



Reporte entregable 54

Caso de uso de aplicación de IA e IAGEN

IA para la optimización del uso del agua en la fracturación hidráulica en Vaca Muerta

I. Introducción

La formación Vaca Muerta en Neuquén es uno de los reservorios de shale oil y shale gas más grandes a nivel mundial, cuya explotación mediante fracturación hidráulica impulsa el desarrollo energético de Argentina. Este proceso es altamente intensivo en el uso de agua: cada pozo requiere inyectar millones de litros de agua mezclada con arena y aditivos para liberar los hidrocarburos atrapados en la roca. De hecho, se estima que un solo pozo no convencional típicamente necesita del orden de 3 a 8 *millones de galones de agua* (aprox. 11 a 30 millones de litros) a lo largo de su ciclo de facturación. En Vaca Muerta, distintas fuentes locales apuntan a rangos similares o incluso mayores de consumo; por ejemplo, se han reportado entre 9 y 29 *millones de litros de agua por pozo fracturado*.

Esta enorme demanda de agua, en una provincia de condiciones semiáridas, impone una gran presión sobre los recursos locales. Por lo tanto, optimizar el empleo del agua en las operaciones de fracturación hidráulica es fundamental tanto para garantizar la sostenibilidad ambiental de la región como para asegurar la continuidad y eficiencia económica del desarrollo de Vaca Muerta.

II. Problema, desafío u oportunidad

La gran escala del uso de agua en la fracturación hidráulica conlleva múltiples impactos y desafíos. En términos ambientales, extraer decenas de miles de metros cúbicos de agua dulce para cada pozo puede afectar las cuencas locales y competir con otros usos, especialmente en temporadas secas.

Además, tras la operación de fractura, buena parte de ese volumen retorna a la superficie como fluido de retorno (*flowback*), el cual contiene sales y químicos; este agua residual debe ser tratada o dispuesta correctamente para evitar contaminación de suelos y acuíferos, en cumplimiento de normas ambientales estrictas.

Desde la perspectiva económica, el agua representa un costo operativo significativo en desarrollos no convencionales. Su adquisición, transporte y posterior disposición constituyen una parte sustancial del costo por pozo a lo largo de su vida útil. En Vaca Muerta este factor también cobra relevancia a medida que la actividad se intensifica. Un uso intensivo e ineficiente no solo encarece las operaciones (por el combustible, personal e infraestructura necesarios para mover millones de litros), sino que además genera desperdicio de un recurso valioso.

En este contexto, optimizar el consumo de agua – reduciendo volúmenes sin sacrificar la productividad de los pozos – se presenta tanto como un desafío urgente como una oportunidad de mejora sustancial en términos de sostenibilidad y reducción de costos para la industria.

III. Aplicación de la IA en la actividad específica

Con la transición de la industria desde yacimientos convencionales hacia los no convencionales, han emergido nuevos retos. Seleccionar las técnicas de inteligencia artificial (IA) más apropiadas resulta crucial para enfrentar estos retos de manera efectiva. Asimismo, los estudios actuales tienden a enfocarse en aspectos particulares, y tanto el ámbito académico como el industrial todavía no han alcanzado una visión completa sobre los impactos prácticos, la aplicabilidad y las posibles trayectorias de desarrollo de estas tecnologías en la explotación de yacimientos de petróleo y gas no convencionales.

- La inteligencia artificial (IA) está emergiendo como una herramienta clave para optimizar el uso del agua en la fracturación hidráulica. En la práctica, esto implica aplicar algoritmos de *machine learning* y otras técnicas avanzadas de análisis de datos para modelar y mejorar el diseño de las fracturas.
- A partir de grandes volúmenes de datos históricos (registros geológicos de pozos, diseños de fracturas pasados, presiones y caudales de bombeo, resultados de producción, etc.), los modelos de IA aprenden patrones complejos que relacionan las características de un pozo y su plan de completación con el desempeño obtenido. De este modo, es posible predecir con mayor precisión cuánta agua se necesitará realmente para fracturar eficientemente un pozo dado, optimizando parámetros operativos como el volumen óptimo de agua por etapa, la presión de bombeo o incluso la dosificación de aditivos químicos en el fluido.

