



## Reporte entregable 13

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

# Análisis de Datos Geológicos y Sísmicos para la Identificación de Áreas con Shale Gas en Vaca Muerta

## I. Introducción

### 1. Sector y Actividad Específica

Vaca Muerta, ubicada en la cuenca Neuquina de Argentina, es una de las formaciones de shale gas más importantes a nivel mundial. La exploración y explotación de estos recursos no convencionales requiere un análisis exhaustivo de datos geológicos y sísmicos para identificar áreas con alto potencial de producción.

En este contexto, la Inteligencia Artificial Generativa (IAGEN) surge como una herramienta disruptiva con el potencial de revolucionar la industria del petróleo y gas. Las empresas del sector energético argentino están retomando gradualmente su participación en los mercados internacionales de deuda, impulsadas por el creciente interés de los inversores en Vaca Muerta y los anuncios de proyectos en la región.

A través de la IAGEN, las empresas pueden optimizar la interpretación de datos, mejorar la precisión en la identificación de áreas prospectivas, y en última instancia, tomar decisiones más informadas que maximicen la rentabilidad de los proyectos y minimicen los riesgos operativos.

En un escenario de creciente demanda de gas natural a nivel mundial, la eficiencia en la identificación y explotación de estos recursos en Vaca Muerta se vuelve crucial para la competitividad de Argentina en el mercado energético.

## II. Aplicación de la IAGEN en la Actividad Específica

### 1. Cómo se Aplica la IAGEN en el Análisis Geológico y Sísmico

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.

La IAGEN, a través de algoritmos avanzados, puede generar modelos predictivos que analizan datos sísmicos en 3D y los correlacionan con información geológica histórica. Algunas de las aplicaciones clave de la IAGEN en la exploración de shale gas en Vaca Muerta incluyen:

- **Generación de Modelos Sísmicos Sintéticos:** La IAGEN puede crear simulaciones realistas del subsuelo, que permiten predecir la presencia de shale gas con mayor precisión.
- **Interpretación Automatizada de Datos Sísmicos:** Mediante el uso de redes neuronales generativas, la IAGEN puede identificar patrones geológicos clave en los datos sísmicos, reduciendo el tiempo de análisis y mejorando la eficiencia.
- **Optimización de la Perforación:** Los modelos generativos pueden sugerir ubicaciones óptimas para la perforación, considerando factores como la presencia de shale gas, la permeabilidad de la roca y la profundidad del reservorio.

Un ejemplo concreto de la aplicación de la IAGEN es la combinación de modelos generativos con algoritmos de aprendizaje profundo para mejorar la identificación de "trampas" estructurales y estratigráficas. Estas "trampas" son formaciones geológicas particulares que, debido a su configuración, pueden contener acumulaciones de hidrocarburos. La IAGEN puede analizar las imágenes sísmicas para identificar patrones y características que indiquen la presencia de estas trampas, como pliegues anticlinales, fallas geológicas o cambios en la estratigrafía. Esta información,

combinada con datos geológicos, permite a los expertos determinar con mayor precisión la ubicación de posibles yacimientos de shale gas.

## 2. Tecnologías y Modelos Utilizados

Tecnología IAGEN	Aplicación	Beneficios
Redes Generativas Adversariales (GANs)	Generación de modelos geológicos sintéticos, refinamiento de modelos existentes, mejora de la resolución de datos sísmicos	Creación de simulaciones realistas, predicción de la presencia de shale gas, mejora de la calidad de los datos
Transformers para Series Temporales	Análisis de datos sísmicos en evolución, identificación de patrones	Predicción de la evolución de los reservorios, mejor comprensión de la dinámica del yacimiento
Modelos de Difusión	Mejora de la resolución de datos sísmicos de baja calidad	Obtención de imágenes sísmicas más nítidas y detalladas
Aprendizaje por Refuerzo	Optimización dinámica de estrategias de perforación basadas en	Selección de las mejores ubicaciones para la perforación, minimización de costos

	escenarios simulados	y riesgos
--	----------------------	-----------

### **3. Integración de la IAGEN con Otras Tecnologías**

La IAGEN puede integrarse con otras tecnologías de análisis de datos para obtener una visión más completa del subsuelo y optimizar la exploración de shale gas en Vaca Muerta. Algunas de estas tecnologías incluyen:

