



Reporte entregable 45

Caso de uso de aplicación de IA e IAGEN

Gestión Ambiental: Monitoreo de Emisiones y Detección de Fugas de Metano con Visión por Computadora en Vaca Muerta

I. Introducción.

Vaca Muerta, ubicada en la provincia de Neuquén, Argentina, se erige como una de las formaciones de shale oil y shale gas más importantes a nivel mundial. Su explotación ha impulsado significativamente la economía argentina, atrayendo inversiones y generando empleo.

Estas actividades suelen plantear desafíos ambientales cruciales, particularmente en la gestión y control de las emisiones de metano. Este gas de efecto invernadero posee un potencial de calentamiento global considerablemente mayor que el dióxido de carbono (CO₂), 25 veces superior en un horizonte de 100 años. Por lo tanto, la liberación de metano a la atmósfera, ya sea por fugas en ductos, equipos o pozos, no solo constituye un problema ambiental, sino también una pérdida económica para las empresas y un riesgo frente a las crecientes regulaciones ambientales.

Las emisiones de metano en la industria del petróleo y gas provienen de diversas fuentes, incluyendo fugas, ventilación de equipos neumáticos, ventilación de juntas de compresores, ventilación de tanques, vaciado de pozos, quema de pozos de petróleo y ventilación de deshidratadores. Abordar estas emisiones es crucial para minimizar el impacto ambiental de la explotación de Vaca Muerta y para contribuir a los esfuerzos globales de mitigación del cambio climático. En este sentido, el Sistema de Alerta y

Respuesta al Metano (MARS) de la ONU ha demostrado ser eficaz en la detección de fugas significativas de metano a nivel mundial, emitiendo notificaciones y promoviendo respuestas por parte de gobiernos y empresas.

Además del desafío que representa el metano, la industria del petróleo y gas enfrenta la necesidad de optimizar la producción y reducir costos. En este contexto, YPF, la principal empresa energética argentina, ha implementado la inteligencia artificial (IA) para controlar en tiempo real las variables técnicas de los pozos en Vaca Muerta, buscando maximizar la eficiencia y la productividad ¹. Esta iniciativa demuestra el potencial de la IA para mejorar la rentabilidad y reducir el impacto ambiental de la explotación de hidrocarburos.

II. Impacto Ambiental de la Explotación

Estas actividades poseen desafíos ambientales asociados:

- **Contaminación del agua:** La fractura hidráulica (fracking), técnica utilizada para la extracción de hidrocarburos no convencionales, requiere grandes cantidades de agua, arena y aditivos químicos. La composición del fluido de fractura incluye agua, arena y una variedad de aditivos químicos, como ácidos, biocidas, surfactantes y agentes gelificantes. Estos aditivos pueden contaminar las fuentes de agua superficiales y subterráneas, afectando la salud humana y los ecosistemas. Además, la disposición del agua de retorno del fracking, que contiene sustancias tóxicas y puede incluir elementos radiactivos, representa un desafío ambiental significativo.
- **Contaminación del aire:** Las emisiones de gases contaminantes, como metano, dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno, contribuyen a la contaminación del aire en la región. La quema de gas (flaring) y la ventilación de gas (venting) son prácticas comunes en Vaca Muerta que liberan gases contaminantes a la atmósfera. Estas emisiones no solo afectan la calidad del aire local, sino que también contribuyen al calentamiento global.

- **Sismicidad inducida:** La inyección de fluidos a alta presión durante el fracking puede inducir sismicidad en la región, generando temblores que afectan a las comunidades y al medio ambiente. Estos sismos, aunque generalmente de baja magnitud, pueden causar daños a la infraestructura y generar preocupación entre la población.
- **Impacto en la salud:** La contaminación del aire y del agua, así como el ruido y las vibraciones generadas por la actividad petrolera, pueden tener consecuencias negativas para la salud de las comunidades cercanas a Vaca Muerta. Se han reportado casos de problemas respiratorios, irritación de la piel y otros problemas de salud en personas que viven cerca de las zonas de explotación.
- **Uso intensivo del territorio:** La explotación de Vaca Muerta requiere la ocupación de grandes extensiones de tierra para la instalación de pozos, ductos e infraestructura, lo que puede afectar la biodiversidad y el uso tradicional del territorio. Este impacto es particularmente relevante en el caso de las comunidades indígenas que habitan la región.
- **Generación de residuos:** La actividad de fracking genera una gran cantidad de residuos, incluyendo lodos de perforación, recortes de perforación y mantas oleofílicas. El manejo adecuado de estos residuos es crucial para prevenir la contaminación del suelo y del agua.
- **Arenas de fractura:** En cada pozo de fracking se utilizan miles de toneladas de arena, que a menudo provienen de canteras lejanas. La extracción y el transporte de estas arenas generan impactos ambientales adicionales, y la propia arena puede contener sílice, lo que representa un riesgo de silicosis para los trabajadores.
- **Ecocidio:** Algunos críticos argumentan que la explotación de Vaca Muerta, con sus múltiples impactos ambientales y sociales, constituye un caso de "ecocidio", es decir, la destrucción a gran escala del ecosistema.