Por ejemplo, algoritmos de aprendizaje automático pueden determinar el volumen adecuado para cada etapa de fractura y ajustar en tiempo real la tasa de bombeo, evitando tanto la subestimación (quedarse corto de fluido) como el exceso de agua que no aporte valor. En casos documentados, la implementación de controles inteligentes basados en IA durante la inyección ha logrado reducir en torno a un 15% el consumo de agua en pozos fracturados, manteniendo o incluso mejorando la efectividad de la estimulación respecto a diseños tradicionales.

- La IA facilita el monitoreo continuo, la detección de anomalías y los ajustes dinámicos de las tasas de inyección de fluidos en los procesos de estimulación de pozos. Además, puede optimizar las tasas de inyección de fluidos de fracturación hidráulica para minimizar la entrada de agua manteniendo la eficiencia de la fracturación.

Existen aplicaciones de gestión del agua que integran el monitoreo de datos en tiempo real y la analítica avanzada para el abastecimiento, el transporte, el reciclaje y la disposición del agua en las operaciones de fracturación hidráulica.

- Plataformas con implementación de IA proporcionan una visión integral del ciclo de vida del agua, permitiendo a los operadores tomar decisiones informadas para reducir el consumo y aumentar el reciclaje, y demuestran cómo la IA puede desempeñar un papel clave en lograr fracturas hidráulicas más “inteligentes”, reduciendo el agua utilizada sin sacrificar la productividad.

Sumado a ello, los modelos de IA Generativa en la actualidad pueden aumentar los beneficios y la optimización. 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. Tal como se verá, la combinación con agentes, permiten optimizar los procesos.

IV. Agentes de IA y workflows agénticos. La evolución de la IA generativa.

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.

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 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 agentes impulsados por IAGEN

a. Agente propuesto

Función general:

Asistir a operadores, ingenieros y tomadores de decisiones en la **gestión inteligente del agua**, utilizando IA generativa, aprendizaje automático y datos en tiempo real.

b. Funcionalidades del agente:

Predicción de consumo de agua:

- Usar modelos de machine learning para estimar cuánta agua requiere cada etapa de fractura en un pozo específico.

Optimización dinámica en tiempo real:

- Ajustar tasas de bombeo y volúmenes en función de datos de sensores y micro-sismicidad durante la operación.

Análisis de eficiencia hídrica:

- Evaluar la relación hidrocarburos/agua por pozo e identificar oportunidades de mejora.

Simulación de escenarios con IAGEN:

- Generar y comparar diferentes diseños de fractura para minimizar el uso de agua sin sacrificar productividad.

Recomendaciones operativas automatizadas:

- Generar reportes y sugerencias para operadores usando PNL (procesamiento de lenguaje natural).

Monitoreo de KPI ambientales y de costos:

- Ahorro de agua por pozo, reducción de viajes de camiones, menor volumen de flowback, etc.

Generación de reportes regulatorios:

- Automatizar informes de cumplimiento ambiental usando datos recopilados y procesados.

c. Requisitos para su implementación:

- **Base de datos estructurada:** diseños de fractura, consumo de agua, producción, condiciones geológicas.
- **Sensores en tiempo real:** presión, caudal, volumen inyectado y recuperado.
- **Plataforma de integración:** dashboards, API de datos, módulos de simulación.

- **Interfaz conversacional:** permite que el agente responda preguntas del equipo técnico (por ejemplo, “¿Cuál fue la eficiencia hídrica del Pozo A15?”).

V. Comparación con métodos tradicionales

A diferencia de los métodos tradicionales de planificación de fracturas – basados en simulaciones físicas convencionales y en la experiencia directa de los ingenieros – los enfoques con IA ofrecen mayor velocidad y precisión en la optimización.

