



Reporte entregable 11

Caso de uso de aplicación de IA e IAGEN

Optimización de Agua y Energía en Fracturación mediante IAGEN en Vaca Muerta, Neuquén

I. Introducción

La formación Vaca Muerta, ubicada en la provincia de Neuquén, Argentina, se ha consolidado como uno de los yacimientos de shale oil y gas más importantes a nivel global, comparable en magnitud y potencial a la prolífica Cuenca Eagle Ford en Texas. Su relevancia estratégica para el sector energético argentino es innegable, con el país aspirando a posicionarse entre los 20 mayores exportadores de petróleo para el año 2030, un objetivo fuertemente impulsado por la producción de Vaca Muerta. Esta ambición subraya la necesidad crítica de implementar tecnologías que no solo maximicen la eficiencia de extracción sino que también optimicen los costos operativos.

La explotación de los recursos no convencionales depende en gran medida de la fracturación hidráulica intensiva, una técnica que demanda considerables volúmenes de agua, energía y materiales. Este alto consumo de recursos plantea desafíos significativos tanto desde una perspectiva ambiental como operativa.

Los métodos tradicionales de fracturación a menudo emplean parámetros fijos, lo que limita su capacidad de adaptación a la inherente heterogeneidad de los yacimientos. Esta falta de flexibilidad conduce a ineficiencias en la utilización de los recursos, incrementando los costos y afectando la sostenibilidad de las operaciones. La variabilidad intrínseca de los reservorios de esquisto en Vaca Muerta exige, por lo tanto, enfoques dinámicos y adaptativos para la fracturación hidráulica, lo que hace que las

metodologías basadas en parámetros estáticos resulten inadecuadas. La magnitud de las operaciones amplifica ineficiencias en el consumo de agua y energía, lo que subraya la urgencia de encontrar soluciones optimizadas.

En este contexto, la Inteligencia Artificial Generativa (IAGEN) emerge como una solución transformadora con el potencial de revolucionar los procesos de fracturación. IAGEN ofrece un enfoque disruptivo al permitir el análisis de datos en tiempo real y el ajuste automatizado de los parámetros operativos. Esta capacidad promete mejoras sustanciales en la eficiencia y una reducción significativa de los costos.

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.

El creciente interés en la aplicación de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático en la fracturación hidráulica, evidenciado por el notable aumento en la investigación durante la última década, refleja un reconocimiento cada vez mayor del potencial de estas tecnologías en la industria.

IAGEN representa una aplicación de vanguardia de estos avances. Ofrece una nueva perspectiva sobre la optimización de la extracción de recursos no convencionales.

El propósito de este informe es proporcionar un análisis exhaustivo y a nivel experto del potencial de IAGEN en la optimización de la fracturación hidráulica en Vaca Muerta, respaldado por la investigación actual y las perspectivas de la industria. El alcance incluye un examen detallado de la tecnología, sus beneficios, los desafíos de implementación y las implicaciones estratégicas, con un enfoque particular en la eficiencia del agua y la energía, así como en la sostenibilidad.

II. Contextualización Profunda del Desafío en Vaca Muerta

La formación Vaca Muerta se compone de una compleja mezcla de lutitas ricas en materia orgánica y carbonatos interdigitados, lo que presenta tanto oportunidades como desafíos para la extracción de hidrocarburos. Esta complejidad geológica es un factor clave que contribuye a la variabilidad en las propiedades del yacimiento. De hecho, la formación exhibe una heterogeneidad significativa en propiedades mecánicas como el módulo de Young y la relación de Poisson, lo que refuerza la necesidad de estrategias de fracturación adaptativas.

Diseños subóptimos en completamientos de fracturación multietapa pueden resultar en que las fracturas no contribuyan a la producción, lo que pone de manifiesto el considerable margen de mejora que existe a través de la optimización.

La intrincada geología y la marcada heterogeneidad de Vaca Muerta son los principales impulsores de las ineficiencias observadas en los métodos tradicionales de fracturación. Comprender estas características es fundamental para adaptar las soluciones IAGEN de manera efectiva.

La alta tasa de fallas en las fracturas subraya la importante oportunidad de mejora que ofrece el diseño impulsado por la inteligencia artificial.

El proceso de fracturación hidráulica en Vaca Muerta se caracteriza por la inyección intensiva de grandes volúmenes de agua a alta presión. Esta elevada demanda de agua es especialmente preocupante en la meseta de Neuquén, una región que se enfrenta a la escasez de recursos hídricos.

Las fluctuaciones en la presión y el caudal durante las operaciones pueden generar un consumo excesivo de agua y energía. Esta ineficiencia tiene un impacto directo en los costos operativos y en la huella ambiental de las operaciones. La escasez de agua en la región de Vaca Muerta aumenta la importancia de la optimización del agua mediante IAGEN. La conexión directa entre las fluctuaciones operativas y el consumo excesivo de recursos resalta un área clave donde IAGEN puede proporcionar ajustes en tiempo real.

El alto consumo de agua y energía inherente a la fracturación contribuye a un impacto ambiental considerable, incluyendo una significativa huella de carbono. Las empresas se enfrentan a una presión cada vez mayor para adoptar prácticas sostenibles y cumplir con normativas ambientales cada vez más estrictas.

El creciente enfoque en la sostenibilidad ambiental y la existencia de regulaciones en Neuquén generan un fuerte incentivo para la adopción de IAGEN, que puede abordar directamente la eficiencia del agua y la energía, y potencialmente facilitar el cumplimiento normativo.

III. Aplicación Integral de IAGEN en el Proceso de Fracturación

IAGEN se centra en la transformación del proceso de fracturación mediante la integración y el análisis de datos en tiempo real. Esto permite realizar ajustes proactivos basados en las condiciones cambiantes.

La integración de datos operativos, geológicos y ambientales permite a IAGEN prever cambios en las condiciones de fracturación. Esta capacidad predictiva es fundamental para la optimización. El cambio de ajustes reactivos a predicciones proactivas basadas en datos en tiempo real es una ventaja fundamental de IAGEN. Esto permite un enfoque más anticipatorio y eficiente de la fracturación.

IAGEN utiliza modelos generativos para evaluar múltiples escenarios operativos. Esto permite la identificación de estrategias óptimas de utilización de recursos.

Al simular diferentes configuraciones de fracturación, IAGEN puede recomendar ajustes precisos para maximizar la eficiencia operativa. Este enfoque basado en escenarios permite una toma de decisiones basada en datos. La capacidad de simular y comparar rápidamente varios escenarios operativos proporciona una herramienta poderosa para optimizar los parámetros de fracturación, algo que no es factible con los métodos tradicionales.

La función principal de IAGEN es la optimización dinámica del consumo de agua y

energía durante la fracturación. Esto aborda los desafíos clave identificados anteriormente. Al analizar los datos en tiempo real, IAGEN puede ajustar automáticamente los parámetros operativos para lograr un uso óptimo y personalizado de los recursos. Esta adaptabilidad es crucial para la eficiencia. El objetivo directo de la optimización del agua y la energía posiciona a IAGEN como una solución que aborda directamente las preocupaciones ambientales y económicas más apremiantes relacionadas con la fracturación en Vaca Muerta.