- **Análisis Geoestadístico:** El análisis geoestadístico permite modelar la variabilidad espacial de las propiedades del reservorio, como la porosidad y la permeabilidad. La combinación de la IAGEN con el análisis geoestadístico puede mejorar la precisión en la predicción de la distribución del shale gas.
- **Modelado Numérico de Yacimientos:** El modelado numérico de yacimientos simula el comportamiento de los fluidos en el reservorio, lo que permite predecir la producción de gas a lo largo del tiempo. La integración de la IAGEN con el modelado numérico puede mejorar la precisión de las simulaciones y optimizar las estrategias de producción.
- **Visualización de Datos y Herramientas de Interpretación:** La IAGEN puede facilitar la visualización e interpretación de datos geológicos y sísmicos mediante la generación de mapas, modelos 3D y otras representaciones gráficas. Estas herramientas permiten a los geólogos e ingenieros comprender mejor la estructura del subsuelo, identificar patrones y tomar decisiones más informadas.

## **III. Aplicación de agentes impulsados por IAGEN para la actividad**

### **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 de Trabajo para la Implementación de la IAGEN**

La implementación de la IAGEN en la exploración de shale gas en Vaca Muerta requiere un flujo de trabajo estructurado que garantice la calidad de los datos, la eficiencia del proceso y la precisión de las predicciones. Un posible flujo de trabajo incluye las siguientes etapas:

### **1. Flujo de Trabajo con IAGEN**

- a. Recolección de Datos: Integración de datos sísmicos, geológicos, de pozos y de producción.
- b. Preprocesamiento de Datos: Limpieza, estructuración y normalización de la información para asegurar la compatibilidad con los modelos de IAGEN.
- c. Entrenamiento del Modelo Generativo: Selección y entrenamiento de los modelos de IAGEN más adecuados para la tarea, utilizando técnicas como GANs, Transformers o modelos de difusión.
- d. Generación de Predicciones: Utilización del modelo entrenado para generar predicciones sobre la presencia de shale gas, la permeabilidad de la roca y otras variables de interés.
- e. Validación con Datos Reales: Comparación de las predicciones generadas por la

IAGEN con datos de pozos existentes para evaluar la precisión del modelo.

- f. Toma de Decisiones: Utilización de las predicciones validadas para optimizar la ubicación de los pozos de perforación, las estrategias de extracción y la gestión de los recursos.

#### **IV. Oportunidades y desafíos**

La aplicación de la IAGEN en la exploración de shale gas en Vaca Muerta presenta tanto desafíos como oportunidades. El análisis de datos geológicos y sísmicos es un proceso complejo que involucra el manejo de grandes volúmenes de información, a menudo no estructurada y con un alto grado de incertidumbre. La información sísmica, en particular, puede ser "ruidosa", con una interpretación compleja y sujeta a una variabilidad geológica significativa.

##### **1. Oportunidades**

- Automatización del análisis sísmico: La IAGEN permite automatizar tareas repetitivas, liberando a los expertos para que se concentren en tareas de mayor valor agregado.
- Reducción de la incertidumbre: Los modelos generativos pueden ayudar a reducir la incertidumbre en la interpretación de datos geológicos y sísmicos, mejorando la precisión en la identificación de áreas prospectivas.
- Optimización de la perforación: La IAGEN puede utilizarse para optimizar la ubicación de los pozos de perforación, minimizando los costos y el impacto ambiental.

