



## Reporte entregable 47

### Caso de uso de aplicación de IA e IAGEN

#### Diseño de Fracturación Hidráulica y Modelado de Propagación de Fracturas para Optimizar Insumos

##### I. Introducción

La formación Vaca Muerta en Argentina se ha consolidado como una de las reservas de shale gas y shale oil más importantes a nivel mundial, con un enorme potencial para transformar el panorama energético del país y contribuir a la seguridad energética global .

Su desarrollo promete impulsar el crecimiento económico regional , atrayendo inversión extranjera y generando nuevas oportunidades de empleo.

Sin embargo, la explotación de Vaca Muerta no está exenta de desafíos. La fracturación hidráulica, o "fracking", técnica esencial para la extracción de hidrocarburos en formaciones de shale como Vaca Muerta, implica la inyección a alta presión de un fluido, compuesto principalmente por agua, arena y aditivos químicos, en la formación rocosa para crear fracturas que permitan el flujo de petróleo y gas hacia el pozo. Si bien este método ha demostrado ser efectivo, también ha suscitado preocupaciones sobre su impacto ambiental, incluyendo la posible contaminación de acuíferos, la inducción de actividad sísmica y el uso intensivo de agua. La complejidad geológica de Vaca Muerta, con sus variaciones en la composición de la roca y la presencia de fallas y fracturas naturales, añade otra capa de dificultad a la hora de predecir el comportamiento de las fracturas inducidas y optimizar el diseño de la fracturación .

En este contexto, la Inteligencia Artificial Generativa (IAGEN) surge como una herramienta con un gran potencial para optimizar el diseño de la fracturación hidráulica en Vaca Muerta. La IAGEN permite la creación de modelos predictivos que simulan la propagación de fracturas, la interacción entre el fluido de fracturación y la roca, y el comportamiento del yacimiento a largo plazo. Esta información, a su vez, facilita la toma de decisiones informadas para mejorar la eficiencia de la extracción, reducir el consumo de agua y aditivos químicos, y minimizar los riesgos ambientales.

## II. Tecnologías y Modelos Específicos

La IAGEN abarca una variedad de tecnologías y modelos que se pueden aplicar al diseño de la fracturación hidráulica. Estas tecnologías permiten analizar grandes volúmenes de datos, simular escenarios complejos y optimizar el proceso de fracturación.

Tecnología/Modelo	Descripción	Aplicaciones en Fracturación Hidráulica	Ejemplos
Redes neuronales artificiales	Modelos computacionales que imitan el funcionamiento del cerebro humano para procesar información y realizar predicciones.	Predicción de la propagación de fracturas, la producción de hidrocarburos y otros parámetros relevantes.	Predicción de la permeabilidad de la formación y la optimización del espaciamiento de las etapas de fracturación.

Algoritmos genéticos	Métodos de optimización que se inspiran en la evolución biológica para encontrar soluciones óptimas a problemas complejos.	Optimización de la ubicación de las etapas de fracturación, la cantidad de fluido de fracturación y otros parámetros.	Diseño de la geometría de la fractura para maximizar la recuperación de hidrocarburos.
Aprendizaje automático	Rama de la inteligencia artificial que permite a las máquinas aprender de los datos sin ser programadas explícitamente.	Análisis de grandes volúmenes de datos de producción, geológicos y geomecánicos para identificar patrones y realizar predicciones.	Identificación de zonas con mayor potencial de producción y predicción de la productividad del pozo.

**III. IAGEN y la Seguridad Operativa**

La IAGEN puede contribuir significativamente a la mejora de la seguridad operativa en la fracturación hidráulica. Al proporcionar información en tiempo real y predicciones precisas, la IAGEN permite a los operadores tomar medidas preventivas y correctivas para garantizar la seguridad del personal y del medio ambiente.

- **Predicción de eventos:** La IAGEN puede utilizarse para predecir eventos que

podrían comprometer la seguridad de las operaciones, como la pérdida de circulación de fluido de fracturación o la inducción de sismicidad. Esta capacidad predictiva permite tomar medidas preventivas para evitar accidentes y proteger la salud de los trabajadores. Por ejemplo, la IAGEN puede alertar a los operadores sobre posibles cambios en la presión de inyección que podrían indicar una pérdida de circulación.