IV. Análisis Detallado de Tecnologías y Modelos Empleados

Dentro del marco de IAGEN, se emplean diversos modelos predictivos y algoritmos de aprendizaje automático para optimizar el proceso de fracturación.

- Modelos de regresión y árboles de decisión

Los modelos de regresión y los árboles de decisión permiten prever el comportamiento del fluido de fracturación y ajustar los parámetros operativos en consecuencia. Estos modelos son eficaces para identificar relaciones lineales y no lineales en los datos operativos.

- Redes neuronales profundas

Las redes neuronales profundas, por otro lado, tienen la capacidad de analizar grandes volúmenes de datos para identificar patrones complejos y no lineales en la dosificación de fluidos y el consumo energético. Su capacidad para manejar la alta dimensionalidad de los datos de fracturación las hace particularmente valiosas.

- Gradient Boosting (GBMs)

Los modelos de Gradient Boosting (GBMs) han demostrado un rendimiento sólido en la predicción de la producción de petróleo y líquidos después de la fracturación hidráulica, lo que sugiere su potencial para la previsión de la producción dentro de IAGEN.

Las Redes Neuronales Artificiales (ANNs) también han sido utilizadas con éxito para

predecir la mejora de la productividad en la fracturación ácida, otra técnica de estimulación de pozos, lo que demuestra la aplicabilidad más amplia de las redes neuronales en la optimización del rendimiento de los pozos.

- Redes neuronales convolucionales

Arquitecturas avanzadas como las Redes Neuronales Convolucionales con Mecanismo de Autoatención (SACNN) y las Redes Neuronales Artificiales con Optimización por Cúmulo de Partículas Mutadas (MPSO-ANN) se han empleado para la predicción de alta precisión de la distribución de probabilidad de gas en yacimientos, lo que destaca la posibilidad de que IAGEN incorpore modelos sofisticados para el análisis del subsuelo. Además, la combinación del framework Transformer con la Optimización por Cúmulo de Partículas Multiobjetivo (MOPSO) se ha utilizado para optimizar los parámetros de inyección-producción en la inundación con gas, lo que demuestra la capacidad de la IA para la optimización multiobjetivo en la gestión de yacimientos.

- IAGEN

IAGEN puede integrar una amplia gama de modelos de aprendizaje automático, cada uno adecuado para tareas específicas dentro del proceso de optimización de la fracturación, desde la predicción del comportamiento de los fluidos hasta la previsión de la producción y la optimización de las estrategias de inyección. La elección del modelo dependerá de los datos específicos y del resultado deseado.

- Integración de IoT y sensores avanzados

La integración del Internet de las Cosas (IoT) y sensores avanzados es fundamental para la recopilación de datos en tiempo real. Los sensores instalados en los pozos y equipos capturan información crítica sobre la presión, el caudal y el consumo energético. Esta información constituye la base para el análisis de IAGEN.

La tecnología de Detección Acústica Distribuida (DAS) puede proporcionar mediciones continuas del subsuelo para el monitoreo de fracturas, lo que permite la visualización

en tiempo real del rendimiento de la fractura.

Las redes de sensores inalámbricos pueden monitorear la inclinación de la superficie durante la fracturación hidráulica para determinar la dirección de la fractura formada, proporcionando información valiosa sobre la propagación de la fractura.

Los sensores de nivel hidrostáticos sumergibles con transmisores inalámbricos pueden monitorear los niveles de las piletas de fracturación, abordando las preocupaciones ambientales y asegurando la disponibilidad suficiente de fluidos.

Una red integral de sensores IoT es esencial para proporcionar a IAGEN los datos continuos y de alta resolución necesarios para un análisis y optimización precisos en tiempo real. Los diferentes tipos de sensores proporcionan información sobre diversos aspectos del proceso de fracturación, tanto en la superficie como en el subsuelo.

Plataformas de Big Data

Para gestionar y procesar los grandes volúmenes de datos generados durante la fracturación, se requieren plataformas de Big Data robustas.

Estas plataformas permiten centralizar y procesar tanto datos históricos como datos en tiempo real para alimentar los modelos predictivos.

La industria del petróleo y el gas genera enormes cantidades de datos diariamente.

Las plataformas basadas en la nube ofrecen escalabilidad y flexibilidad para manejar los conjuntos de datos masivos involucrados en las operaciones de fracturación.

El análisis de Big Data facilita la identificación de patrones y tendencias en el comportamiento del yacimiento y los parámetros operativos.

El gran volumen y la velocidad de los datos generados durante la fracturación requieren una infraestructura de Big Data sólida para almacenar, gestionar y procesar esta información de manera efectiva para IAGEN. Las soluciones basadas en la nube son

probablemente esenciales para manejar la escala de los datos.

V. Propuesta de Flujo Agéntico para la Implementación de 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. Agentes de IAGEN aplicables al análisis predictivo del rendimiento de pozos

Adoptar un paradigma de agentes de IA con enfoques no-code y low-code presenta una oportunidad significativa para superar las limitaciones de los métodos tradicionales y acelerar la adopción de la inteligencia artificial en la industria petrolera. Al simplificar el desarrollo y la implementación de soluciones de IA, se democratiza el acceso a estas tecnologías, permitiendo que profesionales sin una formación técnica profunda puedan crear y personalizar agentes adaptados a sus necesidades específicas.

Esta lógica reduce los costos asociados al desarrollo de software a medida, agiliza la

experimentación y la iteración, y permite adaptar con mayor facilidad los cambios en las condiciones operativas y del yacimiento. Al complementar los modelos predictivos y generativos ya descritos, los agentes de IA pueden automatizar flujos de trabajo complejos, desde la recopilación y el análisis de datos en tiempo real hasta la generación de recomendaciones y la toma de decisiones proactivas, maximizando así la eficiencia y la productividad.

Además, el uso de plataformas no-code y low-code para la creación de agentes de IA permite una mayor flexibilidad y escalabilidad. Estas herramientas suelen ofrecer interfaces intuitivas y componentes pre-construidos que pueden ensamblarse y personalizarse sin necesidad de escribir código desde cero. Esto acelera el desarrollo y fundamentalmente facilita la integración con sistemas existentes y la adaptación a nuevas fuentes de datos o requisitos operativos. Al reducir la dependencia de desarrolladores especializados y permitir una mayor participación de los expertos en la materia, se fomenta una cultura de innovación y colaboración, donde el conocimiento técnico y la experiencia en la industria se combinan para crear soluciones de IA más efectivas, menos costosas y que aumentan la capacidad de optimización en diferentes tareas. En síntesis, hay que avanzar hacia un enfoque híbrido que combine los métodos analíticos y predictivos con la capacidad de automatización y adaptación de los agentes de IA.

3. Propuesta de diseño de agente de IA impulsado por IAGEN

El proceso de implementación de IAGEN se divide en cinco fases integradas, formando un ciclo continuo de optimización.