Con métodos tradicionales, la estimación de parámetros óptimos (volúmenes de agua, tasa de bombeo, secuencias de etapas, etc.) suele implicar múltiples iteraciones de simulaciones numéricas que pueden tomar mucho tiempo y no siempre capturan toda la variabilidad geológica del yacimiento.

Además, muchas decisiones históricamente se apoyaban en hojas de cálculo y reglas heurísticas, lo cual conlleva un amplio margen de incertidumbre y a menudo lleva a diseñar tratamientos conservadores.

En cambio, los algoritmos de IA pueden procesar en minutos u horas grandes conjuntos de datos de fracturas pasadas y calibrar modelos predictivos que generalizan mejor el resultado esperado en un nuevo pozo. Esto permite evaluar virtualmente cientos de escenarios y obtener un plan de fractura óptimo mucho más rápidamente, reduciendo drásticamente el tiempo de planificación (de días a potencialmente horas) y habilitando ajustes sobre la marcha según se disponga de nueva información. En cuanto a exactitud, los modelos de *machine learning*, una vez entrenados, han demostrado predecir el comportamiento de producción de pozos fracturados con errores menores o similares a los de las simulaciones físicas tradicionales, pero con una eficiencia computacional muy superior.

Los métodos convencionales también tienden a operar con un cierto factor de seguridad que deriva en uso excedente de agua por *precaución*.

La IA, en cambio, puede afinar esos márgenes basándose en evidencia empírica extensiva, entregando un diseño más ajustado a la realidad específica de cada pozo. Asimismo, mientras una simulación estática proporciona un resultado fijo, los sistemas inteligentes pueden incorporar datos en tiempo real (por ejemplo, lecturas de presión y micro-sismicidad durante la fractura) para recalibrar el modelo y guiar decisiones instantáneas, algo impracticable con las metodologías manuales.

Todo esto redundando en que, comparada con la ingeniería convencional, la IA ofrece mayor rapidez en el análisis, capacidad de manejar mayor complejidad y recomendaciones más precisas. En la práctica, esto se traduce en fracturas hidráulicas mejor calibradas, con menos pruebas y error, y ejecutadas en menor tiempo. La agilización no solo aplica a la planificación sino también a la ejecución: al poder optimizar secuencias y volúmenes de forma dinámica, se acorta el ciclo completo de diseño y bombeo de la fractura por pozo, incrementando la productividad de las cuadrillas y equipos de fractura en campo.

VI. Beneficios directos en términos operativos y estratégicos

La adopción de IA para optimizar el agua en fracturación conlleva beneficios tangibles tanto operativos como estratégicos.

- En primer lugar, se logra un ahorro directo de agua por pozo: al afinar las cantidades realmente necesarias por etapa y evitar sobre-diseños, cada pozo puede consumir sensiblemente menos agua que con métodos tradicionales. Estudios de campo reportan reducciones del orden de 10–15% en el volumen de agua inyectado por pozo tras aplicar modelos predictivos basados en IA. Esta disminución implica decenas de miles de litros menos por pozo, lo que se traduce en menor desperdicio y en un impacto hídrico reducido por operación. Al utilizar menos agua inicialmente, se genera menos agua residual que necesita ser gestionada
- En segundo lugar, la reducción de consumo hídrico acarrea una disminución de costos operativos: si un pozo requiere menos agua, se reducen

proporcionalmente los gastos de compra o captación de ese recurso, así como los costos logísticos de su transporte (ya sea en camiones cisterna o a través de ductos temporales hacia la locación). Por ejemplo, al recortar ~15% del agua en un pozo típico de Vaca Muerta, se pueden evitar onerosos cientos de viajes de camión, con el consecuente ahorro en combustible, horas de trabajo y mantenimiento de caminos, además de menores costos de tratamiento de los efluentes generados.

