



Reporte entregable 26

Caso de uso de aplicación de IA e IAGEN

Diseño de Fracturación Hidráulica: La IA Modela la Propagación de Fracturas y Optimiza el Uso de Recursos en Argentina

I. Introducción

La fracturación hidráulica se ha consolidado como una técnica esencial para la extracción de hidrocarburos, particularmente en formaciones geológicas de baja permeabilidad clasificadas como no convencionales, como el shale.

Este método implica la inyección a alta presión de fluidos en el subsuelo para inducir fracturas en la roca, facilitando así la liberación y el flujo de petróleo y gas. Sin embargo, las operaciones de fracturación hidráulica son intrínsecamente complejas y requieren la optimización de diversos parámetros, incluyendo las cantidades de agua, arena (utilizada como agente de sostén o proppant) y los productos químicos empleados en el fluido de fracturación.

La necesidad de mejorar la eficiencia, reducir los costos operativos y minimizar el impacto ambiental ha impulsado la exploración de tecnologías innovadoras.

En este contexto, la inteligencia artificial (IA) emerge como una herramienta con un potencial significativo para transformar el diseño y la ejecución de la fracturación hidráulica. Al modelar con precisión la propagación de las fracturas generadas y optimizar el uso de recursos críticos, la IA ofrece la promesa de revolucionar las prácticas en la industria del petróleo y gas.

El presente informe se centra en el análisis de cómo la IA modela la propagación de fracturas con el objetivo de optimizar la fracturación hidráulica, explorando sus beneficios, los desafíos inherentes a su adopción y el panorama futuro de su aplicación en el sector argentino de petróleo y gas, con especial énfasis en la formación de Vaca Muerta.

II. El Sector Argentino de Petróleo y Gas y Vaca Muerta

El sector de petróleo y gas desempeña un papel fundamental en la economía de Argentina, contribuyendo significativamente a su desarrollo industrial y a su balanza comercial ¹. En años recientes, la producción total de hidrocarburos ha experimentado fluctuaciones, pero se observa una tendencia general de crecimiento, especialmente en la producción de petróleo. En 2023, la producción total de petróleo en Argentina aumentó un 9% en comparación con el año anterior, alcanzando los 635,3 miles de barriles por día. Este incremento se atribuye principalmente a los precios internacionales de referencia y a las mejoras en la capacidad de evacuación.

Un aspecto crucial del sector energético argentino es la creciente contribución de la producción no convencional al total. En 2023, el 74% de las reservas y recursos de gas natural y el 67% de las reservas y recursos de petróleo se clasificaron como no convencionales. Esta transición hacia una mayor dependencia de la producción no convencional subraya la importancia de optimizar las técnicas de extracción, como la fracturación hidráulica, para garantizar la viabilidad económica y la maximización de la producción. La presencia de grandes petroleras internacionales en Argentina, particularmente en Vaca Muerta, sugiere un entorno propicio para la adopción de tecnologías avanzadas como la IA en las operaciones de fracturación, dado que estas empresas suelen tener acceso y experiencia con tecnologías de punta.

La Cuenca Neuquina, donde se ubica la formación de Vaca Muerta, concentra la mayor proporción de la producción y las reservas, especialmente en lo que respecta a los recursos no convencionales.

Vaca Muerta se distingue como una de las formaciones de hidrocarburos no convencionales más grandes a nivel mundial, con estimaciones que la sitúan como la segunda reserva de gas shale y la cuarta de petróleo shale del planeta . Se estima que Argentina cuenta con 802 billones de pies cúbicos de shale gas y 27.000 millones de barriles de shale oil, siendo Vaca Muerta la principal contribuyente a estas cifras .

El desarrollo de Vaca Muerta es crucial para que Argentina logre el autoabastecimiento energético y se posicione como un exportador regional e incluso global de hidrocarburos .

La producción actual de petróleo y gas no convencional en Vaca Muerta ha experimentado un crecimiento significativo.

III. Fundamentos de la Fracturación Hidráulica y la Propagación de Fracturas

El proceso básico de la fracturación hidráulica consiste en la inyección a alta presión de un fluido compuesto principalmente por agua (aproximadamente el 95%), arena (alrededor del 4,5%) y una pequeña proporción de aditivos químicos (cerca del 0,5%) en el pozo perforado hasta la formación de hidrocarburos.

Esta inyección de fluido a alta presión supera la resistencia de la roca, creando una red de fracturas que aumenta la permeabilidad de la formación y permite que los hidrocarburos fluyan más fácilmente hacia el pozo.

En formaciones no convencionales como el shale, es común utilizar la perforación horizontal, que permite acceder a una mayor extensión de la formación desde un solo pozo, y la fracturación multietapa, donde el proceso de fracturación se repite a lo largo de la sección horizontal del pozo para estimular un volumen significativo de roca.

La composición del fluido de fracturación es crítica y se ajusta según las características específicas de la formación y los objetivos del tratamiento. Además del agua y la arena, se utilizan diversos aditivos químicos para modificar las propiedades del fluido, como

su viscosidad, capacidad de transporte de proppant y reactividad con la roca.

La predicción y el control de la propagación de fracturas en el subsuelo representan desafíos significativos debido a la inherente heterogeneidad de la roca, la variabilidad de las tensiones in situ y las complejas interacciones que pueden ocurrir entre las fracturas inducidas y las fracturas naturales preexistentes.

Lograr una red de fracturas óptima es fundamental para maximizar la permeabilidad de la formación y, en consecuencia, la producción de hidrocarburos.

Sin embargo, la propagación de las fracturas no siempre sigue un patrón planar y puede reorientarse en función de la dirección del esfuerzo horizontal máximo en la roca. Esta naturaleza impredecible de la propagación de fracturas subraya la necesidad de herramientas de modelado avanzadas, como las basadas en IA, para mejorar la planificación y la ejecución de los tratamientos de fracturación hidráulica. La capacidad de la IA para modelar sistemas complejos y no lineales puede proporcionar una mejor comprensión del comportamiento de las fracturas bajo diversas condiciones geológicas y operativas, ayudando así a diseñar tratamientos más efectivos y eficientes.