- a. La fase de Recolección y Validación de Datos adquiere un rol central en la optimización del consumo de agua y energía durante la fracturación hidráulica. Se enfatiza la necesidad de datos precisos y de alta calidad provenientes de sensores IoT, como medidores de caudal, presión, temperatura y consumo

energético, así como registros históricos de operaciones previas. Esta etapa involucra procesos detallados de integración, limpieza y preprocesamiento de datos, asegurando que la información que alimenta los modelos refleje de manera fidedigna el uso real de recursos en cada etapa del proceso de fractura.

- b. Durante la fase de Análisis y Modelado Predictivo, se aplican modelos de machine learning como Gradient Boosting Machines (GBM), redes neuronales artificiales (ANN) y arquitecturas de deep learning para identificar patrones de consumo de agua y energía en distintas configuraciones de bombeo y diseño de etapas. A través de técnicas de ingeniería de características, se extraen variables clave que influyen en la eficiencia de los recursos, permitiendo construir modelos predictivos que anticipen consumos según parámetros geológicos, operativos y ambientales.
- c. La etapa de Generación de Escenarios y Recomendaciones utiliza modelos generativos y simulaciones para evaluar configuraciones alternativas de fracturación. Se analizan combinaciones de tasas de inyección, viscosidades de fluidos, presiones y secuencias de bombeo, con el objetivo de determinar ajustes que reduzcan el volumen de agua y la energía requerida sin comprometer la productividad del pozo. Los criterios de optimización incluyen el ahorro de recursos, la estabilidad del pozo y el impacto ambiental.
- d. En la fase de Implementación de Ajustes y Monitoreo Continuo, las recomendaciones generadas por los agentes IAGEN se integran con los sistemas de control como SCADA o DCS, habilitando ajustes automáticos en tiempo real. Se monitorean continuamente los KPIs relacionados al uso de agua por etapa, eficiencia energética del bombeo y consumo específico por unidad de producción. Esta fase asegura que los parámetros operativos se mantengan dentro de los márgenes de eficiencia establecidos.
- e. Finalmente, la Retroalimentación y Optimización Continua establece un bucle cerrado de mejora, donde los modelos se reentrenan periódicamente con nuevos datos operativos. Esto permite adaptarse a cambios en la geología del yacimiento, tecnologías de fractura o disponibilidad de recursos. Este enfoque

iterativo es fundamental para mantener una eficiencia sostenida en el uso de agua y energía.

Dentro de este flujo, cada agente IAGEN cumple funciones especializadas:

- El Agente de Sensado captura y transmite en tiempo real datos sobre presión, caudal de agua, consumo energético, carga térmica de los equipos y variaciones ambientales.
- El Agente Analítico procesa esta información para identificar desviaciones en la eficiencia y predecir comportamientos futuros que puedan derivar en sobreconsumo o ineficiencias.
- El Agente de Simulación genera escenarios de fractura alternativos con distintos insumos técnicos, evaluando sus impactos en la demanda hídrica y energética.
- El Agente de Recomendación integra los resultados del análisis y la simulación, formulando estrategias de ajuste que reduzcan el uso de agua y energía manteniendo la integridad operativa.
- Finalmente, el Agente de Monitoreo supervisa la aplicación de las recomendaciones, detecta desviaciones en los KPIs e impulsa la retroalimentación hacia los modelos analíticos para su mejora continua.

Ejemplo Concreto de Implementación en Operación Piloto

Primera parte

- Se implementa IAGEN en una fase piloto específica para ajustar la dosificación de agua y los parámetros energéticos durante una operación de fracturación.

- Durante esta prueba, se identifica un consumo superior al óptimo en ciertos intervalos críticos de la operación.
- IAGEN, al analizar los datos en tiempo real proporcionados por los sensores instalados en el pozo y los equipos de fracturación, detecta estas anomalías en el consumo.

Segunda parte

- El Agente Analítico de IAGEN procesa los datos de presión, caudal y consumo energético, identifica patrones que indican una dosificación ineficiente de agua y un consumo energético elevado en relación con las condiciones geológicas y operativas del momento.

Tercera parte

El Agente de Simulación genera múltiples escenarios operativos alternativos, evaluando diferentes configuraciones de dosificación de agua y parámetros energéticos.

Cuarta parte

Basándose en los resultados de estas simulaciones, el Agente de Recomendación formuló ajustes precisos para reducir el consumo de agua y optimizar el uso de energía sin comprometer la eficacia de la fracturación.

Quinta parte

Estos ajustes, recomendados por IAGEN, se implementan automáticamente a través de la interfaz con los sistemas de control SCADA de la planta.

Sexta parte

El Agente de Monitoreo supervisa continuamente los parámetros operativos después de la implementación de los ajustes, confirmando una reducción significativa en el consumo de agua y energía en los intervalos previamente problemáticos. La operadora

observa una disminución del consumo de agua que se alineó con el rango del 15 al 20% reportado en estudios piloto, y una optimización del consumo energético dentro del rango del 10 al 15% en esas condiciones de operación controladas.

Este caso de uso específico permite observar, en concreto, la capacidad de IAGEN para identificar y corregir ineficiencias en tiempo real durante las operaciones de fracturación en Vaca Muerta.

La implementación exitosa de IAGEN en esta operación sienta las bases para una expansión más amplia en otras áreas y con otros operadores dentro de Vaca Muerta. Considerando la diversidad de condiciones geológicas y prácticas operativas en la región, IAGEN podría adaptarse para optimizar diferentes tipos de pozos, tanto verticales como horizontales, y diversas etapas del proceso de fracturación. La escalabilidad de la solución IAGEN y los requisitos de infraestructura para una implementación a mayor escala deberán evaluarse cuidadosamente, pero los resultados iniciales sugieren un potencial significativo para transformar las prácticas de fracturación en toda la formación Vaca Muerta.

VI. Beneficios y Oportunidades Estratégicas

- Estudios piloto han demostrado reducciones potenciales del 15 al 20% en el consumo de agua mediante ajustes dinámicos en la dosificación. Esto aborda directamente las preocupaciones sobre la escasez de agua.
- También se ha observado una disminución del consumo energético del 10 al 15% en condiciones de operación controladas con la integración de IAGEN.
- Esto se traduce en ahorros de costos y una menor huella de carbono.
- La optimización impulsada por la IA puede generar reducciones significativas de costos, una mayor eficiencia operativa y una mejor gestión de riesgos en el sector del petróleo y el gas.
- Las reducciones reportadas en el consumo de agua y energía proporcionan evidencia concreta del potencial de IAGEN para mejorar la eficiencia operativa y la sostenibilidad. Estos beneficios cuantificables son cruciales para demostrar la

propuesta de valor de la tecnología.

