, fecha de acceso: marzo 19, 2025, <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.202439005>
30. Artificial Intelligence for Subsurface Characterization and Monitoring - 1st Edition - Elsevier, fecha de acceso: marzo 20, 2025, <https://shop.elsevier.com/books/artificial-intelligence-for-subsurface-characterization-and-monitoring/abubakar/978-0-443-23517-7>
31. The Power of Randomness: Exploiting Recurrent Neural Network ..., fecha de acceso: marzo 20, 2025, <https://medium.com/@bradley.edwards/the-power-of-randomness-392586b3975d>
32. Reservoir computing approaches to recurrent neural network training, fecha de acceso: marzo 20, 2025, <https://cenl.ucsd.edu/CompNeuro/Readings/week13/Lukosevicius-Jaeger+Reservoir-computing-recurrent-neural-network+CompSciRev+2019.pdf>
33. Reservoir computing - Wikipedia, fecha de acceso: marzo 20, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Reservoir_computing
34. Simulating Reservoir Operation Using a Recurrent Neural Network Algorithm, fecha de acceso: marzo 20, 2025,

https://www.researchgate.net/publication/332663947_Simulating_Reservoir_Operation_Using_a_Recurrent_Neural_Network_Algorithm

35. Simulating Reservoir Operation Using a Recurrent Neural Network Algorithm - MDPI, fecha de acceso: marzo 20, 2025, <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/4/865>
36. Shear-Enhanced Compaction Analysis of the Vaca Muerta Formation - MDPI, fecha de acceso: marzo 20, 2025, <https://www.mdpi.com/2079-3197/11/12/250>
37. A 3D Geological Modeling Method Using the Transformer Model: A ..., fecha de acceso: marzo 20,, 2025, <https://www.mdpi.com/2075-163X/15/3/301>
38. Research on the Applicability of Transformer Model in Remote-Sensing Image Segmentation - MDPI, fecha de acceso: marzo 20, 2025, <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/4/2261>
39. Transformer-based deep learning model for accurate rate of penetration prediction in drilling, fecha de acceso: marzo 20, 2025, <https://library.seq.org/doi/10.1190/image2023-3910241.1>
40. A Review of AI Applications in Unconventional Oil and Gas Exploration and Development, fecha de acceso: marzo 20, 2025, <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/2/391>
41. Artificial intelligence methods for oil and gas reservoir development: Current progresses and perspectives - SciOpen, fecha de acceso: marzo 20,2025, <https://www.sciopen.com/article/10.46690/ager.2023.10.07>
42. Machine learning solutions for reservoir characterization, management, and optimization, fecha de acceso: marzo 20, 2025, <https://repositories.lib.utexas.edu/items/b0f49786-3aa0-4c4c-92af-5b243b054ced>
43. AI in Oil & Gas Exploration: Maximizing Discoveries, Minimizing Costs - Datategy, fecha de acceso: marzo 20, 2025, <https://www.datategy.net/2024/01/09/ai-in-oil-exploration-maximizing-discoveries>

[-minimizing-costs/](#)

44. AI's Role in Oil and Gas Exploration | DW Energy Group, fecha de acceso: marzo 20, 2025, <https://www.dwenergygroup.com/ais-role-in-oil-and-gas-exploration/>
45. data analytics and machine learning workflows for optimization of unconventional assets. case study: neuquén basin, vaca muerta play, fecha de acceso: marzo 21, 2025, <https://www.iapg.org.ar/conexplo/PENDRIVE/pdf/simposios/vaca/vacamuerta18.pdf>
46. Integrating Pilot Well Measurements for Horizontal Well Planning - a Case Study, Vaca Muerta Formation, Neuquén Basin, Argentina - ResearchGate, fecha de acceso: marzo 21, 2025, https://www.researchgate.net/publication/316948568_Integrating_Pilot_Well_Measurements_for_Horizontal_Well_Planning_-_a_Case_Study_Vaca_Muerta_Formation_Neuquen_Basin_Argentina
47. How Generative AI Can Fuel Oil and Gas Data Analytics | Publicis ..., fecha de acceso: marzo 21, 2025, <https://www.publicissapient.com/insights/maintenance-co-pilot>
48. Generative AI in Oil and Gas - XenonStack, fecha de acceso: marzo 21, 2025, <https://www.xenonstack.com/blog/gen-ai-in-oil-and-gas>
49. Generative AI for Oil & Gas - C3 AI, fecha de acceso: marzo 21, 2025, <https://c3.ai/generative-ai-for-oil-and-gas/>
50. Generative AI in Oil and Gas: Optimize Production, Safety, and Sustainability | SoftServe, fecha de acceso: marzo 21, 2025, <https://www.softserveinc.com/en-us/generative-ai/energy>
51. AI in Oil and Gas Industry- Benefit, Use Cases, and Examples, fecha de acceso: marzo 21, 2025, <https://oyelabs.com/ai-in-oil-and-gas-industry-use-cases-and-examples/>
52. Drilling Down: How AI is Changing the Future of Oil and Gas, fecha de