La inteligencia artificial puede ser un insumo relevante para hacer frente a estos desafíos.

III. Limitaciones de los Métodos Tradicionales de Detección de Fugas

Tradicionalmente, la detección de fugas de metano se ha basado en inspecciones manuales y sensores fijos. Sin embargo, estos métodos presentan limitaciones que dificultan una gestión ambiental eficiente:

- **Baja cobertura espacial y resolución temporal:** Las inspecciones manuales, por su naturaleza, son puntuales y no abarcan la totalidad de las instalaciones. Los sensores fijos, aunque ofrecen monitoreo continuo, tienen un alcance limitado y pueden ser costosos de instalar.
- **Costos operativos elevados:** Las inspecciones manuales requieren personal dedicado y tiempo, lo que implica un costo considerable. Los sensores fijos, si bien pueden ser costosos de instalar, también requieren mantenimiento regular.
- **Dependencia de equipos de monitoreo humano:** Tanto las inspecciones manuales como la interpretación de datos de sensores fijos dependen de la intervención humana, lo que puede introducir subjetividad y demoras en la detección de fugas.
- **Respuesta reactiva en lugar de preventiva:** Los métodos tradicionales suelen detectar las fugas una vez que ya se han producido, lo que limita la capacidad de prevenir emisiones y sus consecuencias.

IV. Inteligencia Artificial Generativa (IAGEN) y Visión por Computadora: Una Solución Innovadora

Ante las limitaciones de los métodos tradicionales, la Inteligencia Artificial Generativa (IAGEN), en combinación con la visión por computadora, se presenta como una solución innovadora para la detección de fugas de metano en Vaca Muerta. Esta tecnología permite un monitoreo automatizado, en tiempo real y con mayor precisión, lo que se traduce en una gestión ambiental más eficiente y sostenible. La IAGEN tiene el potencial de transformar la detección de fugas de metano, pasando de un enfoque reactivo a uno proactivo, donde las fugas se identifican en etapas tempranas, previniendo emisiones significativas y mejorando el desempeño ambiental.

1. ¿Cómo funciona la IAGEN en la Detección de Fugas?

El sistema de detección de fugas con IAGEN se basa en el análisis avanzado de imágenes capturadas por drones equipados con cámaras infrarrojas y sensores hiperespectrales. La IAGEN potencia este proceso de diversas maneras:

- **Reconstrucción y simulación de patrones de emisión:** Los modelos generativos pueden reconstruir y simular patrones de emisión de metano, incluso en condiciones de baja concentración, lo que permite detectar fugas mínimas que podrían pasar desapercibidas con otros métodos.
- **Identificación temprana de fugas:** Mediante el análisis automatizado de las firmas espectrales del metano en las imágenes hiperespectrales, la IAGEN puede identificar fugas en etapas tempranas, antes de que se conviertan en un problema mayor.
- **Predicción de fallas en infraestructura:** Los modelos generativos pueden analizar variaciones sutiles en los datos de imágenes y sensores para predecir posibles fallas en la infraestructura, como ductos o equipos, que podrían resultar en fugas de metano.
- **Automatización del reporte de fugas:** La IAGEN permite automatizar la generación de alertas en tiempo real y la elaboración de informes detallados sobre las fugas detectadas, lo que facilita la toma de decisiones y la respuesta rápida ante incidentes.

2. Tecnologías Clave

La implementación de la IAGEN en la detección de fugas de metano se apoya en diversas tecnologías que, al integrarse, crean un sistema de monitoreo ambiental completo y eficiente:

- **Redes Neuronales Convolucionales (CNNs):** Las CNNs son un tipo de red neuronal artificial especialmente eficaz en el análisis de imágenes, en este caso, imágenes hiperespectrales que capturan información detallada sobre la composición química

de la escena.

- **Modelos Generativos Adversarios (GANs):** Las GANs son un tipo de modelo generativo que se utiliza para refinar las detecciones, especialmente en condiciones climáticas adversas que pueden afectar la calidad de las imágenes.
- **Internet de las Cosas (IoT) y Sensores Distribuidos:** El uso de sensores distribuidos en las instalaciones, conectados a una plataforma de gestión de datos en la nube a través de IoT, permite recopilar información complementaria para el análisis de la IAGEN.
- **Drones Autónomos:** Los drones autónomos, equipados con IA embebida, pueden realizar patrullajes programados para capturar imágenes y datos de forma eficiente y segura.