- Los enfoques tradicionales se basan en parámetros fijos y ajustes manuales, lo que limita su capacidad para adaptarse a las variaciones en tiempo real. Esto contrasta con la optimización dinámica de IAGEN. IAGEN automatiza y personaliza los ajustes operativos, aprovechando el análisis predictivo para minimizar errores y optimizar el uso de recursos. Esto reduce la dependencia de la intervención manual y mejora la precisión. La capacidad de IAGEN para automatizar y adaptarse en tiempo real proporciona una ventaja significativa sobre los métodos tradicionales y estáticos, lo que lleva a operaciones de fracturación más eficientes y receptivas.
- La detección temprana de anomalías a través de IAGEN puede prevenir fallas operativas y mejorar la seguridad. Este enfoque proactivo minimiza los riesgos y el tiempo de inactividad.
- La reducción del consumo de agua y energía contribuye a una operación más respetuosa con el medio ambiente, lo que facilita el cumplimiento de las normativas ambientales. Esto mejora el perfil de sostenibilidad de la empresa.
- La optimización operativa se traduce en menores costos y mejores márgenes de beneficio, lo que aumenta la competitividad en el mercado. Esto proporciona una ventaja estratégica significativa para los primeros adoptantes.
- Las empresas que adoptan tecnologías de IA en el sector del petróleo y el gas pueden obtener una ventaja competitiva a través de una mayor productividad y eficiencia.
- Más allá de los ahorros de costos inmediatos, IAGEN ofrece beneficios estratégicos relacionados con la seguridad, la responsabilidad ambiental y el posicionamiento en el mercado, lo que contribuye a una ventaja competitiva a largo plazo.

VII. Desafíos de Implementación y Estrategias Robustas

- 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.

- La integración de IAGEN con los sistemas heredados, como los sistemas SCADA (Control de Supervisión y Adquisición de Datos) y DCS (Sistemas de Control Distribuido), presenta un desafío técnico significativo. Para mitigar esto, se pueden desarrollar interfaces especializadas y soluciones de middleware para asegurar un flujo de datos continuo entre IAGEN y los sistemas existentes. La adopción de estándares de comunicación abiertos y la implementación de sistemas de control híbridos también pueden facilitar la integración.
- Asegurar la calidad e integridad de los datos que alimentan los modelos de IAGEN es otro obstáculo crucial. Para abordar esto, se deben implementar procesos robustos de validación y limpieza de datos. Invertir en plataformas de integración de datos para unificar la información de diversas fuentes y establecer políticas de gobernanza de datos con un equipo dedicado son pasos esenciales.
- La integración de la IA puede introducir nuevas vulnerabilidades a la infraestructura crítica de los sistemas SCADA en el sector del petróleo y el gas, lo que requiere medidas de ciberseguridad sólidas. La implementación de medidas de ciberseguridad multicapa, que incluyen firewalls, sistemas de detección de intrusiones y segmentación de redes, junto con auditorías de seguridad periódicas y controles de acceso estrictos, son fundamentales.
- El manejo del alto volumen y la velocidad de los datos para el análisis en tiempo real plantea demandas de procesamiento significativas.
- La utilización de la computación en el borde (edge computing) para procesar los datos localmente, reduciendo la latencia y los requisitos de ancho de banda,

junto con el empleo de plataformas escalables basadas en la nube para el almacenamiento y procesamiento de datos, son estrategias de mitigación efectivas.

- La integración técnica, la calidad de los datos y la ciberseguridad son desafíos críticos que requieren estrategias de mitigación proactivas que involucren tecnologías especializadas, procesos robustos y un fuerte enfoque en la gobernanza y seguridad de los datos.
- El cumplimiento de las normativas ambientales en constante evolución relacionadas con la fracturación es un desafío regulatorio. Para mitigar esto, se pueden establecer colaboraciones con organismos reguladores y consultores especializados para garantizar el cumplimiento continuo. Las capacidades de monitoreo de IAGEN también pueden utilizarse para rastrear los parámetros ambientales clave y asegurar la adhesión a los estándares.
- Justificar la inversión inicial requerida para la implementación de IAGEN es un obstáculo económico. Los altos costos iniciales pueden ser una restricción, y la incertidumbre sobre el retorno de la inversión puede generar dudas. Para abordar esto, se deben desarrollar análisis detallados de costo-beneficio y proyectos piloto para validar los beneficios económicos de IAGEN.
- Destacar el potencial de ahorros de costos significativos a través de la reducción del consumo de recursos y el tiempo de inactividad es crucial. El cumplimiento normativo y la necesidad de justificar la inversión inicial son obstáculos económicos y regulatorios clave. La mitigación implica un compromiso proactivo con los organismos reguladores y un enfoque basado en datos para demostrar el valor económico.
- La resistencia al cambio por parte de los operarios y técnicos acostumbrados a los métodos tradicionales puede dificultar la adopción de tecnologías impulsadas por la IA. Para superar esto, se deben implementar programas integrales de capacitación y estrategias de gestión del cambio para facilitar la transición. Involucrar a los empleados en el proceso de implementación para fomentar un sentido de propiedad y comunicar claramente los beneficios y el

valor de IAGEN son acciones importantes.

- La necesidad de desarrollar las habilidades y la experiencia necesarias dentro de la fuerza laboral para utilizar y gestionar eficazmente IAGEN es otro desafío. Invertir en programas de capacitación especializados que se centren en la IA y el análisis de datos para el sector del petróleo y el gas y fomentar una cultura basada en datos dentro de la organización son estrategias clave. Abordar la resistencia cultural y la brecha de habilidades requiere un enfoque estratégico para la gestión del cambio y el desarrollo de la fuerza laboral, haciendo hincapié en la comunicación, la capacitación y la participación de los empleados.
- Finalmente, establecer alianzas con proveedores de tecnología y consultores especializados puede asegurar el cumplimiento normativo y la optimización técnica. La colaboración con proveedores de soluciones de IA e IoT con experiencia en la industria del petróleo y el gas es fundamental. La colaboración con expertos externos y proveedores de tecnología es crucial para superar los desafíos técnicos y regulatorios asociados con la implementación de IAGEN y garantizar una adopción exitosa.

VIII. Evaluación del Impacto Económico y Ambiental

Desde una perspectiva ambiental, la implementación de IAGEN ofrece la posibilidad de reducir significativamente el impacto de las operaciones de fracturación en Vaca Muerta. La disminución potencial en el consumo de agua, estimada entre un 15 y un 20%, tendría implicaciones positivas para la gestión de los recursos hídricos en la región de Neuquén, donde el agua es un recurso escaso. La reducción en el consumo de energía, del 10 al 15%, contribuiría a disminuir la huella de carbono de las operaciones de fracturación.

Además, IAGEN podría ayudar a minimizar los riesgos ambientales asociados con la fracturación, como la contaminación del agua y la potencial sismicidad inducida ¹. Al optimizar el uso de los recursos y reducir la generación de residuos, IAGEN puede desempeñar un papel crucial en la promoción de prácticas de fracturación más

sostenibles en Vaca Muerta, abordando las crecientes preocupaciones ambientales y las presiones regulatorias.

IX. Abordando la Integración Técnica y la Gestión de Datos

La integración de sistemas de inteligencia artificial con los sistemas SCADA y DCS existentes en las operaciones de petróleo y gas presenta complejidades técnicas significativas. Esto incluye desafíos como la incompatibilidad de formatos de datos, las diferencias en los protocolos de comunicación y la necesidad de un intercambio de datos seguro y confiable. La integración de algoritmos de IA modernos con sistemas de control heredados que pueden tener una potencia de procesamiento y una conectividad limitadas también plantea dificultades.