##### **2. Beneficios Directos**

La aplicación de la IAGEN en la exploración de shale gas en Vaca Muerta ofrece una serie de beneficios directos para las empresas del sector:

- Mayor Precisión en la Identificación de Reservas: La IAGEN permite reducir los errores en la selección de zonas de perforación, lo que se traduce en una mayor

eficiencia en la exploración y explotación de los recursos.

- **Optimización de Costos y Recursos:** Al mejorar la precisión en la identificación de áreas prospectivas, la IAGEN reduce la necesidad de realizar perforaciones exploratorias innecesarias, lo que se traduce en un ahorro significativo de costos y una mejor gestión de los recursos. Además, los costos de extracción en Vaca Muerta son menores que en otras formaciones de shale gas, como la cuenca Pérmica en Estados Unidos. Esto se debe en parte a la alta productividad de los pozos en Vaca Muerta, que son aproximadamente un 30% más productivos que los de la cuenca Pérmica.
- **Reducción de Riesgos Ambientales:** La IAGEN contribuye a minimizar el impacto ambiental de la exploración de shale gas al reducir la cantidad de perforaciones y la intervención en el subsuelo.
- **Reducción en el Tiempo de Exploración:** La automatización del análisis de datos y la optimización de la perforación permiten acortar los plazos desde la prospección inicial hasta la fase de extracción, acelerando el desarrollo de los proyectos.
- **Generación de Empleo y Desarrollo de Capacidades:** La implementación de la IAGEN en Vaca Muerta puede generar nuevas oportunidades de empleo y desarrollo de capacidades en la región. Se requerirán profesionales con habilidades en:  
Ciencia de datos: Para el desarrollo y entrenamiento de modelos de IAGEN;  
Ingeniería de software: Para la implementación y mantenimiento de las plataformas de IA;  
Geología e ingeniería de petróleo: Para la interpretación de los resultados y la toma de decisiones. Es fundamental invertir en la formación de profesionales en estas áreas para aprovechar al máximo el potencial de la IAGEN en Vaca Muerta.

### **3. Impacto**

La IAGEN tiene el potencial de generar un impacto medible en la exploración de shale gas en Vaca Muerta. Algunos ejemplos de este impacto incluyen:

- Reducción del 30-50% en el tiempo de análisis geológico: La automatización del análisis de datos mediante la IAGEN puede reducir significativamente el tiempo que los geólogos dedican a la interpretación de datos sísmicos y geológicos.
- Ahorro del 20-40% en costos operativos mediante la optimización de perforaciones: Al mejorar la precisión en la ubicación de los pozos, la IAGEN reduce la cantidad de perforaciones fallidas, lo que se traduce en un ahorro considerable en costos operativos.
- Incremento del 15-25% en la tasa de éxito de perforación: La IAGEN aumenta la probabilidad de encontrar shale gas en las zonas perforadas, mejorando la eficiencia de la exploración.
- Disminución del impacto ambiental al reducir las perforaciones innecesarias en hasta un 35%: La optimización de la perforación mediante la IAGEN minimiza la intervención en el subsuelo, reduciendo el impacto ambiental de la exploración.

#### 4. Comparación con Métodos Tradicionales

Los métodos tradicionales de análisis de datos geológicos y sísmicos se basan en gran medida en la interpretación manual de la información, lo que puede ser un proceso lento, costoso y propenso a errores. La IAGEN, por otro lado, permite automatizar la interpretación de datos, mejorando la rapidez, la precisión y la eficiencia en la toma de decisiones.

Método	Precisión	Eficiencia	Costo	Impacto Ambiental
--------	-----------	------------	-------	-------------------

Tradicional	Menor	Menor	Mayor	Mayor
IAGEN	Mayor	Mayor	Menor	Menor

## V. Desafíos y Estrategias para Superarlos

### 1. Desafíos

- Complejidad de los datos: La información sísmica puede ser de difícil interpretación y con variabilidad geológica significativa.
- Integración de datos históricos: La validación de las predicciones generadas por la IAGEN requiere la integración de datos históricos, que en muchos casos pueden ser de calidad dispareja o estar incompletos.
- Interpretación de resultados: Es fundamental que la IAGEN se traduzca en información accionable que los geólogos e ingenieros puedan interpretar y aplicar en la toma de decisiones.