V. Aplicación de agentes impulsados por 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. Propuesta de diseño de flujo de Trabajo para la Implementación

La implementación de la detección de fugas de metano con IAGEN en Vaca Muerta puede seguir el siguiente flujo de trabajo:

1. Captura de datos: Drones equipados con cámaras infrarrojas y sensores hiperespectrales patrullan las áreas críticas de las instalaciones y registran imágenes y datos.
2. Análisis en tiempo real: Las imágenes y los datos capturados por los drones se envían a una plataforma en la nube para su análisis.
3. Procesamiento con IA Generativa: Los algoritmos de IAGEN analizan los datos en busca de anomalías en los patrones espectrales que indiquen la presencia de fugas de metano.
4. Generación de alertas: El sistema genera alertas en tiempo real en un dashboard y a través de APIs (Application Programming Interfaces) para notificar al personal responsable y facilitar una respuesta inmediata.
5. Acción correctiva: Los equipos de mantenimiento, con la información precisa sobre la ubicación y magnitud de la fuga, intervienen rápidamente para solucionar el problema.

Ejemplo hipotético Concreto

Para ilustrar el funcionamiento del sistema, consideremos el siguiente escenario:

- Una válvula defectuosa en un ducto presenta una fuga de metano.
- Los drones, durante su patrullaje, detectan la fuga y la IAGEN confirma la emisión anómala al analizar las imágenes hiperespectrales.
- El sistema emite una alerta con las coordenadas exactas de la fuga en el dashboard y a través de la API.
- El equipo de mantenimiento, con la información precisa, se dirige al lugar y realiza

la reparación de la válvula antes de que se produzca una emisión significativa de metano.

VI. Beneficios Concretos de la Detección de Fugas con IAGEN

La implementación de la IAGEN en la detección de fugas de metano en Vaca Muerta ofrece una serie de beneficios concretos que van más allá del ahorro de costos en la detección de fugas. La mayor eficiencia, la reducción del tiempo de inactividad y el cumplimiento normativo mejorado pueden contribuir a una mayor rentabilidad y competitividad para las empresas :

Beneficio	Descripción
Eficiencia	Reducción del 60% en el tiempo de detección de fugas, lo que permite una respuesta más rápida y la minimización de emisiones.
Costos	Ahorro del 30% en los costos operativos de monitoreo, gracias a la automatización del proceso y la reducción de la necesidad de inspecciones manuales.
Seguridad	La utilización de drones para la captura de datos disminuye la exposición del personal a áreas de riesgo en un 70%, mejorando la seguridad laboral.
Sostenibilidad	La detección temprana y precisa de

	<p>fugas contribuye al cumplimiento efectivo de las regulaciones ambientales y reduce el riesgo de penalizaciones. Además, la minimización de las emisiones de metano tiene un impacto positivo en la lucha contra el cambio climático.</p>
--	---

Comparación con Métodos Tradicionales

Método	Cobertura	Precisión	Costo	Tiempo de Respuesta
Inspección Manual	Baja	Media	Alto	Lento
Sensores Fijos	Media	Alta	Medio	Medio
Drones con IAGEN	Alta	Muy Alta	Bajo	Rápido

VII. Desafíos y Estrategias para la Implementación

A pesar de los beneficios, la implementación de la IAGEN en Vaca Muerta enfrenta algunos desafíos:

- **Costo inicial elevado:** La inversión en tecnología avanzada, como drones, sensores

y software de IAGEN, puede ser significativa, especialmente para empresas pequeñas.

- **Resistencia al cambio:** La falta de experiencia en el sector con herramientas de IA puede generar resistencia a la adopción de nuevas tecnologías.
- **Requerimientos regulatorios:** El cumplimiento de las normativas ambientales, que están en constante evolución, puede ser complejo y requerir adaptaciones en la implementación de la IAGEN.

Para superar estos desafíos, se recomiendan las siguientes estrategias:

- **Modelo SaaS (Software as a Service):** Ofrecer la detección de fugas como un servicio, en lugar de requerir la compra de la tecnología, puede reducir los costos iniciales y facilitar la adopción.
- **Capacitación especializada:** Es fundamental implementar programas de formación y entrenamiento para el personal en tecnologías emergentes, como la IAGEN y la visión por computadora.
- **Colaboración con entes reguladores:** El trabajo conjunto con los entes reguladores es crucial para desarrollar estándares comunes para la aplicación de estas tecnologías y asegurar el cumplimiento normativo.

VIII. Conclusión

La detección automatizada de fugas de metano con IAGEN y visión por computadora se presenta como una herramienta clave para optimizar el monitoreo ambiental en Vaca Muerta. Esta tecnología permite una detección temprana y precisa de fugas, lo que se traduce en una reducción de emisiones, ahorro de costos, mejora de la seguridad y un mayor cumplimiento de las regulaciones ambientales. La IAGEN puede contribuir significativamente a que Argentina cumpla con sus compromisos en virtud del Acuerdo de París para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y lograr una transición energética sostenible.