- Otro beneficio clave es el incremento en la eficiencia de producción por unidad de agua utilizada. Al ajustar el diseño de fractura para que cada litro de agua aporte la mayor estimulación posible en la roca, se eleva la productividad del recurso hídrico. En otras palabras, mejora la relación entre hidrocarburos obtenidos y agua consumida. Si gracias a la IA se logra la misma (o mayor) producción con menos agua, el rendimiento por metro cúbico utilizado se incrementa considerablemente.
- Adicionalmente, al optimizar el uso del agua se reduce la cantidad de fluido residual que requiere manejo (menos volumen retornado a tratar), simplificando la logística post-fractura y disminuyendo riesgos ambientales asociados a grandes volúmenes de descarte. En conjunto, estos beneficios posicionan a la IA no solo como una herramienta de ahorro, sino como un factor que aumenta la eficiencia global de la operación (más producción por recurso invertido), algo crítico para la competitividad de los proyectos shale.

VII. Desafíos y estrategias para superarlos

A pesar de sus ventajas, la incorporación de la IA en las operaciones de fracturación hidráulica enfrenta una serie de desafíos que deben gestionarse para lograr una implementación efectiva.

- Uno de los principales obstáculos es de índole técnico-económica: las soluciones de IA y digitalización requieren inversiones iniciales elevadas en infraestructura (sensores, redes de comunicación, plataformas de datos en la nube, software especializado, etc.), lo cual puede quedar fuera del alcance de operadores más pequeños. Adicionalmente, integrar estas nuevas

herramientas con la infraestructura existente no es trivial; muchas compañías tienen dificultades para hacer compatibles sus sistemas tradicionales con las plataformas digitales avanzadas.

- Ligado a esto está el tema de la disponibilidad y calidad de los datos: la IA es tan buena como los datos con los que se entrena. En reservorios no convencionales heterogéneos como Vaca Muerta, a veces los datos históricos son limitados o dispersos, y asegurar datos fiables en tiempo real puede ser complejo. La implementación exitosa exige invertir en la captura y gestión de datos (por ejemplo, recopilando consistentemente información de pozos, volúmenes de agua usados, presiones registradas, producción obtenida, etc.) para alimentar los modelos predictivos; sin embargo, en la práctica la obtención oportuna de datos de calidad suele ser un reto. Este aspecto técnico va de la mano con la necesidad de contar con personal capacitado para manejar estas herramientas: la curva de aprendizaje puede ser pronunciada y requerir entrenamiento especializado del equipo humano.
- Otros desafíos son de tipo organizacional y cultural. La adopción de IA implica cambios en los procesos de trabajo y requiere nuevas habilidades; el personal debe capacitarse en el uso de estas herramientas y en la interpretación de sus resultados. Es común encontrar cierta resistencia al cambio por parte de ingenieros y operadores acostumbrados a métodos tradicionales, ya sea por desconfianza en un "algoritmo" o por temor a que la automatización reduzca el valor de su experiencia.
- Superar esta barrera requerirá programas de capacitación y sensibilización, además de una integración gradual: por ejemplo, comenzar aplicando la IA como un sistema de apoyo a la decisión (convalidando sus sugerencias con expertos humanos) hasta generar confianza en sus recomendaciones. También es crucial abordar la aceptación interna mostrando éxitos tempranos: pilotear la tecnología en uno o dos proyectos iniciales y comunicar claramente los ahorros de agua y mejoras operativas logrados puede ayudar a convencer a la organización de su valor.
- 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.

VIII. Conclusión y recomendaciones

En conclusión, la aplicación de inteligencia artificial en la optimización del agua para fracturación hidráulica en Vaca Muerta representa no solo una innovación tecnológica, sino una decisión estratégica para el sector energético. Las experiencias internacionales y los primeros pasos locales indican que las técnicas de IA pueden reducir significativamente el agua requerida por pozo, recortar costos y mejorar la productividad por unidad de agua, todo ello sin sacrificar el rendimiento en producción.

A medida que la actividad en Vaca Muerta continúe en expansión – con escenarios a futuro donde podrían perforar miles de pozos anuales, llegando a requerir decenas de millones de metros cúbicos de agua por año – el rol de la IA será cada vez más importante para gestionar este recurso de forma inteligente y sustentable. Es esperable que en los próximos años se consolide la integración de modelos predictivos en tiempo real durante las operaciones de fractura, combinados con sistemas automatizados de reciclaje de agua, lo cual podría acercar a la industria hacia un ciclo casi cerrado en el uso hídrico.