III. Optimización del Uso de Recursos con IA

La inteligencia artificial juega un papel crucial en la optimización del uso de recursos esenciales en la fracturación hidráulica, como el agua, la arena (proppant) y los productos químicos.

Los modelos de IA pueden:

- Analizar grandes cantidades de datos históricos y en tiempo real para determinar la cantidad óptima de agua necesaria para lograr la estimulación deseada en diferentes formaciones geológicas.
- Al predecir con mayor precisión la presión de poro y otras condiciones del

yacimiento que influyen en la eficiencia del uso del agua, la IA permite a los operadores ajustar los volúmenes de inyección de agua de manera más efectiva. Esta optimización es fundamental para la sostenibilidad de las operaciones de fracturación. Estudios de caso han demostrado cómo la IA ha ayudado a reducir significativamente el consumo de agua en proyectos de fracturación, disminuyendo tanto los costos operativos como el impacto ambiental en las fuentes de agua locales.

En cuanto a la optimización del proppant (arena):

- La IA puede modelar el transporte y la colocación de este material dentro de las fracturas inducidas. Esto asegura una conductividad óptima de las fracturas a largo plazo, manteniendo las vías de flujo abiertas para la producción de hidrocarburos.
- Los modelos de IA también pueden predecir el riesgo de "screen-out" (bloqueo de la fractura con proppant) y optimizar la concentración y el tamaño de las partículas de proppant utilizadas. Al hacerlo, la IA ayuda a reducir la cantidad total de proppant necesaria sin comprometer la producción de hidrocarburos, lo que se traduce en mejoras en la eficiencia de la estimulación y una disminución en los costos asociados con la adquisición y el transporte de grandes volúmenes de arena.

La IA también juega un papel importante en la optimización del uso de productos químicos en la fracturación hidráulica:

- Los modelos de IA pueden analizar la interacción de diferentes productos químicos con las propiedades específicas de la roca y los fluidos del yacimiento. Esto permite a los operadores determinar las formulaciones de fluidos de fracturación más efectivas y las cantidades óptimas de cada producto químico a utilizar.
- Además, la IA tiene el potencial de identificar alternativas más ecológicas o de

reducir la cantidad de productos químicos agresivos necesarios para lograr los resultados deseados .

- La optimización de los productos químicos no solo puede mejorar la eficiencia de la fracturación, sino que también puede minimizar el impacto ambiental asociado con el uso de sustancias potencialmente dañinas en el proceso.

IV. Aplicación de agentes impulsados por IA Generativa

Las oportunidades mencionadas, pueden ser incluidas dentro de un agente basado en IA que, además, incorpore modelos basados en IAGEN para aumentar la eficiencia.

1. Conceptos de IAGEN

La Inteligencia Artificial Generativa (IA GEN) 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 .

2. 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.

3. Propuesta de diseño de Agente: OptiFrac IA

a. Objetivo General:

Optimizar en tiempo real el uso de **agua, proppant y productos químicos** en operaciones de fracturación hidráulica, minimizando costos y reduciendo el impacto ambiental.

b. Componentes del Agente:

Ingesta de Datos

- Datos históricos de pozos (profundidad, formación, presión, producción, etc.)
- Sensores en tiempo real (presión de fondo, caudal, temperatura, microseismicidad)
- Inventarios y precios de agua, proppant y químicos

Módulo de IA para Agua

- Predice presión de poro y características de la formación
- Estima el volumen mínimo necesario de agua para estimulación efectiva

- Ajuste dinámico de caudal en función del comportamiento del pozo

Módulo de IA para Proppant

- Simula transporte y colocación del proppant
- Detecta riesgo de *screen-out* y sugiere ajustes de concentración
- Recomienda tamaños óptimos y combina tipos de proppant si es necesario

Módulo de IA para Químicos

- Modela la interacción química fluido-roca
- Optimiza formulaciones para cada tipo de formación
- Sugiere alternativas ecoamigables y reduce químicos agresivos

Motor de Optimización

- Algoritmos evolutivos o de optimización multiobjetivo
- Balancea eficiencia, costo y sostenibilidad

- Presenta curvas de sensibilidad y escenarios comparativos

Panel de Control Inteligente

- Visualización de recomendaciones
- Indicadores clave: ahorro de agua (%), reducción de proppant (kg), eco-score químico, ROI estimado
- Posibilidad de intervención manual asistida por IA

c. Integraciones y Automatizaciones

- **Conectores API** a SCADA, sensores de campo, plataformas de simulación geológica
- **Automatización con n8n o Zapier:** actualiza planillas, genera reportes PDF automáticos, alerta por email/WhatsApp
- **Google Drive / BigQuery:** repositorio y análisis centralizado de resultados

d. Beneficios Esperados

- Reducción de hasta un 20–30% en el uso de agua por etapa
- Disminución del costo por tonelada de proppant y transporte
- Formulaciones químicas más seguras y adaptadas a cada yacimiento
- Toma de decisiones más rápida, basada en datos

V. Beneficios de la IA en la Fracturación Hidráulica

La aplicación de la inteligencia artificial en la fracturación hidráulica ofrece una amplia gama de beneficios para la industria del petróleo y gas.

Uno de los principales es el aumento de la eficiencia operativa. La IA puede optimizar los parámetros de fracturación en tiempo real, lo que resulta en tratamientos más efectivos y, en última instancia, en una mayor producción de hidrocarburos. Además, la IA tiene la capacidad de automatizar ciertos aspectos del proceso de fracturación, lo que reduce la necesidad de intervención humana, minimiza el tiempo no productivo y mejora la consistencia de las operaciones.