La calidad de los datos, su precisión e integridad son fundamentales para el rendimiento de los modelos de IA utilizados en IAGEN. En las organizaciones de petróleo y gas, a menudo existen silos de datos, fuentes de datos fragmentadas e inconsistencias en los formatos de datos. Por lo tanto, se necesitan estrategias sólidas de gestión de datos que incluyan marcos de gobernanza de datos, plataformas de integración de datos y procesos de garantía de calidad de datos. Garantizar la calidad de los datos e implementar prácticas eficaces de gestión de datos son requisitos fundamentales para el despliegue y funcionamiento exitoso de IAGEN.

Para lograr una integración perfecta y un manejo eficiente de los datos, se recomienda el uso de estándares y protocolos de comunicación abiertos para facilitar el intercambio de datos entre IAGEN y los sistemas de control. La adopción de soluciones de middleware e integraciones de API puede servir de puente entre las plataformas de IA modernas y la infraestructura heredada. Invertir en plataformas de integración de datos para consolidar la información de diversas fuentes en un lago de datos o almacén de datos unificado es también una estrategia clave. Además, es importante implementar canales automatizados de validación y limpieza de datos para asegurar su calidad. Una combinación de soluciones tecnológicas y enfoques estratégicos para la gestión de datos puede ayudar a superar los desafíos de la integración de IAGEN con

los sistemas existentes y garantizar la disponibilidad de datos de alta calidad.

X. Estrategias para la Adopción Exitosa de la IA y la Gestión del Cambio

Para una adopción exitosa de IAGEN, es fundamental que las organizaciones de petróleo y gas cultiven una cultura que valore los datos y el análisis en los procesos de toma de decisiones. El respaldo y el apoyo del liderazgo ejecutivo son igualmente cruciales para impulsar las iniciativas de IA y proporcionar los recursos necesarios.

El desarrollo de un plan integral de gestión del cambio que abarque estrategias de comunicación, participación de las partes interesadas y gestión de riesgos es esencial para facilitar la transición.

Invertir en programas de capacitación dirigidos a dotar a los empleados de las habilidades necesarias para comprender, utilizar y gestionar herramientas impulsadas por IA como IAGEN es de suma importancia.

Fomentar un entorno de colaboración entre los equipos técnicos, los expertos en la materia y los especialistas en IA asegurará una implementación exitosa y la transferencia de conocimientos.

Se recomienda un enfoque gradual para la implementación, comenzando con proyectos piloto en entornos controlados para validar los beneficios y generar confianza antes de un despliegue a gran escala.

Finalmente, el establecimiento de métricas claras para el éxito, definiendo indicadores clave de rendimiento (KPIs) para medir el impacto de la implementación de IAGEN en la eficiencia, la reducción de costos y la sostenibilidad, permitirá evaluar su efectividad.

La adopción exitosa de la IA requiere un enfoque holístico que aborde no solo los aspectos tecnológicos sino también la cultura organizacional, el apoyo del liderazgo, las habilidades de la fuerza laboral y los procesos de gestión del cambio.

XI. Conclusión y Direcciones Futuras

La implementación de IAGEN para la optimización del agua y la energía en la fracturación hidráulica en Vaca Muerta representa una oportunidad transformadora para la industria del petróleo y el gas en Argentina.

Los hallazgos clave de este análisis resaltan el potencial de IAGEN para generar beneficios sustanciales en términos de eficiencia operativa, reducción de costos y sostenibilidad ambiental. La capacidad de IAGEN para analizar datos en tiempo real y ajustar dinámicamente los parámetros operativos ofrece una ventaja significativa sobre los métodos tradicionales, lo que permite una utilización de recursos más eficiente y una menor huella ambiental.

La adopción de la inteligencia artificial se está convirtiendo en un imperativo estratégico para las empresas del sector del petróleo y el gas que buscan mejorar su eficiencia, sostenibilidad y competitividad en un mercado energético en constante evolución. IAGEN se presenta como una solución innovadora que puede ayudar a las operadoras en Vaca Muerta a alcanzar estos objetivos.

Las futuras líneas de investigación podrían centrarse en la exploración de modelos de IA aún más avanzados, incluyendo la IA generativa para el diseño de fluidos de fracturación novedosos. La integración de datos geológicos en tiempo real y el modelado del subsuelo con IAGEN también representa un área prometedora. Además, el desarrollo de soluciones de mantenimiento predictivo impulsadas por IA para los equipos de fracturación podría optimizar aún más las operaciones. Finalmente, la aplicación de la IA para optimizar otros aspectos de la producción de petróleo y gas en Vaca Muerta merece una mayor exploración.

En conclusión, IAGEN tiene el potencial de revolucionar las prácticas de fracturación hidráulica en Vaca Muerta, contribuyendo a un futuro energético más sostenible y eficiente para Argentina.

Tabla 1: Comparación de Métodos Tradicionales de Fracturación Hidráulica vs. IAGEN

Parámetro	Métodos Tradicionales	IAGEN
Ajuste de Parámetros	Fijos, basados en datos históricos y directrices generales.	Dinámicos, basados en análisis de datos en tiempo real y predicciones.
Análisis de Datos	Principalmente manual, análisis post-operación.	Automatizado, análisis en tiempo real de datos operativos, geológicos y ambientales.
Optimización de Recursos	Enfoque estático, potencial de sobreconsumo.	Optimización dinámica y personalizada del consumo de agua y energía.
Adaptabilidad	Limitada capacidad para adaptarse a variaciones	Alta adaptabilidad a las condiciones cambiantes

	en tiempo real.	del yacimiento.
Automatización	Ajustes principalmente manuales.	Automatización de ajustes operativos a través de la integración con sistemas de control.

Tabla 2: Indicadores Clave de Rendimiento (KPIs) para la Implementación de IAGEN

Categoría KPI	Métrica KPI Específica	Objetivo/Línea Base (Ejemplo)	Fuente de Datos/Método de Medición
Consumo de Agua	Reducción del consumo de agua por pozo/etapa	Reducción del 15-20% respecto a la línea base histórica.	Sensores de flujo, registros operativos.
Consumo de Energía	Reducción del consumo energético por etapa de fracturación	Reducción del 10-15% respecto a la línea base histórica.	Monitoreo del consumo energético de los equipos.

Costos Operativos	Reducción de costos operativos por pozo	Reducción del X% en los costos totales de fracturación.	Registros financieros y contables.
Eficiencia de Producción	Aumento de la tasa de recuperación de hidrocarburos	Aumento del Y% en la producción inicial o EUR.	Datos de producción de pozos.
Impacto Ambiental	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero	Reducción del Z% de las emisiones asociadas a la fracturación.	Monitoreo de emisiones, cálculos basados en el consumo de energía.
Seguridad	Número de incidentes operativos	Disminución del número de incidentes relacionados con la fracturación.	Registros de seguridad y incidentes.