- acceso: marzo 21, 2025,
<https://www.sandtech.com/insight/drilling-down-how-ai-is-changing-the-future-of-oil-and-gas/>
53. AI in Energy: Revolutionizing the Oil and Gas Industry | Datafloq, fecha de acceso: marzo 21, 2025,
<https://datafloq.com/read/ai-energy-revolutionizing-oil-gas-industry/>
54. AI in Oil and Gas: Future Trends & Use Cases - Moon Technolabs, fecha de acceso: marzo 21, 2025,
<https://www.moontechnolabs.com/blog/ai-in-oil-and-gas/>
55. Artificial Intelligence for Oil and Gas Using Python, fecha de acceso: marzo 21, 2025,
<https://www.aapg.org/global/latinamerica/events/virtual/articleid/63511/artificial-intelligence-for-oil-and-gas-using-python>
56. (PDF) Integrated Petrophysical Characterization of Hydrocarbon ..., fecha de acceso: marzo 21, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/372897070_Integrated_Petrophysical_Characterization_of_Hydrocarbon_Shale_Unconventional_Reservoirs_Using_a_Rock_Typing_Approach_Case_Study_Vaca_Muerta_Play_Neuquen_Basin_Argentina
57. Artificial Intelligence Integration for Optimal Reservoir Data Analysis - Medium, fecha de acceso: marzo 21, 2025,
<https://medium.com/@yomibest/artificial-intelligence-integration-for-optimal-reservoir-data-analysis-cd312af44595>
58. Pays International - Artificial Intelligence in Geoscience, fecha de acceso: marzo 21, 2025, <https://www.pays-international.com/>
59. subsurfaceAI | Seismic Interpretation Software, fecha de acceso: marzo 21, 2025, <https://subsurfaceai.ca/>
60. Machine Learning and Data Analytics in Geosciences, fecha de acceso: marzo 22, 2025,
<https://www.jsg.utexas.edu/academics/graduate/degrees-offered/machine-learn>

[ng-certificate/](#)

61. Modeling Proppant Flowback to Quantify its Impact on Shale Gas Production – A Vaca Muerta Case Study - ResFrac Corporation, fecha de acceso: marzo 22, 2025, <https://www.resfrac.com/library/office-hours/13386>
62. Generative AI for Oil and Gas | Enhanced Efficiency | 7P - 7Puentes, fecha de acceso: marzo 22, 2025, <https://www.7puentes.com/generative-ai-for-oil-and-gas/>
63. Artificial Intelligence in the Oil and Gas Industry: Benefits & Use Cases - Ksolves, fecha de acceso: marzo 22, 2025, <https://www.ksolves.com/blog/artificial-intelligence/applications-in-oil-gas-industry>
64. AI in Oil and Gas: Preventing Equipment Failures Before They Cost Millions, fecha de acceso: marzo 22, 2025, <https://energiesmedia.com/ai-in-oil-and-gas-preventing-equipment-failures-before-they-cost-millions/>
65. Integrating AI with Energy Management Systems to Achieve Real-Time Optimization, fecha de acceso: marzo 22, 2025, <https://medium.com/@paralogyx/integrating-ai-with-energy-management-systems-to-achieve-real-time-optimization-4c1af67ea575>
66. Optimize Efficiency With AI-Driven Energy Management - Pecan AI, fecha de acceso: marzo 22, 2025, <https://www.pecan.ai/blog/optimize-efficiency-with-ai-energy-management/>
67. Energy Grid Optimization- AI & Digital Technologies for Improving Efficiency - Cyient, fecha de acceso: marzo 22, 2025, <https://www.cyient.com/blog/energy-grid-optimization-ai-digital-technologies-for-improving-efficiency>
68. Artificial Intelligence for Energy, fecha de acceso: marzo 22, 2025, <https://www.energy.gov/topics/artificial-intelligence-energy>
69. The Role of AI in Energy Management and Optimisation - KnowHow Hub, fecha de acceso: marzo 22, 2025,