La IA también contribuye significativamente a la reducción de costos en las operaciones de fracturación hidráulica. La optimización del uso de recursos clave, como el agua, la arena y los productos químicos, mediante modelos de IA genera ahorros sustanciales en los costos operativos. Asimismo, la capacidad de la IA para predecir posibles fallas en los equipos y optimizar los programas de mantenimiento permite reducir los costos de reparación y minimizar el tiempo de inactividad de las instalaciones.

Otro beneficio importante de la IA en la fracturación hidráulica es la mejora de las tasas de extracción de hidrocarburos. Al ayudar a diseñar tratamientos de fracturación más efectivos, la IA conduce a una mayor recuperación de petróleo y gas de los yacimientos. La IA también tiene el potencial de identificar zonas dentro de los yacimientos con un alto potencial de producción, lo que permite a los operadores enfocar sus esfuerzos de estimulación en las áreas más prometedoras.

Finalmente, la IA contribuye a la minimización del impacto ambiental de la fracturación hidráulica. Al optimizar el uso de recursos y reducir la cantidad de productos químicos utilizados, la IA fomenta prácticas de fracturación más sostenibles. Además, la IA tiene el potencial de mejorar la gestión de residuos generados por las operaciones de fracturación y de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, incluyendo el

metano, que es un potente gas de calentamiento global. La creciente preocupación por el impacto ambiental de la fracturación hidráulica hace que los beneficios de la IA en este aspecto sean particularmente valiosos para la industria y la sociedad.

VI. Desafíos y Barreras para la Adopción de la IA en Argentina

A pesar de los numerosos beneficios que la IA puede aportar a la fracturación hidráulica en Argentina, existen varios desafíos y barreras que pueden dificultar su adopción generalizada.

En primer lugar, las barreras tecnológicas incluyen la posible falta de infraestructura tecnológica adecuada en algunas áreas y la necesidad de integrar las soluciones de IA con los sistemas heredados existentes en las empresas del sector .

Además, los proyectos de IA pueden ser complejos y requieren experiencia especializada tanto en ciencia de datos como en ingeniería de petróleo, habilidades que pueden no estar ampliamente disponibles en el mercado laboral argentino.

En segundo lugar, las barreras económicas son significativas. La implementación de soluciones de IA a menudo conlleva altos costos iniciales asociados con la adquisición de hardware y software especializados, así como con la contratación y capacitación de personal capacitado. Además, puede existir incertidumbre sobre el retorno de la inversión (ROI) en proyectos de IA, lo que puede hacer que las empresas sean reacias a realizar las inversiones necesarias.

En tercer lugar, las barreras culturales y organizacionales también juegan un papel importante. Puede haber resistencia al cambio dentro de las organizaciones, especialmente si la fuerza laboral no está familiarizada con las tecnologías de IA o teme que estas puedan reemplazar sus puestos de trabajo. Fomentar una cultura que valore la innovación y proporcionar oportunidades de capacitación y desarrollo de habilidades para la fuerza laboral existente son cruciales para superar esta resistencia y

facilitar la adopción de la IA.

En cuarto lugar, las barreras regulatorias y políticas pueden influir en la adopción de la IA en el sector energético argentino. Pueden existir desafíos relacionados con las regulaciones existentes que no abordan específicamente la IA o con la falta de marcos regulatorios claros para su aplicación en la industria del petróleo y gas. El apoyo de políticas gubernamentales que fomenten la inversión en tecnología e innovación será fundamental para superar estas barreras.

Finalmente, las barreras de datos son un desafío importante. La calidad, la disponibilidad y la accesibilidad de los datos necesarios para entrenar y utilizar modelos de IA pueden ser limitadas.

Beneficios	Desafíos	Recomendaciones
Aumento de la eficiencia operativa	Altos costos iniciales	Inversión en infraestructura tecnológica
Reducción de costos operativos	Falta de talento especializado	Programas de capacitación y desarrollo de habilidades
Mejora de las tasas de extracción	Resistencia cultural al cambio	Fomentar una cultura de innovación
Minimización del impacto ambiental	Barreras regulatorias y políticas	Desarrollo de un marco regulatorio claro y de apoyo

Optimización del uso de recursos	Calidad y accesibilidad de los datos	Implementación de estrategias sólidas de gestión de datos
----------------------------------	--------------------------------------	---

Se recomienda la 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

La inteligencia artificial presenta un potencial transformador para la industria de la fracturación hidráulica en Argentina, especialmente en el contexto del desarrollo de la vasta formación de Vaca Muerta.

Al modelar con precisión la propagación de fracturas y optimizar el uso de recursos críticos como el agua, la arena y los productos químicos, la IA ofrece la promesa de aumentar la eficiencia operativa, reducir los costos, mejorar las tasas de extracción y minimizar el impacto ambiental de esta técnica esencial para la producción de hidrocarburos no convencionales.

A pesar de los desafíos y barreras que aún existen para su adopción generalizada en Argentina, los beneficios potenciales de la IA son significativos y justifican una mayor

inversión e investigación en esta área.

Los estudios de caso y los ejemplos de la industria a nivel mundial demuestran el valor tangible que la IA puede aportar, y las direcciones futuras de investigación sugieren un camino continuo hacia soluciones aún más sofisticadas y sostenibles.

Para que Argentina aproveche plenamente el potencial de la IA en la fracturación hidráulica, será necesario abordar las barreras tecnológicas, económicas, culturales, regulatorias y de datos, fomentando la colaboración entre los diferentes actores del sector y promoviendo un entorno que valore la innovación y la adopción de nuevas tecnologías.