Tabla 3: Proveedores Relevantes de Soluciones de IA e IoT en Argentina (Basado en la Investigación)

Nombre de la Empresa	Breve Descripción/Especialización
AgileEngine	Desarrollo de software con enfoque en IA.
Altoros Labs	Consultoría y desarrollo de TI.
Rocbird	Big Data y soluciones de Inteligencia Artificial.
MUTT DATA	Desarrollo de soluciones de IA.
Xavia IOT	Desarrollo de soluciones IoT.
AdaptIO	Incorporación de tecnologías IoT en ciudades.
NTT Data	Consultoría, transformación, tecnología y operación.
QuadMinds	Soluciones de Internet de las Cosas (IoT) para logística y cadena de suministro.
Wolox	Empresa de software especializada en soluciones tecnológicas para startups y empresas.

BGH Cloud Tech	Proveedor de servicios en la nube.
Taller Technologies	Servicios de desarrollo de software en C/C++, aplicaciones embebidas, móvil y web.
Epidata	Empresa multinacional de arquitectura de software.
Edrans	Proveedor de servicios de gestión de TI y outsourcing.
Morean	Agencia de desarrollo especializada en software, UX y QA.
Crunchloop	Empresa de desarrollo de Internet de las Cosas.
iomico	Empresa especializada en desarrollo de IoT.
Patagonian	Empresa de tecnología especializada en desarrollo de software.
IT4W	Empresa de inteligencia de negocios especializada en MicroStrategy.

Julasoft	Empresa de desarrollo de software.
Kelsus	Empresa de desarrollo de software.
SimTLiX	Empresa de desarrollo de software.
IMAJINE LLC	Empresa especializada en desarrollo de IoT y soluciones IoT.
Vates	Empresa de desarrollo de software.
Blue Patagon	Consultora con experiencia en soluciones analíticas y Business Intelligence.
OutsourcingDev	Empresa de outsourcing de desarrollo de software.
DBi	Expertos en datos y transformación digital.
Solutica SRL	Empresa con experiencia en proyectos de integración y desarrollo de software a medida.
IThreeX Global	Empresa especializada en Inteligencia Artificial, Big Data y desarrollo de

	software en la nube.
Analytics Solvers	Pionero en Latinoamérica en Inteligencia Artificial y Machine Learning.

Fuentes citadas

1. Argentina's Vaca Muerta: 10 Years of Fracking and Local Resistance - NACLA |, acceso: marzo 17, 2025, <https://nacla.org/argentina-vaca-muerta-fracking-resistance>
2. An Overview of Recent Developments and Understandings of ..., acceso: marzo 17, 2025, <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/4/1366>
3. Argentina oil and gas sector: Vaca Muerta shale can drive near-term growth and fuel medium-term opportunities - Deloitte, acceso: marzo 17, 2025, <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/economy/americas/vaca-muerta-argentina-energy-sector-boom.html>
4. Systematic Analysis of Novel Machine Learning Techniques for Hydraulic Fracturing Optimization - Preprints.org, acceso: marzo 17, 2025, <https://www.preprints.org/manuscript/202404.1945>
5. Robotics and artificial intelligence in unconventional reservoirs: Enhancing efficiency and reducing environmental impact., acceso: marzo 17, 2025, <https://wjarr.com/sites/default/files/WJARR-2024-3185.pdf>
6. The Vaca Muerta Tribunal Delegation - Rights Of Nature Tribunal, acceso: marzo 17, 2025, <https://www.rightsofnaturetribunal.org/vaca-muerta/>
7. Balancing energy security and a healthy environment | SEI, acceso: marzo 17, 2025, <https://www.sei.org/publications/energy-environment-vaca-muerta-fracking/>
8. Defending communities from fracking's advance in Argentina - Aida-americas.org, acceso: marzo 17, 2025, <https://aida-americas.org/en/blog/defending-communities-fracking-s-advance-argentina>

9. Argentina and fracking - Global Energy Monitor - GEM.wiki, acceso: marzo 17, 2025, https://www.gem.wiki/Argentina_and_fracking
10. Argentina Lays Regulatory Foundation To Breathe Life Into Vaca Muerta - JPT, acceso: marzo 17, 2025, <https://jpt.spe.org/argentina-lays-regulatory-foundation-breathe-life-vaca-muerta>
11. AI-Based Estimation of Hydraulic Fracturing Effect - OnePetro, acceso: marzo 17, 2025, <https://onepetro.org/SJ/article-pdf/26/04/1812/2475386/spe-205479-pa.pdf/1>
12. An Artificial Intelligence-Based Model for Performance Prediction of Acid Fracturing in Naturally Fractured Reservoirs - PMC, acceso: marzo 17, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8173587/>
13. A Review of AI Applications in Unconventional Oil and Gas Exploration and Development, acceso: marzo 17, 2025, <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/2/391>
14. Innovative Artificial Intelligence Approach in Vaca Muerta Shale Oil ..., acceso: marzo 17, 2025, https://www.researchgate.net/publication/335884274_Innovative_Artificial_Intelligence_Approach_in_Vaca_Muerta_Shale_Oil_Wells_for_Real_Time_Optimization
15. IoT for Oil & Gas: Ultimate Control | softengi.com, acceso: marzo 21, 2025, <https://softengi.com/blog/iot-for-oil-and-gas/>
16. IoT for Oil and Gas Industry: Advantages, Features, and Use Cases ..., acceso: marzo 22, 2025, <https://a-team.global/blog/iot-for-oil-and-gas-industry-advantages-features-and-use-cases/>
17. Sensori™ fracture monitoring service - Halliburton, acceso: marzo 21, 2025, <https://www.halliburton.com/en/products/sensori-fracture-monitoring-service>
18. Application of Machine Learning in Hydraulic Fracturing: A Review | ACS Omega, acceso: marzo 22, 2025, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.4c11342>
19. Frac Pond Level Monitoring Wireless Solution Case Study, acceso: marzo 17, 2025, <https://oleumtech.com/solutions/case-study-wireless-frac-pond-level-monitoring-solution>
20. www.cloudera.com, acceso: marzo 22, 2025,

<https://www.cloudera.com/content/dam/www/marketing/resources/datasheets/big-data-streaming-and-predictive-analytics-in-oil-and-gas.pdf?daqp=true>

21. Big Data in Oil and Gas Industry | Innowise Blog, acceso: marzo 23, 2025, <https://innowise.com/blog/big-data-in-oil-and-gas/>

22. Oil & Gas Industry - Composable | Intelligent DataOps, acceso: marzo 23, 2025, <https://composable.ai/oil-and-gas/>

23. Big Data in Oil and Gas: Unlocking Insights for Success, acceso: marzo 23, 2025, <https://www.quantzig.com/case-studies/big-data-analytics-in-oil-and-gas-industry/>

24. Big Data in Oil & Gas: Adoption, Use Cases, Benefits - ScienceSoft, acceso: marzo 23, 2025, <https://www.scnsoft.com/oil-gas/big-data>

25. Edge AI in Action in The Oil & Gas Industry - barbara.tech, acceso: marzo 17, 2025, <https://www.barbara.tech/blog/edge-ai-in-action-in-the-oil-gas-industry>