- **Monitoreo en tiempo real:** La IAGEN facilita el monitoreo en tiempo real de las operaciones de fracturación hidráulica, lo que permite detectar anomalías y tomar medidas correctivas de forma inmediata. Este monitoreo continuo contribuye a la prevención de accidentes y a la optimización del proceso de fracturación. Los sensores instalados en el pozo y en la superficie transmiten datos a plataformas de análisis que utilizan algoritmos de IAGEN para identificar posibles problemas en tiempo real.
- **Análisis de riesgos:** La IAGEN puede utilizarse para realizar análisis de riesgos que identifiquen las áreas de mayor vulnerabilidad en las operaciones de fracturación hidráulica. Esta información permite la implementación de medidas de seguridad específicas para mitigar los riesgos y garantizar la seguridad del personal y del medio ambiente. Por ejemplo, la IAGEN puede ayudar a identificar zonas con mayor riesgo de inducción de sismicidad.
- **Revestimiento y cementación de pozos:** El revestimiento y la cementación de los pozos son medidas de seguridad cruciales en la fracturación hidráulica. El revestimiento de acero o cemento evita el colapso del pozo y protege las aguas subterráneas de la contaminación. La IAGEN puede complementar estas medidas al proporcionar información sobre la integridad del revestimiento y la cementación, lo que permite detectar posibles fugas o fallas.

#### **IV. Impacto Medible de la IAGEN**

La IAGEN tiene el potencial de generar un impacto medible en la eficiencia y la sostenibilidad de la fracturación hidráulica en Vaca Muerta. Al optimizar el diseño de la fracturación, la IAGEN puede aumentar la producción, reducir el consumo de agua y

minimizar el impacto ambiental.

- **Aumento de la producción:** La optimización del diseño de la fracturación mediante la IAGEN puede resultar en un aumento significativo de la producción de hidrocarburos. Los modelos predictivos permiten identificar las zonas del yacimiento con mayor potencial de producción y diseñar la fracturación para maximizar la recuperación de petróleo y gas. Al predecir con mayor precisión la propagación de las fracturas, la IAGEN puede ayudar a aumentar la superficie de contacto entre el pozo y el yacimiento, lo que se traduce en una mayor producción.
- **Reducción del consumo de agua:** La IAGEN puede contribuir a la reducción del consumo de agua en la fracturación hidráulica mediante la optimización de la cantidad de fluido de fracturación y la identificación de fuentes alternativas de agua. Esta reducción del consumo de agua es crucial en regiones con escasez hídrica como algunas zonas de Vaca Muerta. La IAGEN puede ayudar a determinar la cantidad mínima de agua necesaria para una fracturación efectiva, lo que reduce el impacto en las fuentes de agua dulce.
- **Disminución de emisiones:** La IAGEN puede ayudar a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en la fracturación hidráulica mediante la optimización del proceso y la reducción de la necesidad de venteo y quema de gas. Esta disminución de emisiones contribuye a la mitigación del cambio climático y a la protección del medio ambiente. Al mejorar la eficiencia de la extracción, la IAGEN reduce la cantidad de gas que se libera a la atmósfera.
- **Influencia del caudal de inyección:** El caudal de inyección del fluido de fracturación tiene una influencia significativa en las características de la fractura, como la presión de iniciación, el tiempo de propagación y la presión de ruptura. La IAGEN puede ayudar a optimizar el caudal de inyección para maximizar la eficiencia de la fracturación y minimizar el riesgo de daños a la formación.

## V. 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. 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 Flujo Agéntico impulsado por IAGEN**

La implementación de la IAGEN en la fracturación hidráulica requiere un flujo agéntico que involucre la interacción entre diferentes agentes, incluyendo sensores, plataformas de análisis, ingenieros y operadores. Esta interacción permite la recopilación, el análisis y la aplicación de datos para optimizar el proceso de fracturación.

**Sensores y dispositivos:** La IAGEN se basa en la recopilación de datos de sensores y dispositivos instalados en el pozo y en la superficie. Estos sensores proporcionan información sobre la presión, la temperatura, el caudal y otros parámetros relevantes para el monitoreo y la optimización de la fracturación. Los datos recopilados por los sensores se transmiten en tiempo real a las plataformas de análisis.