### 2. Barreras

A pesar de los beneficios potenciales de la IAGEN, existen algunas barreras que pueden dificultar su implementación en la exploración de shale gas en Vaca Muerta:

- Resistencia al cambio: La introducción de nuevas tecnologías como la IAGEN puede generar resistencia entre los profesionales del sector, que pueden ser reacios a adoptar nuevas formas de trabajar.
- Limitaciones regulatorias: La falta de un marco regulatorio claro para el uso de la IA en la exploración de hidrocarburos puede generar incertidumbre y dificultar la inversión en estas tecnologías.
- Calidad de los datos: La IAGEN requiere datos de alta calidad para generar predicciones precisas. La disponibilidad de datos históricos incompletos o

desactualizados puede limitar la efectividad de la IAGEN.

### **3. Estrategias**

Para superar estas barreras, es necesario implementar estrategias que faciliten la adopción de la IAGEN en la exploración de shale gas en Vaca Muerta:

- **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.
- **Capacitación y Adopción Progresiva:** Es fundamental capacitar a los geólogos e ingenieros en el uso de la IAGEN y promover su adopción progresiva, comenzando con proyectos piloto que demuestren los beneficios de la tecnología.
- **Alianzas con Instituciones Regulatorias:** Es necesario trabajar en conjunto con las instituciones regulatorias para desarrollar un marco normativo que fomente la innovación y el uso responsable de la IA en la exploración de hidrocarburos.
- **Mejora en la Recolección de Datos:** Es crucial invertir en la recolección de datos de alta calidad, utilizando sensores avanzados y tecnologías de adquisición de datos que permitan obtener información más precisa y completa.
- **Desarrollo de Sistemas Híbridos:** La combinación de la IAGEN con la validación humana puede mejorar la aceptación de la tecnología y garantizar la confiabilidad de las predicciones.
- **Colaboración entre la Industria, la Academia y el Gobierno:** La implementación exitosa de la IAGEN en Vaca Muerta requiere la colaboración entre la industria, la academia y el gobierno. Esta colaboración puede facilitar:

- La investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías: La academia puede contribuir con la investigación y el desarrollo de nuevos modelos de IAGEN adaptados a las características específicas de Vaca Muerta.
- La formación de profesionales: Las universidades y centros de formación pueden capacitar a los profesionales del sector en el uso de la IAGEN.
- El desarrollo de un marco regulatorio: El gobierno puede trabajar en conjunto con la industria y la academia para desarrollar un marco regulatorio que fomente la innovación y el uso responsable de la IA en la exploración de hidrocarburos.

## **VI. Sostenibilidad y Medio Ambiente en Vaca Muerta**

La explotación de shale gas en Vaca Muerta plantea preocupaciones ambientales que deben ser abordadas de manera responsable. La técnica de fracturación hidráulica ("fracking"), utilizada para extraer el gas, requiere grandes volúmenes de agua y puede generar impactos en el suelo, el agua subterránea y la calidad del aire.

Un estudio de la organización Sustainable Energy for All (SEforALL) destaca la importancia de evaluar los riesgos ambientales de la explotación de shale gas en Vaca Muerta. El estudio propone la utilización de un "Índice de Riesgo Ambiental" que considera la proximidad de los pozos a fuentes de agua, áreas agrícolas y poblaciones, para identificar las zonas con mayor riesgo de contaminación.