26. AI & ML in Oil & Gas Market Size, Share | CAGR of 11%, acceso: marzo 24, 2025, <https://market.us/report/ai-ml-in-oil-gas-market/>

27. (PDF) Problems of integrating artificial intelligence with SCADA ..., acceso: marzo 24, 2025, https://www.researchgate.net/publication/389384425_Problems_of_integrating_artificial_intelligence_with_SCADA_systems

28. Advancements in the integration and optimization of control systems: Overcoming challenges in DCS, SIS, and PLC deployments for, acceso: marzo 24, 2025, <https://oarjpublication.com/journals/oarjms/sites/default/files/OARJMS-2022-0095.pdf>

29. Control Systems in the Oil and Gas Industry: Challenges and Innovation, acceso: marzo 24, 2025, <https://industrialautomationco.com/blogs/news/control-systems-in-the-oil-and-gas-industry-challenges-and-innovations>

30. Digital Transformation in Oil and Gas: Leveraging AI for Predictive Maintenance - OGGN, acceso: marzo 24, 2025, <https://oggn.com/digital-transformation-in-oil-and-gas-leveraging-ai-for-predictive-maintenance/>

31. AI in Oil and Gas: Preventing Equipment Failures Before They Cost Millions, acceso: marzo 25, 2025, <https://energiesmedia.com/ai-in-oil-and-gas-preventing-equipment-failures-before-they-cost-millions/>
32. Legacy Systems Are Draining Your Profits: The Urgent Need for AI Integration, acceso: marzo 18, 2025, <https://www.capellasolutions.com/blog/legacy-systems-are-draining-your-profits-the-urgent-need-for-ai-integration>
33. Digital transformation in oil and gas—how energy companies can fix legacy data for the best AI advantage | Kearney, acceso: marzo 18, 2025, <https://www.kearney.com/industry/energy/article/digital-transformation-in-oil-and-gas-how-energy-companies-can-fix-legacy-data-for-the-best-ai-advantage>
34. AI in Oil and Gas: Preventing Equipment Failures Before They Cost Millions - Insights Global, acceso: marzo 19, 2025, <https://www.insights-global.com/ai-in-oil-and-gas-preventing-equipment-failures-before-they-cost-millions/>
35. Drilling Down: How AI is Changing the Future of Oil and Gas - Sand Technologies, acceso: marzo 26, 2025, <https://www.sandtech.com/insight/drilling-down-how-ai-is-changing-the-future-of-oil-and-gas/>
36. AI in Oil and Gas: 7 Best Practices for Data Readiness - IPT Global, acceso: marzo 26, 2025, <https://iptglobal.com/blog/ai-in-oil-and-gas-7-best-practices-for-data-readiness/>
37. AI spells opportunity and manageable risk for the oil and gas industry - DNV, acceso: marzo 26, 2025, <https://www.dnv.com/article/ai-spells-opportunity-and-manageable-risk-for-the-oil-and-gas-industry/>
38. Data Quality Management in the Oil and Gas Sector - DQLabs, acceso: marzo 26, 2025, <https://www.dqlabs.ai/blog/data-quality-management-in-the-oil-and-gas-sector/>
39. Fueling the Future: The Intersection of AI and the Oil & Gas Industry | Oliva Gibbs

LLP, acceso: marzo 26, 2025,
<https://www.jdsupra.com/legalnews/fueling-the-future-the-intersection-of-5255081/>

40. AI in Oil and Gas Market Size, Growth and Forecast 2032 - Credence Research, acceso: marzo 26, 2025,
[https://www.credenceresearch.com/report/artificial-intelligence-ai-in-oil-and-gas-marke
t](https://www.credenceresearch.com/report/artificial-intelligence-ai-in-oil-and-gas-market)

41. The great AI debate in the oil and gas industry: balancing job loss concerns with the thriving potential of AI applications - Kent, acceso: marzo 26, 2025,
[https://kentplc.com/news-insights/the-great-ai-debate-in-the-oil-and-gas-industry-balan
cing-job-loss-concerns-with-the-thriving-potential-of-ai-applications](https://kentplc.com/news-insights/the-great-ai-debate-in-the-oil-and-gas-industry-balan
cing-job-loss-concerns-with-the-thriving-potential-of-ai-applications)

42. From Resistance to Advocacy: Strategies for Overcoming Organizational Resistance to AI - Cognizant, acceso: marzo 27, 2025,
<https://www.cognizant.com/nl/en/insights/blog/articles/from-resistance-to-advocacy>

43. Energy Industry Upgrade Using Artificial Intelligence? - EnergyNow.com, acceso: marzo 27, 2025,
<https://energynow.com/2024/03/energy-industry-upgrade-using-artificial-intelligence/>

44. Industrial AI for technical professionals in the energy sector | AI ..., acceso: marzo 27, 2025,
[https://www.dnv.com/training/industrial-ai-for-technical-professionals-in-the-energy-sec
tor/](https://www.dnv.com/training/industrial-ai-for-technical-professionals-in-the-energy-sec
tor/)

45. AI in Energy, Oil, and Gas - Courses - Tonex Training, acceso: marzo 27, 2025,
<https://www.tonex.com/training-courses/ai-in-energy-oil-and-gas/>

46. AI Adoption In The Energy Grid - Tonex Training, acceso: marzo 27, 2025,
<https://www.tonex.com/training-courses/ai-adoption-in-the-energy-grid/>

47. Welcome to the AI Academy | SLB, acceso: marzo 27, 2025,
[https://www.slb.com/products-and-services/delivering-digital-at-scale/artificial-intellige
nce-solutions/innovation-facteri/ai-academy](https://www.slb.com/products-and-services/delivering-digital-at-scale/artificial-intellige
nce-solutions/innovation-facteri/ai-academy)

48. Introduction to AI for the Energy Industry - NExT Training, acceso: marzo 28, 2025,
<https://www.nexttraining.net/course/introduction-to-ai-for-the-energy-industry/17966>

49. Change management in tech adoption | DWF Group, acceso: marzo 28, 2025,

<https://dwfgroup.com/en/news-and-insights/insights/2024/11/how-to-handle-the-but-w-hy-change-management-in-tech-adoption>

50. Effective Change Management in Oil and Gas Project Execution - OGCS Global, acceso: marzo 28, 2025,

<https://www.ogcsglobal.com/news3/effective-change-management-in-oil-and-gas-project-execution>

51. How to Apply Change Management to Technology Transformation - Prosci, acceso: marzo 28, 2025, <https://www.prosci.com/blog/technology-transformation>

52. Change management's key role in adopting new technology - Process Excellence Network, acceso: marzo 28, 2025,

<https://www.processexcellencenetwork.com/events-change-management-business-transformation/blog/change-managements-key-role-in-adopting-new-technology>

53. Digital Transformation of the Oil & Gas Industry (2025) - Whatfix, acceso: marzo 28, 2025, <https://whatfix.com/blog/oil-gas-digital-transformation/>

54. Resistance to AI: Governance and Cultural Challenges - Allganize's AI, acceso: marzo 28, 2025,

<https://www.allganize.ai/en/blog/resistance-to-ai-governance-and-cultural-challenges>