**Plataformas de análisis:** Los datos recopilados por los sensores se transmiten a plataformas de análisis que utilizan algoritmos de IAGEN para procesar la información y generar modelos predictivos. Estas plataformas permiten la visualización de datos, la

simulación de escenarios y la toma de decisiones informadas. Las plataformas de análisis utilizan técnicas de aprendizaje automático para identificar patrones y tendencias en los datos.

**Ingenieros y operadores:** Los ingenieros y operadores utilizan la información proporcionada por la IAGEN para optimizar el diseño de la fracturación, monitorear las operaciones en tiempo real y tomar decisiones que mejoren la eficiencia y la seguridad. La IAGEN facilita la colaboración entre los diferentes actores involucrados en la fracturación hidráulica. Los ingenieros pueden utilizar los modelos predictivos para ajustar los parámetros de la fracturación en tiempo real.

**Nanomateriales:** Los nanomateriales tienen el potencial de mejorar la eficiencia de los fluidos de fracturación. Por ejemplo, los nanomateriales pueden mejorar las propiedades reológicas del fluido, aumentar su capacidad de transporte de arena y reducir el daño a la conductividad de las fracturas. La IAGEN puede utilizarse para optimizar el diseño de nanomateriales para aplicaciones específicas en la fracturación hidráulica.

## **VI. Ventajas de la IAGEN en el Diseño de Fracturas**

La IAGEN ofrece una serie de ventajas significativas en comparación con los métodos tradicionales de diseño de fracturas. Mientras que los métodos tradicionales, como los utilizados en la medicina ósea, a menudo se basan en diagnósticos poco precisos y pueden convertir lesiones de tejidos blandos en problemas más graves, la IAGEN se apoya en datos y análisis rigurosos para optimizar el proceso de fracturación.

- **Mayor precisión:** La IAGEN permite la creación de modelos predictivos más precisos que incorporan datos geológicos, geomecánicos y de producción para simular el comportamiento de las fracturas inducidas. Esta mayor precisión facilita la optimización del diseño de la fracturación para maximizar la producción de hidrocarburos. A diferencia de los métodos tradicionales que a menudo se basan

en la intuición y la experiencia, la IAGEN utiliza algoritmos avanzados para analizar grandes conjuntos de datos y generar predicciones más fiables.

- **Optimización de recursos:** La IAGEN permite la optimización del uso de recursos como el agua y los aditivos químicos en la fracturación hidráulica. Los modelos predictivos ayudan a determinar la cantidad óptima de fluido de fracturación y la composición ideal para cada etapa de la fracturación, lo que reduce el consumo de recursos y los costos operativos. Además, la IAGEN puede ayudar a identificar fuentes alternativas de agua, como aguas residuales tratadas, para minimizar el impacto en las fuentes de agua dulce.
- **Minimización de riesgos:** La IAGEN facilita la identificación y la mitigación de riesgos ambientales y operativos en la fracturación hidráulica. Los modelos predictivos permiten simular diferentes escenarios y evaluar el impacto potencial de las operaciones, lo que ayuda a prevenir la contaminación de acuíferos, la inducción de sismicidad y otros riesgos. Por ejemplo, la IAGEN puede utilizarse para predecir la trayectoria de las fracturas y evitar que se propaguen hacia acuíferos o zonas pobladas.
- **Toma de decisiones informadas:** La IAGEN proporciona información detallada y precisa que facilita la toma de decisiones informadas en el diseño de la fracturación hidráulica. Los modelos predictivos ayudan a los ingenieros a evaluar diferentes opciones y seleccionar la estrategia de fracturación más eficiente y sostenible para cada pozo. Además, la IAGEN puede utilizarse para desarrollar técnicas de aprendizaje automático que minimicen los gastos y permitan la aplicación de la IA en la fracturación hidráulica.
- **Analogía con la curación de fracturas:** Al igual que en la medicina, donde se ha demostrado que el micromovimiento axial controlado puede acelerar la curación de fracturas óseas, la IAGEN puede optimizar el diseño de la fracturación para una mejor extracción de recursos. La IAGEN permite un control más preciso de la propagación de las fracturas, lo que se traduce en una mayor eficiencia en la extracción de hidrocarburos.

## VII. Desafíos Actuales en la Fracturación Hidráulica en Vaca Muerta

La fracturación hidráulica en Vaca Muerta se enfrenta a una serie de desafíos que afectan la eficiencia y la sostenibilidad de las operaciones. Estos desafíos requieren una comprensión profunda de la geología del yacimiento, la tecnología de fracturación y los posibles impactos ambientales.