<https://knowhow.distrelec.com/energy-and-power/the-role-of-ai-in-energy-management-and-optimisation/>

70. Generative AI for Field Development Planning | SLB, fecha de acceso: marzo 22, 2025, <https://www.slb.com/resource-library/article/2024/generative-ai-for-field-development-planning>
71. AI in Oil and Gas: Benefit and Use Cases - Apptunix, fecha de acceso: marzo 22, 2025, <https://www.apptunix.com/blog/artificial-intelligence-in-oil-and-gas-benefit-and-use-cases/>
72. Agile Reservoir Modeling - SLB, fecha de acceso: marzo 22, 2025, <https://www.slb.com/products-and-services/delivering-digital-at-scale/software/delfi/delfi-solutions/agile-reservoir-modeling>
73. AI Based Reservoir Model Using SAS - SAS Support Communities, fecha de acceso: marzo 22, 2025, <https://communities.sas.com/t5/SAS-Explore-Presentations/AI-Based-Reservoir-Model-Using-SAS/ta-p/838257>
74. AI-Driven Approaches to Enhancing Reservoir Management: Predictive Modeling Techniques for Long-Term Production Forecasting - EasyChair, fecha de acceso: marzo 22, 2025, <https://easychair.org/publications/preprint/cbdT>
75. ASSESSMENT OF OIL AND GAS RESOURCES IN THE VACA MUERTA SHALE, NEUQUÉN BASIN, ARGENTINA - OAKTrust, fecha de acceso: marzo 23, 2025, <https://oaktrust.library.tamu.edu/server/api/core/bitstreams/d528b40f-c476-47ea-bef6-177444f4173b/content>
76. Improving Your AI Model's Accuracy: Expert Tips - Data Annotation Platform | Keylabs, fecha de acceso: marzo 23, 2025, <https://keylabs.ai/blog/improving-your-ai-models-accuracy-expert-tips/>
77. Challenges & Strategies for Implementing Quality Management Systems - ComplianceQuest, fecha de acceso: marzo 23, 2025,

<https://www.compliancequest.com/cq-guide/quality-management-system-for-oil-and-gas-industry/>

78. Overcoming Digitization Challenges In The Oil And Gas Industry, fecha de acceso: marzo 23, 2025,

<https://www.forbes.com/councils/forbestechcouncil/2020/09/18/overcoming-digitization-challenges-in-the-oil-and-gas-industry/>

79. Energy and AI: the power couple that could usher in a net-zero world, fecha de acceso: marzo 23, 2025,

<https://www.weforum.org/stories/2025/01/energy-ai-net-zero/>

80. The Power of AI: Building the Energy Infrastructure for America's AI Revolution - RPower, fecha de acceso: marzo 23, 2025,

<https://rpower1.com/articles/the-power-of-ai-building-the-energy-infrastructure-for-americas-ai-revolution/>

81. Energy Infrastructure is Powering the Future of Artificial Intelligence TortoiseCapital, fecha de acceso: marzo 23, 2025,

<https://tortoiseadvisors.com/wp-content/uploads/2024/11/energy-infrastructure-is-powering-the-future-of-artificial-intelligence.pdf>

82. AI and energy: The big picture | S&P Global, fecha de acceso: marzo 23, 2025,

<https://www.spglobal.com/en/research-insights/special-reports/look-forward/ai-and-energy>

83. Could Argentina become the world's next AI hub? - Buenos Aires Herald, fecha de acceso: marzo 23, 2025,

<https://buenosairesherald.com/business/tech/is-argentina-going-to-be-the-worlds-next-ai-hub>

84. Machine Learning for Petroleum Engineers and Geoscientists - The University of Oklahoma, fecha de acceso: marzo 23, 2025,

<http://www.ou.edu/mcee/professional-development/professional-development-courses/online-courses/machine-learning-for-petroleum-engineers-and-geoscientist>

[s.html](#)

