



Reporte entregable 37

Caso de uso de aplicación de IA e IAGEN

Exploración: Predicción de Reservas para la Estimación Precisa del Volumen de Gas Recuperable en Vaca Muerta, Neuquén, Argentina

I. Introducción

La formación Vaca Muerta se extiende a lo largo de aproximadamente 30,000 kilómetros cuadrados dentro de la cuenca Neuquina, ubicada en la región de la Patagonia septentrional de Argentina, abarcando las provincias de Neuquén, Río Negro, La Pampa y Mendoza . Esta formación geológica, que data del período Jurásico Tardío al Cretácico Temprano, se compone predominantemente de margas, lutitas negras y calizas arcillosas . Reconocida a nivel mundial como uno de los depósitos de gas y petróleo de esquisto más grandes, Vaca Muerta se posiciona como un activo estratégico de gran relevancia en el contexto energético global . La vasta extensión y el potencial de recursos de Vaca Muerta la convierten en un elemento crucial para el futuro energético de Argentina y un actor significativo en el panorama internacional del gas no convencional.

La estimación precisa de las reservas de gas en formaciones como Vaca Muerta reviste una importancia fundamental por diversas razones.

En primer lugar, proporciona la base para la planificación energética a largo plazo a nivel nacional, permitiendo a los gobiernos y a las empresas tomar decisiones informadas sobre la seguridad del suministro y la diversificación de la matriz energética.

En segundo lugar, influye directamente en las decisiones de inversión en infraestructura, incluyendo la construcción de gasoductos, plantas de procesamiento y terminales de exportación. Una estimación precisa de las reservas es esencial para justificar estas inversiones multimillonarias y asegurar su rentabilidad a largo plazo.

En tercer lugar, la predicción de reservas impacta las estrategias de exportación y las proyecciones económicas, ya que el potencial de Vaca Muerta para convertirse en un exportador neto de gas tiene implicaciones significativas para la balanza comercial y la generación de divisas de Argentina. Una subestimación de las reservas podría llevar a la pérdida de oportunidades de mercado, mientras que una sobreestimación podría resultar en inversiones insostenibles y expectativas económicas infladas. Por último, una correcta evaluación de las reservas es crucial para la formulación de políticas energéticas coherentes y para la gestión eficiente de los recursos naturales.

El presente informe se estructura de la siguiente manera: inicialmente, se examina la producción actual y las estimaciones de reservas de gas en Vaca Muerta, basadas en estudios e informes recientes.

A continuación, se investigan las diferentes metodologías y modelos utilizados para la predicción de reservas en formaciones de esquisto, incluyendo tanto enfoques determinísticos como probabilísticos. Se analizan en detalle los factores geológicos y de ingeniería clave que influyen en la estimación precisa del volumen de gas recuperable, así como los avances tecnológicos recientes en la exploración y producción de gas no convencional.

II. Uso de IA e IAGen en la Predicción de Reservas de Gas

1. Rol de la IA Tradicional

La IA clásica permite mejorar significativamente la precisión y eficiencia en la estimación de reservas a través de técnicas como:

- Modelos de Declinación Automatizados: Algoritmos que ajustan curvas de

producción (Arps, logarítmicas, etc.) automáticamente y proyectan escenarios futuros con mínima intervención humana.

- Machine Learning Supervisado: Modelos como regresión lineal, random forest o redes neuronales entrenadas con datos históricos de pozos similares para predecir volúmenes recuperables.
- Simulación Estocástica (Monte Carlo): Generación de miles de escenarios de comportamiento del yacimiento ante variaciones en parámetros clave, para estimar reservas probables (P10, P50, P90).

2. Rol de la Inteligencia Artificial Generativa (IAGen)

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 complementa y amplifica el poder de la IA tradicional, agregando:

Comprensión de Lenguaje Natural y Explicación Técnica Automatizada

- Traduce resultados técnicos complejos (como estimaciones probabilísticas) a informes legibles por gerentes o reguladores, con lenguaje claro y razonamientos fundamentados.
- Elabora justificaciones automatizadas del por qué una predicción es más confiable que otra.

Razonamiento Multimodal sobre Datos Técnicos

- Puede leer directamente archivos (PDFs, CSVs, gráficos, reportes de producción) y extraer conclusiones inteligentes combinando texto, números y contexto de negocio.

Reingeniería de Modelos de Estimación

- Genera, compara y mejora modelos personalizados de predicción en función del tipo de yacimiento, comportamiento del reservorio y objetivos del proyecto.
- Propone estrategias de mejora (ej.: aumentar presión, cambiar diseño de fractura, optimizar caudales).

Automatización de Reportes e Interfaces

- Crea dashboards automáticos, presentaciones técnicas y resúmenes ejecutivos.

Puede integrarse en plataformas como Power BI, Notion, Google Drive o entornos SCADA, funcionando como copiloto técnico.

3. Beneficios Clave del Enfoque IA + IAGen

Beneficio	Descripción
 Mayor Precisión	Reduce la incertidumbre de estimaciones manuales o empíricas.
 Rapidez	Acelera estudios que antes llevaban semanas.

 Escalabilidad	Se adapta a cientos de pozos simultáneamente.
 Inteligencia Contextual	Ofrece recomendaciones accionables según contexto económico, técnico y geológico.
 Asistencia 24/7	Funciona como un ingeniero virtual que nunca se detiene.