- **Complejidad geológica:** La formación Vaca Muerta presenta una geología compleja con variaciones en la composición de la roca, la presencia de fallas y fracturas naturales, y la heterogeneidad en la distribución de los hidrocarburos. Esta complejidad dificulta la predicción del comportamiento de las fracturas inducidas y la optimización del diseño de la fracturación. Por ejemplo, la presencia de fallas naturales puede desviar la trayectoria de las fracturas hidráulicas, lo que reduce la eficiencia de la extracción.
- **Disponibilidad de agua:** La fracturación hidráulica requiere grandes volúmenes de agua, lo que puede generar tensiones en regiones con escasez hídrica como algunas zonas de Vaca Muerta. La competencia por el agua entre la industria del petróleo y gas, la agricultura y otros usuarios es un desafío importante que requiere soluciones para la gestión eficiente del agua. En particular, la zona de Añelo, donde se concentra la mayor parte de la actividad de fracking en Vaca Muerta, se enfrenta a una creciente escasez de agua. Es crucial encontrar un equilibrio entre las necesidades de la industria y la disponibilidad de agua para otros usos.
- **Riesgos ambientales:** La fracturación hidráulica conlleva riesgos ambientales como la contaminación de acuíferos, la emisión de gases de efecto invernadero como el metano, y la generación de aguas residuales que requieren un tratamiento adecuado. La minimización de estos riesgos es crucial para la sostenibilidad de las operaciones en Vaca Muerta.
- **Seguridad operativa:** Las operaciones de fracturación hidráulica involucran equipos y procesos complejos que requieren altos estándares de seguridad para prevenir accidentes y proteger la salud de los trabajadores. La implementación de medidas de seguridad robustas y la capacitación del personal son esenciales para

garantizar la seguridad en las operaciones. Los riesgos de seguridad incluyen caídas, golpes, atropellos y atrapamientos. Es fundamental contar con planes de control de tráfico interno, sistemas de protección contra caídas y procedimientos de bloqueo de equipos durante el mantenimiento para minimizar estos riesgos.

## **VIII. Perspectiva a Futuro**

La IAGEN tiene un futuro prometedor en la industria de la fracturación hidráulica. Se espera que la IAGEN continúe evolucionando y que se desarrollen nuevas tecnologías y modelos que permitan una mayor precisión en la predicción del comportamiento de las fracturas, una mayor eficiencia en el uso de recursos y una mayor seguridad en las operaciones. La IAGEN se convertirá en una herramienta indispensable para la optimización de la fracturación hidráulica en Vaca Muerta y en otras formaciones de shale en todo el mundo.

- **Avances en la perforación direccional:** La perforación direccional ha sido fundamental para el desarrollo de la fracturación hidráulica moderna. Esta tecnología permite perforar pozos horizontales que acceden a una mayor área del yacimiento, lo que aumenta la producción y reduce el impacto ambiental. Se espera que la IAGEN contribuya a mejorar la precisión y la eficiencia de la perforación direccional.
- **Mayor independencia energética:** La fracturación hidráulica ha contribuido significativamente al aumento de la producción de gas natural, lo que ha permitido a países como Estados Unidos reducir su dependencia de las importaciones de energía. Se espera que la IAGEN siga impulsando la producción de gas natural y contribuya a la independencia energética de los países.
- **Desafíos futuros:** A pesar de su potencial, la fracturación hidráulica también enfrenta desafíos futuros, como el riesgo de contaminación de aguas subterráneas y la inducción de sismicidad. Es crucial que la industria y los reguladores trabajen juntos para abordar estos desafíos y garantizar la seguridad y la sostenibilidad de las operaciones de fracturación hidráulica. La IAGEN puede desempeñar un papel importante en la identificación y la mitigación de estos riesgos.

## **IX. Conclusión**

La formación Vaca Muerta en Argentina representa una oportunidad invaluable para el desarrollo energético del país y la seguridad energética global. La fracturación hidráulica es una técnica esencial para la explotación de este recurso, pero presenta desafíos técnicos y ambientales que demandan soluciones innovadoras. La IAGEN se posiciona como una herramienta clave para optimizar el diseño de la fracturación hidráulica, mejorar la eficiencia de la extracción, reducir el consumo de recursos y minimizar los riesgos ambientales.