85. Applied Machine Learning for Petroleum Engineers and Geoscientists - SPE, fecha de acceso: marzo 23, 2025, <https://www.spe.org/en/training/courses/applied-machine-learning-petroleum-engineers-and-geoscientists/>
86. www.publicissapient.com, fecha de acceso: marzo 23, 2025, <https://www.publicissapient.com/insights/maintenance-co-pilot#:~:text=As%20a%20data%20partner%2C%20generative,reduce%20downtime%20and%20maximize%20value.>
87. Maximizing the impact of AI in the oil and gas sector | EY - US, fecha de acceso: marzo 23, 2025, https://www.ey.com/en_us/insights/oil-gas/maximizing-the-impact-of-ai-in-the-oil-and-gas-sector
88. The Implementation of Industry 4.0 in Oil and Gas | GEP, fecha de acceso: marzo 23, 2025, <https://www.gep.com/blog/mind/the-implementation-of-industry-4-0-in-oil-and-gas>
89. AI-based (Top-Down) Full Field Reservoir Simulation and Modeling - SPE, fecha de acceso: marzo 23, 2025, <https://www.spe.org/en/training/courses/ai-based-top-down-full-field-reservoir-simulation-and-modeling/>
90. Generative AI in Oil & Gas: 5 highly complex use cases - Nubiral, fecha de acceso: marzo 24, 2025, <https://nubiral.com/generative-ai-in-oil-gas-5-highly-complex-use-cases/>
91. GEF: Home, fecha de acceso: marzo 24, 2025, <https://www.thegef.org/>
92. maximizing the reservoir access with completion optimization and effectiveness, fecha de acceso: marzo 24, 2025, <https://www.spe.org.ar/locker/pdf/SPE%20Maximizing%20Reservoir%20Access.pdf>

93. Reservoir Simulation of the Volve Oil field using AI-based Top-Down Modeling Approach - The Research Repository @ WVU - West Virginia University, fecha de acceso: marzo 24, 2025, https://researchrepository.wvu.edu/context/etd/article/12519/viewcontent/Dissertation_VF.pdf
94. AI has an environmental problem. Here's what the world can do about that. - UNEP, fecha de acceso: marzo 24, 2025, <https://www.unep.org/news-and-stories/story/ai-has-environmental-problem-here-s-what-world-can-do-about>
95. Using Vaca Muerta oilfield waste gas to power AI computing - BNamericas, fecha de acceso: marzo 24, 2025, <https://www.bnamericas.com/en/news/using-vaca-muerta-oilfield-waste-gas-to-power-ai-computing>
96. Explained: Generative AI's environmental impact | MIT News, fecha de acceso: marzo 24, 2025, <https://news.mit.edu/2025/explained-generative-ai-environmental-impact-0117>
97. Can We Mitigate AI's Environmental Impacts? - Yale School of the Environment, fecha de acceso: marzo 24, 2025, <https://environment.yale.edu/news/article/can-we-mitigate-ais-environmental-impacts>
98. AI and Sustainability: Opportunities, Challenges, and Impact | EY - Netherlands, fecha de acceso: marzo 24, 2025, https://www.ey.com/en_nl/insights/climate-change-sustainability-services/ai-and-sustainability-opportunities-challenges-and-impact
99. The US must balance climate justice challenges in the era of artificial intelligence, fecha de acceso: marzo 24, 2025, <https://www.brookings.edu/articles/the-us-must-balance-climate-justice-challenges-in-the-era-of-artificial-intelligence/>
100. Using AI for sustainability: Case studies and examples - COAX Software,

fecha de acceso: marzo 24, 2025,
<https://coaxsoft.com/blog/using-ai-for-sustainability-case-studies-and-examples>

101. Artificial Intelligence (AI) for Sustainable Resource Management and Chemical Processes, fecha de acceso: marzo 24, 2025,
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.4c01004>

102. Sustainable AI: a contradiction in terms? - AlgorithmWatch, fecha de acceso: marzo 18, 2025, <https://algorithmwatch.org/en/sustainable-ai-explained/>

103. Within Bounds: Limiting AI's environmental impact - Green Screen Coalition, fecha de acceso: marzo 24, 2025,
[https://greenscreen.network/en/blog/within-bounds-limiting-ai-environmental-imp
act/](https://greenscreen.network/en/blog/within-bounds-limiting-ai-environmental-impact/)