55. AI in Oil and Gas: AI solutions for the Energy Industry - 7Puentes, acceso: marzo 28, 2025, <https://www.7puentes.com/ai-solutions-for-oil-and-gas/>

56. AI & ML in Oil & Gas Market Size, Forecasts Report 2025-2034, acceso: marzo 28, 2025, <https://www.gminsights.com/industry-analysis/ai-and-ml-in-oil-gas-market>

57. Top AI Companies in Argentina - Feb 2025 Rankings | DesignRush, acceso: marzo 28, 2025, <https://www.designrush.com/agency/ai-companies/ar>

58. Industrial AI | Recognize the power of Artificial Intelligence, acceso: marzo 28, 2025, <https://www.ifs.com/ai>

59. Oil and Gas Operations Powered by AI - NVIDIA, acceso: marzo 28, 2025, <https://www.nvidia.com/en-sg/industries/energy/oil-gas-operations/>

60. Top IoT companies in Argentina - Feb 2025 Reviews - GoodFirms, acceso: marzo 28, 2025, <https://www.goodfirms.co/internet-of-things/argentina>

61. Top Internet of Things Companies in Argentina - Feb 2025 Rankings ..., acceso:

marzo 17, 2025, <https://clutch.co/ar/developers/internet-of-things>

62. IoT Companies | IoT Solutions for the Oil and Gas Industry - Offshore Technology, acceso: marzo 28, 2025,

<https://www.offshore-technology.com/buyers-guide/leading-iot-companies-oil-and-gas/>

63. YPF | IoT Application in the Oil and Gas Industry - PTC, acceso: marzo 17, 2025, <https://www.ptc.com/en/case-studies/ypf-optimizes-communications-and-data-connectivity>

64. Top Big Data Analytics Companies in Argentina - Mar 2025 Reviews - GoodFirms, acceso: marzo 17, 2025, <https://www.goodfirms.co/big-data-analytics/argentina>

65. Top Big Data Analytics Companies in Argentina - Mar 2025 Rankings | Clutch.co, acceso: marzo 28, 2025, <https://clutch.co/ar/it-services/analytics>

66. Team - Analytics Solvers, acceso: marzo 28, 2025, <https://analyticssolvers.com/en/team/>

67. Machine Learning and Hydraulic Fracture Simulation to Speed Up ..., acceso: marzo 28, 2025, <https://library.seg.org/doi/10.15530/urtec-2020-1353>

68. Odin Ai | ai for oil and gas, acceso: marzo 28, 2025, <https://www.skyfrac.com/>

69. Integration of Real-Time Monitoring and Data Analytics To Mitigate Sand Screenouts During Fracturing Operations - JPT, acceso: marzo 29, 2025, <https://jpt.spe.org/integration-of-real-time-monitoring-and-data-analytics-to-mitigate-sand-screenouts-during-fracturing-operations>

70. U.S. oil companies use AI for faster shale drilling to mitigate OPEC production cuts, acceso: marzo 29, 2025, <https://www.worldoil.com/news/2024/3/14/u-s-oil-companies-use-ai-for-faster-shale-drilling-mitigating-opec-production-cuts/>

71. How AI investors can ride the oil and gas boom | Equifund, acceso: marzo 29, 2025, <https://equifund.com/blog/ai-investors-can-ride-oil-gas-boom/>

72. Can oil and gas companies reduce their emissions at Vaca Muerta? - Dialogue Earth, acceso: marzo 29, 2025, <https://dialogue.earth/en/business/can-oil-and-gas-companies-reduce-their-emissions-at-vaca-muerta/>

73. UN Spotlight on Impacts of Argentina's Vaca Muerta Fracking Project on Indigenous Rights and Climate Change - Center for International Environmental Law | CIEL, acceso: marzo 29, 2025, <https://www.ciel.org/news/un-spotlight-impacts-argentinas-vaca-muerta-fracking-project-indigenous-rights-climate-change/>
74. In Argentina, enormous fracking potential and opposition to match - The World from PRX, acceso: marzo 29, 2025, <https://theworld.org/stories/2016/07/30/argentina-enormous-fracking-potential-and-opposition-match>
75. How to incorporate digital transformation into SCADA master planning - Control Engineering, acceso: marzo 29, 2025, <https://www.controleng.com/how-to-incorporate-digital-transformation-into-scada-master-planning/>
76. Maximizing the impact of AI in the oil and gas sector | EY - US, acceso: marzo 29, 2025, https://www.ey.com/en_us/insights/oil-gas/maximizing-the-impact-of-ai-in-the-oil-and-gas-sector
77. 26 Real-Time Decision Support in Optimizing Well ... - Earthdoc, acceso: marzo 29, 2025, <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.202477026?crawler=true&mimetype=application/pdf>
78. KPI Guide: Oil & Gas Equipment & Services Industry KPIs for Investment Professionals - Visible Alpha, acceso: marzo 29, 2025, <https://visiblealpha.com/energy/oil-gas/oil-gas-equipment-services-industry-kpis/>
79. Swap Over Optimization Software - Completions - Corva, acceso: marzo 29, 2025, <https://www.corva.ai/energy/completions/shrink-npt-and-swap-over-times>
80. Optimizing Hydraulic Fracturing - DeepData, acceso: marzo 29, 2025, <https://www.deepdata.com/optimizing-hydraulic-fracturing/>
81. Quantifying Drilling Efficiencies - Why Drilling Metrics Matter - Boart Longyear, acceso: marzo 29, 2025,

<https://www.boartlongyear.com/insite/quantifying-drilling-efficiency-and-why-drilling-metrics-matter/>

82. Enhancing Fracking Efficiency with FracSol's TWM - Revsolz, acceso: marzo 29, 2025,

<https://www.revsolz.com/blog/enhancing-fracking-efficiency-with-frac-sol-s-twm-empowering-engineers-with-real-time-insights>

83. How to Calculate (and Improve) Pump Efficiency - WellAware Blog, acceso: marzo 30, 2025, <https://blog.wellaware.us/blog/how-to-calculate-pump-efficiency>

84. Magnetic Flowmeters for Fracking - Seametrics, acceso: marzo 30, 2025, <https://www.seametrics.com/applications/fracking/>

85. An Artificial Intelligence Method for Flowback Control of Hydraulic Fracturing Fluid in Oil and Gas Wells - MDPI, acceso: marzo 30, 2025, <https://www.mdpi.com/2227-9717/11/6/1773>

86. Artificial Intelligence rises in drilling performance - Halliburton, acceso: marzo 30, 2025, <https://www.halliburton.com/en/resources/the-rise-of-artificial-intelligence>

87. Real Time Hydraulic Fracturing Pressure Prediction with Machine Learning - ResearchGate, acceso: marzo 30, 2025, https://www.researchgate.net/publication/338721846_Real_Time_Hydraulic_Fracturing_Pressure_Prediction_with_Machine_Learning

88. Engineered AI: Unapologetically optimized for the energy industry - SLB, acceso: marzo 30, 2025, <https://www.slb.com/resource-library/insights-articles/engineered-ai-unapologetically-optimized-for-the-energy-industry>