Los desafíos específicos de Vaca Muerta, como la complejidad geológica, la escasez de agua y los riesgos ambientales, pueden ser abordados de manera más efectiva mediante la aplicación de la IAGEN. La IAGEN permite la creación de modelos predictivos que simulan el comportamiento de las fracturas, optimizan el uso de recursos como el agua y los aditivos químicos, y predicen eventos que podrían comprometer la seguridad de las operaciones.

La implementación de la IAGEN en Vaca Muerta tiene el potencial de generar un impacto medible en la producción de hidrocarburos, la gestión del agua, la seguridad operativa y la sostenibilidad ambiental. Se espera que la IAGEN continúe evolucionando and se convierta en una herramienta indispensable para la industria de la fracturación hidráulica en el futuro, contribuyendo a una explotación más eficiente, segura y responsable de los recursos no convencionales.

### **Fuentes citadas**

1. substack.com, fecha de acceso: febrero 12, 2025, [https://substack.com/home/post/p-154499720?utm\\_campaign=post&utm\\_medium=web#:~:text=Here%2C%20Vaca%20Muerta%20can%20play,to%20diversify%20their%20energy%20sources.](https://substack.com/home/post/p-154499720?utm_campaign=post&utm_medium=web#:~:text=Here%2C%20Vaca%20Muerta%20can%20play,to%20diversify%20their%20energy%20sources.)
2. Vaca Muerta - Global Energy Monitor - GEM.wiki, fecha de acceso: febrero 12, 2025, [https://www.gem.wiki/Vaca\\_Muerta](https://www.gem.wiki/Vaca_Muerta)

3. Balancing energy security and a healthy environment | SEI, fecha de acceso: febrero 12, 2025, <https://www.sei.org/publications/energy-environment-vaca-muerta-fracking/>
4. Argentina's oil and gas sector: Vaca Muerta shale can drive near-term growth and fuel medium-term opportunities - Deloitte, fecha de acceso: febrero 12, 2025, <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/economy/americas/vaca-muerta-argentina-energy-sector-boom.html>
5. Hydraulic Fracturing or 'Fracking': A Short Summary of Current Knowledge and Potential Environmental Impacts, fecha de acceso: febrero 12, 2025, [https://www.epa.ie/publications/research/small-scale-studies/UniAberdeen\\_FrackingReport.pdf](https://www.epa.ie/publications/research/small-scale-studies/UniAberdeen_FrackingReport.pdf)
6. How Oil Exploration in the Vaca Muerta Region is Argentina's Hope to Escape the Economic Crisis | The Atlas Report, fecha de acceso: febrero 12, 2025, <https://atlas-report.com/how-oil-exploration-in-the-vaca-muerta-region-is-argentinahope-to-escape-the-economic-crisis/>
7. A New Way to Hydraulic Fracturing: UH Grad Student Captures Award for Groundbreaking Research | University of Houston, fecha de acceso: febrero 12, 2025, [https://www.uh.edu/uh-energy-innovation/news-events/newsletter/2025/spe\\_gradstudent\\_award\\_winner\\_mohamed\\_graby.php](https://www.uh.edu/uh-energy-innovation/news-events/newsletter/2025/spe_gradstudent_award_winner_mohamed_graby.php)
8. Traditional Bonesetters: Current Perspectives and Future Possibilities - YouTube, fecha de acceso: febrero 12, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=xmUnck34M-8>
9. Assessment of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing for Oil and Gas on Drinking Water Resources Executive Summary - Environmental Protection Agency, fecha de acceso: febrero 12, 2025, [https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/hf\\_es\\_erd\\_jun2015.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/hf_es_erd_jun2015.pdf)
10. Methods to accelerate fracture healing – a narrative review from a clinical perspective, fecha de acceso: febrero 12, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/immunology/articles/10.3389/fimmu.2024.1384783/full>
11. Argentina's Vaca Muerta: 10 Years of Fracking and Local Resistance - NACLA |

fecha de acceso: febrero 12, 2025,  
<https://nacla.org/argentina-vaca-muerta-fracking-resistance>

12. Occupational Safety and Health Risks of Fracking Operations - LHSFNA, fecha de acceso: febrero 12, 2025,  
<https://lhsfna.org/occupational-safety-and-health-risks-of-fracking-operations/>