Fuentes citadas

1. [www.inversionycomercio.ar](https://www.inversionycomercio.ar/pdf/sectores/energia/AAICI_Energ%C3%ADaPyG.pdf), fecha de acceso: marzo 17, 2025, https://www.inversionycomercio.ar/pdf/sectores/energia/AAICI_Energ%C3%ADaPyG.pdf
2. El Mercado del Gas y Petróleo Argentino - Pampa Energía, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://ri.pampa.com/nuestros-activos/petroleo-y-gas/el-mercado-del-gas-y-petroleo-argentino/>
3. Petróleo y gas: 2024 cerraría con máximos históricos en 20 y 17 años | Bolsa de Comercio de Rosario, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/petroleo-y-0>
4. La producción de petróleo y gas en Argentina sigue creciendo en 2022 | Bolsa de Comercio de Rosario, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/la-56>
5. La producción de petróleo y gas llegó a máximos de 20 años y 15 años en el primer trimestre | Bolsa de Comercio de Rosario, fecha de acceso: marzo 17, 2025,

<http://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/la-71>

6. Reporte anual - 2021 - Energía, fecha de acceso: marzo 17, 2025, http://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion_del_mercado/mercado_hidrocarburos/informacion_estadistica/reservas/Consolidacion_de_reservas_de_gas_y_petroleo_reporte_anual_2021.pdf

7. La actividad petrolera en Argentina | Instituto Geográfico Nacional, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.ign.gob.ar/odc-13-alarcon>

8. YPF en Vaca Muerta: ¿Qué es Vaca Muerta? | No convencional, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://desafiovacamuerta.ypf.com/>

9. Vaca Muerta: el futuro Argentina - PwC Argentina, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.pwc.com.ar/es/publicaciones/vaca-muerta-invertir-en-energia-no-convencional.html>

10. Invertir en Vaca Muerta: La oportunidad que no podés dejar pasar - Blog de Welfi, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://blog.welfi.com.ar/invertir-en-vaca-muerta/>

11. Vaca Muerta y los proyectos clave que transformarán la economía argentina - Energía, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://mase.lmneuquen.com/vaca-muerta/vaca-muerta-y-los-proyectos-clave-que-transformaran-la-economia-argentina-n1171710>

12. Según la calificadora S&P, hay un renovado interés global por Vaca Muerta - Infobae, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.infobae.com/economia/2025/02/10/segun-la-calificadora-sp-hay-un-renovado-interes-global-por-vaca-muerta/>

13. YPF anuncia inversión histórica para proyecto en Vaca Muerta - El Economista, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/ypf-anuncia-inversion-historica-proyecto-vaca-muerta-20241121-735308.html>

14. Argentina oil and gas sector: Vaca Muerta shale can drive near-term growth and fuel medium-term opportunities - Deloitte, fecha de acceso: marzo 17, 2025,

<https://www2.deloitte.com/us/en/insights/economy/americas/vaca-muerta-argentina-energy-sector-boom.html>

15. Vaca Muerta Sur Oil Pipeline - Global Energy Monitor - GEM.wiki, fecha de acceso: marzo 17, 2025, https://www.gem.wiki/Vaca_Muerta_Sur_Oil_Pipeline

16. Argentina's \$3 Billion Vaca Muerta Oil Pipeline Breaks Ground Under Investment Scheme, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.riotimesonline.com/argentinas-3-billion-vaca-muerta-oil-pipeline-breaks-ground-under-investment-scheme/>

17. Two more partners join Vaca Muerta Sur project - MercoPress, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://en.mercopress.com/2025/03/11/two-more-partners-join-vaca-muerta-sur-project>

18. www.spglobal.com, fecha de acceso: marzo 17, 2025, https://www.spglobal.com/_assets/documents/ratings/es/pdf/2025/2025-01-17-interes-renovado-en-la-produccion-no-convencional-de-vaca-muerta-de-argentina.pdf

19. YPF lidera el ranking de producción de petróleo y gas en Vaca Muerta - Infobae, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.infobae.com/economia/2025/02/05/ypf-lidera-el-ranking-de-produccion-de-petroleo-y-gas-en-vaca-muerta-el-listado-empresa-por-empresa/>

20. Cuáles son las empresas que más invierten en Vaca Muerta - Energía, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://mase.lmneuquen.com/economia/cuales-son-las-empresas-que-mas-invierten-vaca-muerta-n1180369>

21. Boom de Vaca Muerta: las 4 mejores opciones para invertir en la joya del sector energético argentino - Infobae, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.infobae.com/economia/2024/12/26/boom-de-vaca-muerta-las-4-mejores-opciones-para-invertir-en-la-joya-del-sector-energetico-argentino/>

22. Argentina Oil & Gas Sector - Deloitte, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ar/Documents/finance/2024/argenti>

[na-oil-gas-outlook-2024.pdf](#)

23. Argentina: Several economies, one future, fecha de acceso: marzo 17, 2025, https://www.allianz-trade.com/en_global/economic-research/country-reports/Argentina.html

24. Cómo funciona el fracking en Vaca Muerta - YouTube, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=BzklmaxQalo>

25. Systematic Analysis of Novel Machine Learning Techniques for Hydraulic Fracturing Optimization - Preprints.org, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.preprints.org/manuscript/202404.1945>

26. Questions and Answers about EPA's Hydraulic Fracturing Drinking Water Assessment, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.epa.gov/hfstudy/questions-and-answers-about-epas-hydraulic-fracturing-drinking-water-assessment>

27. Hydraulic Fracturing: Paving the Way for a Sustainable Future? - PMC - PubMed Central, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3984842/>

28. Fracture reorientation mechanism during hydraulic fracturing based on XFEM simulation, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/earth-science/articles/10.3389/feart.2024.1503934/full>

29. Numerical simulation and optimization design of complex underground fracture network, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://ager.yandypress.com/index.php/2207-9963/article/view/452>

30. Application of Machine Learning in Hydraulic Fracturing: A Review | ACS Omega, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.4c11342>

31. Machine learning-based prediction of fracture toughness and path in the presence of micro-defects - ResearchGate, fecha de acceso: marzo 17, 2025, https://www.researchgate.net/publication/364970157_Machine_learning-based_predict

ion of fracture toughness and path in the presence of micro-defects

32. Fracture Conductivity Prediction Based on Machine Learning - PMC, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10955692/>