Sin embargo, es fundamental que la adopción de la IAGEN se acompañe de un enfoque

integral que considere el impacto ambiental general de la explotación de Vaca Muerta y promueva prácticas sostenibles en todas las etapas de la actividad. El desarrollo de Vaca Muerta plantea un dilema entre el desarrollo económico y la protección ambiental. Es necesario encontrar un equilibrio que permita aprovechar los beneficios económicos de la explotación de petróleo y gas, al tiempo que se minimizan los impactos ambientales y se protegen los derechos de las comunidades.

La colaboración entre empresas, gobierno y comunidades es esencial para asegurar una gestión ambiental responsable y un desarrollo energético sostenible en la región. Se insta a todas las partes interesadas a trabajar juntas para implementar la IAGEN y otras prácticas sostenibles, promoviendo la transparencia en el acceso a la información ambiental, como la que ofrece la plataforma Eye on Methane del IMEO, y asegurando que la explotación de Vaca Muerta se realice de manera responsable y en beneficio de las generaciones presentes y futuras.

Fuentes citadas

1. Inteligencia artificial en Vaca Muerta: YPF busca el mejor pozo para ganarle al shale gas de EE.UU. - Clarin.com, fecha de acceso: febrero 28, 2025, https://www.clarin.com/economia/inteligencia-artificial-vaca-muerta-ypf-busca-mejor-pozo-ganarle-shale-gas-eeuu_0_sqUQt9jtH3.html
2. El sistema de vigilancia de las emisiones de metano es eficaz, pero detener las fugas requiere acelerar las acciones - UNEP, fecha de acceso: febrero 28, 2025, <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/el-sistema-de-vigilancia-de-las-emisiones-de-metano-es>
3. Programa de mitigación del metano en el petróleo y el gas - Clean Air Task Force, fecha de acceso: febrero 28, 2025, <https://www.catf.us/es/methane/mitigation-program/>
4. Efectos, impactos y riesgos socioambientales del megaproyecto Vaca Muerta* - Fundación Ambiente y Recursos Naturales, fecha de acceso: febrero 28, 2025, https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2021/02/DOC_IMPACTOS-VACA-MUERTA_links.

[pdf](#)

5. Por tierra, aire y agua, las denuncias de contaminación en Vaca Muerta exponen el daño de la promesa energética - elDiarioAR.com, fecha de acceso: febrero 28, 2025, https://www.eldiarioar.com/politica/tierra-aire-agua-denuncias-contaminacion-vaca-muerta-exponen-dano-promesa-energetica_1_10235025.html

6. ¿Pueden las empresas de petróleo y gas reducir sus emisiones en Vaca Muerta?, fecha de acceso: febrero 28, 2025, <https://dialogue.earth/es/negocios/pueden-empresas-petroleo-gas-reducir-emisiones-vaca-muerta/>

7. Vaca Muerta Delegation - Rights Of Nature Tribunal, fecha de acceso: febrero 28, 2025, <https://www.rightsofnaturetribunal.org/vaca-muerta/?lang=es>

8. Vaca Muerta: entre la promesa de la salvación y la amenaza ambiental, fecha de acceso: febrero 28, 2025, <https://es.rollingstone.com/el-patio-trasero-de-vaca-muerta-arg/>

9. Megaproyecto Vaca Muerta: El fracking y sus consecuencias - EJES, fecha de acceso: febrero 28, 2025, <https://ejes.org.ar/megaproyecto-vaca-muerta-el-fracking-y-sus-consecuencias/>

10. ente nacional regulador del gas - Texto actualizado | Argentina.gob.ar, fecha de acceso: febrero 28, 2025, <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-40-2007-130554/actualizacion>

11. Marco Regulatorio - Normativa - ENARGAS, fecha de acceso: febrero 28, 2025, <https://www.enargas.gob.ar/secciones/normativa/marco-regulatorio.php>

12. Texto completo de la norma - Argentina.gob.ar, fecha de acceso: febrero 28, 2025, <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-105-1992-25949/texto>

13. Ente Nacional Regulador del Gas - FAOLEX, fecha de acceso: febrero 28, 2025, <https://faolex.fao.org/docs/pdf/arg226001.pdf>

14. REGIMEN REGULATORIO DE LA INDUSTRIA Y COMERCIALIZACION DE GAS

LICUADO DE PETROLEO Ley 26 - Jus.gob.ar, fecha de acceso: febrero 28, 2025,
[http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/105000-109999/105181/texact.h
tm](http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/105000-109999/105181/texact.htm)