13. Vaca Muerta Challenge, fecha de acceso: febrero 12, 2025,  
<https://vacamuertachallenge.ypf.com/>

14. Hydraulic Fracturing and Potential Environmental Impacts - LobbyTools, fecha de acceso: febrero 12, 2025,  
[https://static-s3.lobbytools.com/docs/2013/11/6/63025\\_denise\\_cox\\_presentation\\_at\\_energy\\_101\\_forum.pdf](https://static-s3.lobbytools.com/docs/2013/11/6/63025_denise_cox_presentation_at_energy_101_forum.pdf)

15. Analysis of the \$69.6 Bn Hydraulic Fracturing Industry 2025-2030, Featuring 22 Leading Players - Baker Hughes, Halliburton, Schlumberger, United Oilfield Services & More - GlobeNewswire, fecha de acceso: febrero 12, 2025,  
<https://www.globenewswire.com/news-release/2025/02/26/3032728/0/en/Analysis-of-the-69-6-Bn-Hydraulic-Fracturing-Industry-2025-2030-Featuring-22-Leading-Players-Baker-Hughes-Halliburton-Schlumberger-United-Oilfield-Services-More.html>

16. Advanced Tools Simplify Fracturing - American Oil & Gas Reporter, fecha de acceso: marzo 1, 2025,  
<https://www.aogr.com/magazine/frac-facts/advanced-tools-simplify-fracturing>

17. Natural Gas Extraction - Hydraulic Fracturing - US EPA, fecha de acceso: febrero 28, 2025, [https://19january2017snapshot.epa.gov/hydraulicfracturing\\_.html](https://19january2017snapshot.epa.gov/hydraulicfracturing_.html)

18. According to Stanford Professor "Fracking is Safe" - Dragon Products, fecha de acceso: marzo 1, 2025,  
<https://dragonproducts.com/fracking-is-safe-stanford-professor/>

19. Hydraulic Fracturing: An Indiana Assessment | Indiana Geological & Water Survey, fecha de acceso: marzo 1, 2025,  
<https://legacy.igws.indiana.edu/OilGas/HydraulicFracturing>

20. Clean Cities White Paper Template - Alternative Fuels Data Center, fecha de acceso:

marzo 1, 2025, [https://afdc.energy.gov/files/u/publication/anl\\_hydraulic\\_fracturing.pdf](https://afdc.energy.gov/files/u/publication/anl_hydraulic_fracturing.pdf)

21. Effect of Injection Rate on Hydraulic Fracturing of Opalinus Clay Shale, fecha de acceso: marzo 1, 2025,

<https://erlweb.mit.edu/sites/default/files/Einstein%20Effect%20Injection%20Rate.pdf>

22. Hydraulic Fracturing Technology - Energy4me, fecha de acceso: febrero 28, 2025,

<https://energy4me.org/learn-about-energy/technology/hydraulic-fracturing-technology/>

23. Nanomaterials and Technology Applications for Hydraulic Fracturing of Unconventional Oil and Gas Reservoirs: A State-of-the-Art Review of Recent Advances and Perspectives - PMC, fecha de acceso: marzo 1, 2025,

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9434759/>

24. Exploring the Latest Innovations in Hydraulic Fracturing Technology in Western Canada, fecha de acceso: marzo 1, 2025,

<https://belloygeologists.ca/hydraulic-fracturing/>

25. Analysis of the \$69.6 Bn Hydraulic Fracturing Industry - GlobeNewswire, fecha de acceso: marzo 1, 2025,

<https://www.globenewswire.com/news-release/2025/02/26/3032728/28124/en/Analysis-of-the-69-6-Bn-Hydraulic-Fracturing-Industry-2025-2030-Featuring-22-Leading-Players-Baker-Hughes-Halliburton-Schlumberger-United-Oilfield-Services-More.html>

26. Hydraulic Fracturing: A Bridge to the Future - UMD English Department, fecha de acceso: marzo 1, 2025,

<https://english.umd.edu/research-innovation/journals/interpolations/fall-2013spring-2014/hydraulic-fracturing-bridge-future>

27. Hydraulic Fracturing: Paving the Way for a Sustainable Future? - PMC - PubMed Central, fecha de acceso: marzo 1, 2025,

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3984842/>

28. Fracking the Future - The Dangers of Gas Drilling - DeSmog, fecha de acceso: marzo 1, 2025, <https://www.desmog.com/fracking-the-future/danger.html>