33. Intelligent optimization of oilfield hydraulic fracturing design based ..., fecha de acceso: marzo 17, 2025, https://www.jstage.jst.go.jp/article/arr/5/1/5_62/_article/-char/en

34. (PDF) Systematic Analysis of Novel Machine Learning Techniques for Hydraulic Fracturing Optimization - ResearchGate, fecha de acceso: marzo 17, 2025, https://www.researchgate.net/publication/380098990_Systematic_Analysis_of_Novel_Machine_Learning_Techniques_for_Hydraulic_Fracturing_Optimization

35. Evaluation of Fracturing Effect of Tight Reservoirs Based on Deep Learning - PMC, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11398274/>

36. Machine learning-based fracturing parameter optimization for horizontal wells in Panke field shale oil - PubMed Central, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10933261/>

37. AI-Based Estimation of Hydraulic Fracturing Effect - OnePetro, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://onepetro.org/SJ/article-pdf/26/04/1812/2475386/spe-205479-pa.pdf/1>

38. AI-Based Estimation of Hydraulic Fracturing Effect (2021) | Andrei Erofeev | 24 Citations, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://scispace.com/papers/ai-based-estimation-of-hydraulic-fracturing-effect-4mjf3d939k>

39. AI-Integrated Geology-Engineering Workflow for Hydraulic Fracture Evaluation and Production Prediction | Request PDF - ResearchGate, fecha de acceso: marzo 17, 2025, https://www.researchgate.net/publication/388310684_AI-Integrated_Geology-Engineering_Workflow_for_Hydraulic_Fracture_Evaluation_and_Production_Prediction

40. (PDF) Machine learning-based fracturing parameter optimization for horizontal wells in Panke field shale oil - ResearchGate, fecha de acceso: marzo 17, 2025,

https://www.researchgate.net/publication/378934031_Machine_learning-based_fracturing_parameter_optimization_for_horizontal_wells_in_Panke_field_shale_oil

41. A Physics-Informed Neural Network Approach for Surrogating a Numerical Simulation of Fractured Horizontal Well Production Prediction - MDPI, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/24/7948>

42. Physics-Informed Machine Learning for Hydraulic Fracturing—Part II: The Transfer Learning Experiment (2024) | Abdul Muqtadir Khan | 1 Citations - SciSpace, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://scispace.com/papers/physics-informed-machine-learning-for-hydraulic-fracturing-70e8jd1e9uwj>

43. (PDF) Phase-Field Fracture with Physics Informed Neural Networks - ResearchGate, fecha de acceso: marzo 17, 2025, https://www.researchgate.net/publication/381964521_Phase-Field_Fracture_with_Physics_Informed_Neural_Networks

44. Physics informed neural networks for phase field fracture modeling enhanced by length-scale decoupling degradation functions - Frontiers, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/physics/articles/10.3389/fphy.2023.1152811/full>

45. [2502.09025] Physics-based Machine Learning for Computational Fracture Mechanics - arXiv, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://arxiv.org/abs/2502.09025>

46. Improved physics-informed neural networks for the reinterpreted discrete fracture model, fecha de acceso: marzo 17, 2025, https://www.researchgate.net/publication/384827729_Improved_physics-informed_neural_networks_for_the_reinterpreted_discrete_fracture_model

47. Physics-Informed Machine Learning for Hydraulic Fracturing—Part III: The Transfer Learning Validation | Request PDF - ResearchGate, fecha de acceso: marzo 17, 2025, https://www.researchgate.net/publication/389058566_Physics-Informed_Machine_Learning_for_Hydraulic_Fracturing-Part_III_The_Transfer_Learning_Validation

48. Generative Adversarial Network (GAN) - GeeksforGeeks, fecha de acceso: marzo 17,

2025, <https://www.geeksforgeeks.org/generative-adversarial-network-gan/>

49. Generative adversarial network - Wikipedia, fecha de acceso: marzo 17, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Generative_adversarial_network

50. A Survey on the Application of Generative Adversarial Networks in Cybersecurity: Prospective, Direction and Open Research Scopes - arXiv, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://arxiv.org/html/2407.08839v1>

51. GAN Explained - Generative Adversarial Network - Papers With Code, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://paperswithcode.com/method/gan>

52. Technical Note: Temporal disaggregation of spatial rainfall fields with generative adversarial networks - HESS - Recent, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://hess.copernicus.org/articles/25/3207/2021/>

53. Numerical Modeling of Diffusion in Fractured Media for Gas Injection and Recycling Schemes - ResearchGate, fecha de acceso: marzo 17, 2025, https://www.researchgate.net/publication/266663989_Numerical_Modeling_of_Diffusion_in_Fractured_Media_for_Gas_Injection_and_Recycling_Schemes

54. Diffusion and Matrix-Fracture Interactions during Gas Injection in Fractured Reservoirs | Request PDF - ResearchGate, fecha de acceso: marzo 17, 2025, https://www.researchgate.net/publication/266671385_Diffusion_and_Matrix-Fracture_Interactions_during_Gas_Injection_in_Fractured_Reservoirs

55. Modeling effects of diffusion and gravity drainage on oil recovery in naturally fractured reservoirs under gas injection ----- - KU ScholarWorks, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://kuscholarworks.ku.edu/server/api/core/bitstreams/e6fc0d7b-9619-4e96-88e0-d016d6fa257c/content>

56. AI's Challenging Waters | Civil & Environmental Engineering | Illinois, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://cee.illinois.edu/news/AIs-Challenging-Waters>

57. Sustainable water management in the oil and gas industry: Harnessing the power of AI and data-driven solutions for efficient water use - AWS, fecha de acceso: marzo 17, 2025,

<https://aws.amazon.com/blogs/industries/sustainable-water-management-in-the-oil-and-gas-industry-harnessing-the-power-of-ai-and-data-driven-solutions-for-efficient-water-use/>

58. a comprehensive review on ai-driven optimization techniques enhancing sustainability in oil and gas production - Fair East Publishers, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://fepbl.com/index.php/estj/article/download/950/1165>