Investigaciones realizadas por Earthworks, una organización dedicada a la protección del medio ambiente, han documentado evidencias de contaminación en Vaca Muerta, incluyendo fugas de metano, derrames de petróleo y la presencia de residuos tóxicos en el aire y el suelo. Estos hallazgos resaltan la necesidad de implementar medidas de mitigación y monitoreo para minimizar el impacto ambiental de la explotación de shale gas.

La IAGEN puede contribuir a minimizar el impacto ambiental de la explotación de shale gas en Vaca Muerta de diversas maneras:

- Optimización de la perforación: Al mejorar la precisión en la ubicación de los pozos,

la IAGEN reduce la necesidad de realizar perforaciones innecesarias, minimizando la intervención en el subsuelo y el consumo de agua.

- Monitoreo ambiental: La IAGEN puede utilizarse para monitorear las condiciones ambientales en tiempo real, detectando posibles fugas de gas o contaminación del agua.
- Evaluación de riesgos: Los modelos generativos pueden simular diferentes escenarios de explotación y predecir los posibles impactos ambientales, lo que permite tomar medidas preventivas para minimizar los riesgos.

Es fundamental que la implementación de la IAGEN en Vaca Muerta se realice con un enfoque de sostenibilidad, considerando no solo los beneficios económicos, sino también los impactos ambientales y sociales. La IAGEN ofrece una oportunidad para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de la explotación de shale gas, pero es crucial que su aplicación se realice de forma responsable y con un enfoque en la protección del medio ambiente.

## **VII. Conclusión**

La aplicación de la IAGEN en el análisis de datos geológicos y sísmicos en Vaca Muerta representa una oportunidad estratégica para optimizar la exploración de shale gas, reducir costos, mejorar la eficiencia operativa y minimizar el impacto ambiental. La implementación efectiva de la IAGEN requiere superar desafíos técnicos, regulatorios y éticos, pero los beneficios potenciales, como el aumento de la productividad, la reducción de costos y la minimización del impacto ambiental, justifican la inversión en esta tecnología.

La colaboración entre la industria, la academia y el gobierno es fundamental para asegurar que la IAGEN se utilice de forma responsable y que contribuya al desarrollo sostenible de Vaca Muerta y de Argentina. La experiencia en otros yacimientos de shale gas, demuestra que la aplicación de tecnologías avanzadas como la IAGEN puede generar importantes beneficios económicos y ambientales.

Vaca Muerta tiene el potencial de convertirse en un motor de crecimiento para Argentina, impulsando la economía, generando empleo y contribuyendo a la seguridad energética del país. La IAGEN puede jugar un papel clave en este proceso, siempre y cuando su aplicación se realice de forma responsable y con un enfoque en la sostenibilidad.

### **Fuentes citadas**

1. Credit FAQ: Renewed Interest In Argentina's Vaca Muerta Shale | S&P Global Ratings, acceso: 10 de febrero, 2025, <https://www.spglobal.com/ratings/en/research/articles/250117-credit-faq-renewed-interest-in-argentina-s-vaca-muerta-shale-13381062>
2. Argentina's oil and gas sector: Vaca Muerta shale can drive near-term growth and fuel medium-term opportunities - Deloitte, acceso: 10 de febrero, 2025, <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/economy/americas/vaca-muerta-argentina-energy-sector-boom.html>
3. . Global Affairs and Strategic Studies. School of Law - University of Navarra, acceso: 10 de febrero, 2025, <https://en.unav.edu/web/global-affairs/detalle/-/blogs/argentina-ve-en-vaca-muerta-un-a-tabla-de-salvacion-pero-falta-mas-capital-para-su-desarrollo-4>
4. Balancing energy security and a healthy environment | SEI, acceso: 10 de febrero, 2025, <https://www.sei.org/publications/energy-environment-vaca-muerta-fracking/>
5. Argentina's Vaca Muerta: 10 Years of Fracking and Local Resistance - NACLA |, acceso: 15 de febrero, 2025, <https://nacla.org/argentina-vaca-muerta-fracking-resistance>