Aquellas empresas que logren internalizar estas capacidades digitales obtendrán una ventaja competitiva en eficiencia y cumplimiento ambiental, aspecto cada vez más valorado por inversores y reguladores.

Recomendaciones estratégicas: Para aprovechar al máximo esta oportunidad, se sugieren las siguientes acciones para una adopción efectiva de la IA en la optimización del agua en Vaca Muerta:

- Implementar proyectos piloto de IA enfocados en la planificación de fracturas hidráulicas, comenzando en una escala acotada (por ejemplo, en uno o dos pads de prueba). Esto permitirá cuantificar los ahorros de agua y mejoras operativas de forma controlada antes de una implementación masiva. Los pilotos exitosos servirán de caso de negocio demostrativo dentro de la empresa.
- Invertir en infraestructura de datos y monitoreo: Asegurar la medición precisa y en tiempo real de los parámetros clave (volúmenes de agua por etapa, presiones de bombeo, tasas de flujo, volumen de flowback recuperado, etc.) e integrar esos datos en una plataforma central. Una base de datos de alta calidad es esencial para entrenar y alimentar los modelos de IA con información confiable.
- Capacitar a los equipos técnicos: Desarrollar programas de formación en ciencia de datos, análisis predictivo y manejo de herramientas de IA para el personal de ingeniería y operaciones. El objetivo es que los ingenieros de yacimiento y completación se familiaricen con estas nuevas herramientas, aprendan a interpretar sus resultados y las utilicen como apoyo en la toma de decisiones diarias.
- Colaborar con expertos y proveedores tecnológicos: Aliarse con empresas especializadas en analítica para oil & gas o con centros de I+D puede acelerar la curva de aprendizaje. Estas alianzas facilitan el acceso a know-how avanzado, algoritmos de última generación y mejores prácticas de implementación que han sido probadas en otros proyectos.
- Monitorear indicadores clave de desempeño: Dar seguimiento continuo a métricas como el *ahorro de agua por pozo* logrado frente a la línea base, la *reducción de costos* asociados al agua (transporte, tratamiento) y la *productividad por agua* (volumen de hidrocarburos obtenido por m³ de agua). Estos KPI permitirán evaluar objetivamente el impacto de la IA y ajustar la estrategia según resultados.

En resumen, la IA ofrece una palanca de optimización poderosa para el uso eficiente del agua en la fracturación hidráulica de Vaca Muerta. Su adopción conlleva ahorros significativos, mejoras en la eficiencia operativa y un menor impacto ambiental –

factores críticos para la viabilidad a largo plazo del desarrollo no convencional. Se recomienda a las empresas del sector avanzar proactivamente en la incorporación de estas tecnologías, ya que invertir hoy en IA y gestión inteligente del agua redundará en operaciones más resilientes, rentables y sustentables, asegurando el éxito futuro de Vaca Muerta como polo energético de categoría mundial

Fuentes citadas

1. Digitized Workflow Aids Water Management for Hydraulic Fracturing acceso: 3 de abril de 2025. Disponible en:[Digitized Workflow Aids Water Management for Hydraulic Fracturing](#)
2. A visit to a fracking zone in Patagonia - Fundação Rosa Luxemburgo acceso: 3 de abril de 2025. Disponible en:[A visit to a fracking zone in Patagonia - Fundação Rosa Luxemburgo](#)
3. Watershed implications of shale oil and gas production in Vaca Muerta, Argentina acceso: 3 de abril de 2025. Disponible en:[Watershed implications of shale oil and gas production in Vaca Muerta, Argentina](#)
4. Digitized Workflow Aids Water Management for Hydraulic Fracturing acceso: 3 de abril de 2025. Disponible en:[Digitized Workflow Aids Water Management for Hydraulic Fracturing](#)
5. Vaca Muerta Challenge acceso: 3 de abril de 2025. Disponible en:[Vaca Muerta Challenge](#)
6. How Grounded AI Could Save \$1 Billion in the Permian Water Sector acceso: 3 de abril de 2025. Disponible en:[How Grounded AI Could Save \\$1 Billion in the Permian Water Sector | Hart Energy](#)
7. A Review of AI Applications in Unconventional Oil and Gas Exploration and Development acceso: 3 de abril de 2025. Disponible en:[A Review of AI Applications in Unconventional Oil and Gas Exploration and Development](#)
8. The humanity of AI: How oilfield operations need to balance human and technology”, acceso: 3 de abril de 2025. Disponible en:<https://4941541.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/4941541/EZ%20Ops/The%20Humanity%20of%20AI%20How%20Oilfield%20Operations%20Need%20to%20Balance%20Humans%20and%20Technology%20Whitepaper%20.pdf#>:

[~:text=Water%20usage%20and%20disposal%20is,seismicity%20associated%20with%20wastewater%20disposal.](#)

9. Robotics and artificial intelligence in unconventional reservoirs: Enhancing efficiency and reducing environmental impact. acceso: 3 de abril de 2025. Disponible en: [Robotics and artificial intelligence in unconventional reservoirs: Enhancing efficiency and reducing environmental impact.](#)
10. Innovative Artificial Intelligence Approach in Vaca Muerta Shale Oil Wells for Real Time Optimization acceso: 3 de abril de 2025. Disponible en: [Innovative Artificial Intelligence Approach in Vaca Muerta Shale Oil Wells for Real Time Optimization | Request PDF](#)
11. The Role of Artificial Intelligence in Optimizing Well Stimulation Techniques acceso: 3 de abril de 2025. Disponible en: [The Role of Artificial Intelligence in Optimizing Well Stimulation Techniques - Esimtech](#)
12. Robotics and artificial intelligence in unconventional reservoirs: Enhancing efficiency and reducing environmental impact. acceso: 3 de abril de 2025. Disponible en: [Robotics and artificial intelligence in unconventional reservoirs: Enhancing efficiency and reducing environmental impact.](#)
13. Digitized Workflow Aids Water Management for Hydraulic Fracturing acceso: 3 de abril de 2025. Disponible en: [Digitized Workflow Aids Water Management for Hydraulic Fracturing](#)
14. Sustainable water management in the oil and gas industry: Harnessing the power of AI and data-driven solutions for efficient water use acceso: 3 de abril de 2025. Disponible en: [Sustainable water management in the oil and gas industry: Harnessing the power of AI and data-driven solutions for efficient water use](#)
15. How Grounded AI Could Save \$1 Billion in the Permian Water Sector acceso: 3 de abril de 2025. Disponible en: [How Grounded AI Could Save \\$1 Billion in the Permian Water Sector | Hart Energy](#)
16. La IA, el Oil & Gas y el agua: el desafío oculto de la digitalización en la industria energética acceso: 4 de abril de 2025. Disponible en: [La IA, el Oil & Gas y el agua: el desafío oculto de la digitalización en la industria energética](#)

17. Robotics and artificial intelligence in unconventional reservoirs: Enhancing efficiency and reducing environmental impact. acceso: 4 de abril de 2025. Disponible en: [Robotics and artificial intelligence in unconventional reservoirs: Enhancing efficiency and reducing environmental impact.](#)
18. AI for Water: 10 Ways AI is Changing the Water Industry acceso: 4 de abril de 2025. Disponible en: [AI for Water: 10 Ways AI is Changing the Water Industry | TD SYNEX Public Sector](#)
19. Can AI make waves in your water utility? acceso: 4 de abril de 2025. Disponible en: [Can AI make waves in your water utility? | Arcadis](#)
20. Watershed implications of shale oil and gas production in Vaca Muerta, Argentina acceso: 4 de abril de 2025. Disponible en: [https://www.sei.org/wp-content/uploads/2021/05/watershed-implications-of-shale-oil-and-gas-production-in-vaca-muerta.pdf#:~:text=D%E2%80%99Odorico%20,2024%2C%20reaching%207.4%20million%20m3](#)