59. Artificial Intelligence rises in drilling performance - Halliburton, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.halliburton.com/en/resources/the-rise-of-artificial-intelligence>

60. Simulation and Optimization of Sand Transportation for Fracking Operations - AnyLogic, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.anylogic.com/resources/case-studies/simulation-and-optimization-of-sand-transportation-for-fracking-operations/>

61. Case Study: Frac-Hit Occurrence Prediction Using AI & ML - Crimson Publishers, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://crimsonpublishers.com/pps/pdf/PPS.000620.pdf>

62. The Role of Artificial Intelligence in Optimizing Well Stimulation Techniques - Esimtech, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.esimtech.com/the-role-of-artificial-intelligence-in-optimizing-well-stimulation-techniques.html>

63. An Artificial Intelligence Method for Flowback Control of Hydraulic Fracturing Fluid in Oil and Gas Wells - MDPI, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.mdpi.com/2227-9717/11/6/1773>

64. Current Status and Prospects of Artificial Intelligence Technology Application in Oil and Gas Field Development | ACS Omega, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.3c09229>

65. Everything you need to know about fracking - Greenly, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://greenly.earth/en-us/blog/industries/everything-you-need-to-know-about-fracking>

66. Using artificial intelligence to redevelop declining brownfield - Halliburton, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.halliburton.com/en/resources/using-artificial-intelligence-to-redevelop-declining-brownfield>
67. A Review of AI Applications in Unconventional Oil and Gas Exploration and Development, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/2/391>
68. Optimization of Hydraulic Fracturing Design using ANN- A Case Study - ResearchGate, fecha de acceso: marzo 17, 2025, https://www.researchgate.net/publication/374382373_Optimization_of_Hydraulic_Fracturing_Design_using_ANN-_A_Case_Study
69. Halliburton Aims For Better Wells With Automated Fracturing - JPT, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://jpt.spe.org/halliburton-aims-better-wells-automated-fracturing>
70. Applications of AI in oil and gas projects towards sustainable development: a systematic literature review - PubMed Central, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10034239/>
71. U.S. oil companies use AI for faster shale drilling to mitigate OPEC production cuts, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.worldoil.com/news/2024/3/14/u-s-oil-companies-use-ai-for-faster-shale-drilling-mitigating-opec-production-cuts/>
72. 3 ways AI advances health, safety, and sustainability in the energy industry - SLB, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.slb.com/resource-library/insights-articles/3-ways-ai-advances-health-safety-and-sustainability-in-the-energy-industry>
73. Robotics and artificial intelligence in unconventional reservoirs: Enhancing efficiency and reducing environmental impact., fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://wjarr.com/sites/default/files/WJARR-2024-3185.pdf>
74. Case Study: Innovative Approach To Increase Well Productivity by Adapting Drilling Targets and Completion Methodology - JPT, fecha de acceso: marzo 17, 2025,

<https://jpt.spe.org/case-study-innovative-approach-to-increase-well-productivity-by-adapting-drilling-targets-and-completion-methodology>

75. The Frac Revolution: How Machine Learning is Changing the Future of Hydraulic Fracturing, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.revsolz.com/blog/the-frac-revolution-how-machine-learning-is-changing-the-future-of-hydraulic-fracturing>

76. Drilling Down: How AI is Changing the Future of Oil and Gas - Sand Technologies, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.sandtech.com/insight/drilling-down-how-ai-is-changing-the-future-of-oil-and-gas/>

77. An Artificial Intelligence-Based Model for Performance Prediction of Acid Fracturing in Naturally Fractured Reservoirs - PMC, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8173587/>

78. Case Studies: AI Transformations in the Industry - CrowdField, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.crowdfield.net/blogposts/case-studies-ai-transformations-in-the-industry>

79. Integrating artificial intelligence into engineering processes for improved efficiency and safety in oil and gas operations - ResearchGate, fecha de acceso: marzo 17, 2025, https://www.researchgate.net/publication/379043674_Integrating_artificial_intelligence_into_engineering_processes_for_improved_efficiency_and_safety_in_oil_and_gas_operations

80. (PDF) Hydraulic Fracturing Treatment Optimization Using Machine Learning (2023) | S. A. Moiseev - SciSpace, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://scispace.com/papers/hydraulic-fracturing-treatment-optimization-using-machine-30m8oqx2>

81. AI & ML in Oil & Gas Market Size, Share | CAGR of 11%, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://market.us/report/ai-ml-in-oil-gas-market/>

82. AI in Oil and Gas: Preventing Equipment Failures Before They Cost Millions, fecha de acceso: marzo 17, 2025,

<https://energiesmedia.com/ai-in-oil-and-gas-preventing-equipment-failures-before-they-cost-millions/>

83. Digital Transformation in Oil and Gas: Leveraging AI for Predictive Maintenance - OGGN, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://oggn.com/digital-transformation-in-oil-and-gas-leveraging-ai-for-predictive-maintenance/>

84. Energy Industry Upgrade Using Artificial Intelligence? - EnergyNow.com, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://energynow.com/2024/03/energy-industry-upgrade-using-artificial-intelligence/>

85. AI in Oil and Gas: How the Industry is Being Transformed by AI - Harnham, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.harnham.com/ai-in-oil-and-gas-how-the-industry-is-being-transformed-by-ai/>

86. Addressing Diverse Petroleum Industry Problems Using Machine Learning Techniques: Literary Methodology—Spotlight on Predicting Well Integrity Failures, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8793053/>

87. AI to make hydraulic fracturing more economically viable | GlobalSpec, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://insights.globalspec.com/article/19088/ai-to-make-hydraulic-fracturing-more-economically-viable>

88. ysph.yale.edu, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://ysph.yale.edu/news-article/integrated-effort-needed-to-mitigate-fracking-while-protecting-both-humans-and-the-environment/#:~:text=The%20process%20creates%20vast%20amounts,migratory%20disruptions%20and%20land%20degradation.>

89. Integrated effort needed to mitigate fracking while protecting both, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://ysph.yale.edu/news-article/integrated-effort-needed-to-mitigate-fracking-while-protecting-both-humans-and-the-environment/>

90. Why fracking is bad for the environment, fecha de acceso: marzo 17, 2025,

<https://environmentamerica.org/articles/fracking-is-an-environmental-disaster/>

91. Environmental impact of fracking - Wikipedia, fecha de acceso: marzo 17, 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/Environmental_impact_of_fracking

92. How Does Fracking Affect the Environment? - Investopedia, fecha de acceso: marzo 17, 2025,
<https://www.investopedia.com/ask/answers/011915/what-are-effects-fracking-environment.asp>

93. Health & Environmental Effects of Fracking - FracTracker Alliance, fecha de acceso: marzo 17, 2025,
<https://www.fracktracker.org/resources/oil-and-gas-101/health-environmental-effects-of-fracking/>

94. Fracking by the Numbers - Environment America, fecha de acceso: marzo 17, 2025,
<https://environmentamerica.org/california/resources/fracking-by-the-numbers/>

95. Effects on Air Quality | Fracking, Why? - U.OSU, fecha de acceso: marzo 17, 2025,
<https://u.osu.edu/engr2367publicdocument3/environmental-effects-of-fracking/effects-on-air-quality/>

96. Hydraulic Fracturing & Health - National Institute of Environmental Health Sciences, fecha de acceso: marzo 17, 2025,
<https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/fracking>

97. www.foodandwaterwatch.org, fecha de acceso: marzo 17, 2025,
<https://www.foodandwaterwatch.org/2024/07/23/methane-factory-farms-fracking/#:~:text=The%20oil%20and%20gas%20industry,metric%20tons%20of%20methane%20emissions.>

98. Methane Menaces: Fracking and Factory Farms' Dire Climate Impact, fecha de acceso: marzo 17, 2025,
<https://www.foodandwaterwatch.org/2024/07/23/methane-factory-farms-fracking/>

99. Fracking and Methane in the Permian Basin - Environment America, fecha de acceso: marzo 17, 2025,
<https://environmentamerica.org/texas/articles/fracking-and-methane-in-the-permian-basin/>

[sin/](#)

100. How fracking's methane leaks aggravate climate change - Aida-americas.org, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://aida-americas.org/en/blog/how-frackings-methane-leaks-aggravate-climate-change>

101. How AI in Oil and Gas Industry Can Solve Common Problem - - Macgence, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://macgence.com/blog/how-ai-in-oil-and-gas-industry-can-solve-common-problem/>

102. Revolutionizing the Oil & Gas Industry: The Impact of Artificial Intelligence, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://valve-world-americas.com/revolutionizing-the-oil-gas-industry-the-impact-of-artificial-intelligence/>

103. (PDF) Entry Barriers for Industry 4.0 in Argentina - ResearchGate, fecha de acceso: marzo 17, 2025, https://www.researchgate.net/publication/373932491_Entry_Barriers_for_Industry_4.0_in_Argentina

104. Argentina - Digital Economy - International Trade Administration, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/argentina-digital-economy>

105. (PDF) ENTRY BARRIERS FOR INDUSTRY 4.0 IN ARGENTINA - VII Congresso Internacional em Tecnologia e Organização da Informação - ResearchGate, fecha de acceso: marzo 17, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/358473334_ENTRY_BARRIERS_FOR_INDUSTRY_40_IN_ARGENTINA - VII Congresso Internacional em Tecnologia e Organizacao da Informacao](https://www.researchgate.net/publication/358473334_ENTRY_BARRIERS_FOR_INDUSTRY_40_IN_ARGENTINA_-_VII_Congresso_Internacional_em_Tecnologia_e_Organizacao_da_Informacao)

106. Argentina - Information and Communications Technology - International Trade Administration, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/argentina-information-and-communi>

[cations-technology](#)

107. Oil and gas can be slow to change. Can AI be a disruptor? | GlobalSpec, fecha de acceso: marzo 17, 2025,

<https://insights.globalspec.com/article/23508/oil-and-gas-can-be-slow-to-change-can-a-i-be-a-disruptor>

108. Data Suggests Growth in Enterprise Adoption of AI is Due to Widespread Deployment by Early Adopters - IBM Newsroom, fecha de acceso: marzo 17, 2025,

<https://newsroom.ibm.com/2024-01-10-Data-Suggests-Growth-in-Enterprise-Adoption-of-AI-is-Due-to-Widespread-Deployment-by-Early-Adopters>

109. Artificial Intelligence in Oil and Gas: Benefit, Use Cases, Examples - Appinventiv, fecha de acceso: marzo 17, 2025,

<https://appinventiv.com/blog/artificial-intelligence-in-oil-and-gas-industry/>

110. Overcoming Barriers to AI Adoption in Manufacturing: A Roadmap for Transformation, fecha de acceso: marzo 17, 2025,

<https://www.supplychainbrain.com/blogs/1-think-tank/post/40959-overcoming-barriers-to-ai-adoption-in-manufacturing-a-roadmap-for-transformation>

111. The great AI debate in the oil and gas industry: balancing job loss concerns with the thriving potential of AI applications - Kent, fecha de acceso: marzo 17, 2025,

<https://kentplc.com/news-insights/the-great-ai-debate-in-the-oil-and-gas-industry-balancing-job-loss-concerns-with-the-thriving-potential-of-ai-applications>

112. ARGENTINA OIL & GAS - Global Business Reports, fecha de acceso: marzo 17, 2025,

<https://www.gbreports.com/wp-content/uploads/2016/11/Argentina-Oil-Gas-2016-Book-Preview-Second-Ed.pdf>

113. Supercharging digital transformations in Oil & Gas - PwC, fecha de acceso: marzo 17, 2025,

<https://www.pwc.com/m1/en/publications/supercharging-digital-transformations-in-oil-gas.html>

114. AI spells opportunity and manageable risk for the oil and gas industry - DNV, fecha

de acceso: marzo 17, 2025,
<https://www.dnv.com/article/ai-spells-opportunity-and-manageable-risk-for-the-oil-and-gas-industry/>

115. Data Centers, AI and Energy Confluences: Expected Regulatory Shifts in the New Administration - KPMG International, fecha de acceso: marzo 17, 2025,
<https://kpmg.com/us/en/articles/2025/data-centers-ai-and-energy-confluences-expect-ed-regulatory-shifts-new-administration-reg-alert.html>

116. Energy Laws and Regulations 2025 | Argentina - Global Legal Insights, fecha de acceso: marzo 17, 2025,
<https://www.globallegalinsights.com/practice-areas/energy-laws-and-regulations/argentina/>

117. Renewable energy in Latin America: Argentina | Global law firm | Norton Rose Fulbright, fecha de acceso: marzo 17, 2025,
<https://www.nortonrosefulbright.com/en/knowledge/publications/963b8f44/renewable-energy-in-latin-america-argentina>

118. Oil & Gas Laws and Regulations Report 2025 Argentina - ICLG.com, fecha de acceso: marzo 17, 2025,
<https://iclg.com/practice-areas/oil-and-gas-laws-and-regulations/argentina>

119. Argentina's approach to AI: 'Let's not overregulate ourselves' - BNamericas, fecha de acceso: marzo 17, 2025,
<https://www.bnamericas.com/en/interviews/argentinas-approach-to-ai-lets-not-regulate-ourselves>

120. Overcoming the 4 Key Barriers to AI Adoption: Strategies for Success | Informatica, fecha de acceso: marzo 17, 2025,
<https://www.informatica.com/blogs/overcoming-the-4-key-barriers-to-ai-adoption-strategies-for-success.html.html>

121. Real-Time Fracturing Optimization Software - Corva, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.corva.ai/energy/completions/optimize-fracturing-treatments>

122. New Frac Optimization Platform Expands Corva's Leading Drilling Cloud, Continues

Its Vision for the Digital Oilfield of the Future, fecha de acceso: marzo 17, 2025,
<https://www.corva.ai/blog/new-frac-optimization-platform-expands-corvas-leading-drilling-cloud-continues-its-vision-for-the-digital-oilfield-of-the-future>

123. The profitability of hydraulic fracturing has been increased with the help of artificial intelligence | Сколтех, fecha de acceso: marzo 17, 2025,
<https://new.skoltech.ru/en/news/esg-27072022>

124. Wet sand fracturing pilot project reduces CO2e in Argentina - SLB, fecha de acceso: marzo 17, 2025,
<https://www.slb.com/resource-library/case-study-with-navigation/rpst/wet-sand-fracturing-vista-energy-argentina-vaca-muerta-basin-cs>

125. Vaca Muerta: Somos pioneros y líderes de las operaciones de hidrocarburos., fecha de acceso: marzo 17, 2025,
<https://desafiovacamuerta.ypf.com/vaca-muerta.html>

126. Recycling Fracking Water Drillers Reuse, Repeat - Texas Comptroller, fecha de acceso: marzo 17, 2025,
<https://comptroller.texas.gov/economy/fiscal-notes/archive/2015/october/fracking.php>

127. How and where is waste hydraulic fracturing fluid disposed? - Geoscience Profession, fecha de acceso: marzo 17, 2025,
<https://profession.americangeosciences.org/society/intersections/faq/how-and-where-is-waste-hydraulic-fracturing-fluid-disposed/>

128. HYDRAULIC FRACTURING AND THE MANAGEMENT, DISPOSAL, AND REUSE OF FRAC FLOWBACK WATERS - Sam Houston State University, fecha de acceso: marzo 17, 2025,
<https://www.shsu.edu/centers/rural-studies/Publications/hydraulic%20fracturing%20wastewater%20treatment%20final%20report.pdf>

129. Disposal of waste by hydraulic fracturing - International Atomic Energy Agency, fecha de acceso: marzo 17, 2025,
http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/16/011/16011278.pdf

130. Fracking - Greenpeace, fecha de acceso: marzo 17, 2025,

<https://www.greenpeace.org/usa/fracking/>

131. Drinking Water, Fracking, and Infant Health - PMC, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8986614/>

132. Public Health and Fracking - ANHE - Alliance of Nurses for Healthy Environments, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://envirn.org/energy-and-health/public-health-and-fracking/>

133. Stanford researchers show fracking's impact to drinking water sources, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://news.stanford.edu/stories/2016/03/pavillion-fracking-water-032916>

134. How is hydraulic fracturing related to earthquakes and tremors? - USGS.gov, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.usgs.gov/faqs/how-hydraulic-fracturing-related-earthquakes-and-tremors>

135. Does fracking cause earthquakes? | U.S. Geological Survey - USGS.gov, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.usgs.gov/faqs/does-fracking-cause-earthquakes>

136. Hydraulic Fracturing & Induced Seismicity - Ground Water Protection Council, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.gwpc.org/topics/hydraulic-fracturing/hydraulic-fracturing-induced-seismicity/>

137. Does fracking definitively cause earthquakes? : r/askscience - Reddit, fecha de acceso: marzo 17, 2025, https://www.reddit.com/r/askscience/comments/4l22ss/does_fracking_definitively_cause_earthquakes/

138. Earthquakes triggered by fracking, not just wastewater disposal, study finds | PBS News, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.pbs.org/newshour/science/earthquakes-triggered-by-fracking>

139. Deep reinforcement learning control of hydraulic fracturing (Journal Article) | OSTI.GOV, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.osti.gov/pages/biblio/1977009>

140. Design and Implementation of a Virtual Experimental Teaching System for Deep

Energy Exploitation Based on Digital Twin Technology - MDPI, fecha de acceso: marzo 17, 2025, <https://www.mdpi.com/2079-8954/12/10/386>