III. Uso de IA con agentes

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. Objetivo

Estimar con precisión el volumen de gas técnicamente y económicamente recuperable, combinando datos históricos, parámetros del yacimiento, comportamiento de producción y simulaciones de escenarios.

3. Propuesta de diseño de agente impulsado por IAGEN

Entrada de Datos (Input Layer)

- Datos PVT (presión, volumen, temperatura)
- Historial de producción
- Propiedades petrofísicas (porosidad, permeabilidad, saturación)
- Datos geológicos y de modelado estático
- Curvas de declinación (Arps, etc.)
- Condiciones económicas (precio del gas, costos)

4. Flujo de Trabajo del Agente

- **Carga de Datos (Google Drive, API SCADA, Excel)**
- → Limpieza y validación automática
- → Modelado con múltiples técnicas
- → Comparación de resultados

- → Simulación de escenarios
- → Interpretación por LLM
- → Exportación de informe técnico-económico

5. Salidas Esperadas

- Volumen recuperable estimado: [X] MMscf
- Escenario base (P50), optimista (P10), conservador (P90)
- Gráficos de declinación, incertidumbre, sensibilidad
- Recomendaciones para optimización (perforación, fractura, recuperación secundaria)
- Reporte en lenguaje claro para decisores

6. Módulos Inteligentes del Agente

- **Módulo de Análisis de Declive**

Este componente se encarga de ajustar automáticamente curvas de producción utilizando modelos como Arps, hiperbólico, exponencial u otros más avanzados. El sistema selecciona el modelo óptimo según el comportamiento histórico del pozo y proyecta la producción futura estimada. Este análisis es clave para calcular el volumen técnico recuperable.

- **Módulo de Identificación de Anomalías**

Implementa técnicas de detección de outliers y validación cruzada para identificar inconsistencias en los datos ingresados, como registros de presión

inverosímiles, valores atípicos de producción o cambios abruptos que podrían alterar las predicciones. El agente genera alertas y sugerencias para corregir estos datos antes del modelado.

- **Módulo de Simulación Probabilística**

Utiliza simulaciones Monte Carlo para evaluar incertidumbres. A partir de variables clave (como porosidad, permeabilidad, presión inicial y caudales), genera miles de escenarios posibles y calcula estimaciones probabilísticas de reservas: P10 (optimista), P50 (media) y P90 (conservadora).

- **Módulo de Predicción con Machine Learning**

Emplea algoritmos de aprendizaje supervisado (como random forest, XGBoost o redes neuronales) entrenados con datos históricos de pozos similares para estimar el volumen de gas recuperable en función de múltiples variables técnicas. El sistema aprende patrones complejos no lineales que mejoran la precisión frente a métodos convencionales.

- **Módulo Explicador Técnico (LLM)**

Este componente interpreta los resultados de los modelos anteriores y genera explicaciones en lenguaje natural. Detalla por qué se eligió un modelo, qué variables fueron más influyentes, y ofrece un resumen técnico para ingenieros o uno simplificado para tomadores de decisiones no técnicos.

- **Módulo Comparador de Modelos**

Evalúa diferentes técnicas de predicción y declinación utilizadas en el proceso. Compara métricas como R^2 , error cuadrático medio y capacidad de generalización para seleccionar automáticamente el mejor modelo para el yacimiento o pozo analizado.

- **Módulo Generador de Reportes**

Automatiza la elaboración de informes técnicos y ejecutivos. Incluye resultados numéricos, gráficas de producción y proyecciones, análisis de sensibilidad, conclusiones clave y recomendaciones. Puede exportar documentos en PDF, Word o integrarse a dashboards interactivos.

IV. Metodologías y Modelos para la Predicción de Reservas de Gas en Formaciones de Esquisto

La estimación de reservas en formaciones de esquisto como Vaca Muerta se realiza mediante una variedad de metodologías y modelos, que pueden clasificarse ampliamente en enfoques determinísticos y probabilísticos .

Los métodos determinísticos se basan en la utilización de un único valor estimado para cada parámetro geológico y de ingeniería relevante para calcular un valor único de reservas. Entre estos métodos se encuentran los métodos volumétricos, que estiman el gas original en sitio (GOES) a partir de parámetros como el volumen bruto de roca, la porosidad, la saturación de gas y el factor de volumen del gas .

Otro método determinístico comúnmente utilizado es el análisis de curvas de declinación (DCA), que extrapola las tendencias de producción históricas para predecir la producción futura y, en última instancia, las reservas recuperables . Si bien estos métodos proporcionan una estimación directa, pueden no reflejar adecuadamente las incertidumbres inherentes a las propiedades de los yacimientos de esquisto, que suelen ser altamente heterogéneos.

Los métodos probabilísticos, por otro lado, buscan cuantificar la incertidumbre asociada con la estimación de reservas mediante la asignación de distribuciones de probabilidad a los parámetros de entrada . Una técnica probabilística ampliamente utilizada es la simulación de Monte Carlo, que genera múltiples escenarios de reservas basados en muestreos aleatorios de las distribuciones de probabilidad de los parámetros de entrada, proporcionando un rango de posibles resultados (por ejemplo, P10, P50, P90) y una evaluación de la probabilidad asociada a cada uno . Estos métodos ofrecen una comprensión más completa del potencial de reservas al considerar la variabilidad de los parámetros del yacimiento.

En la práctica, a menudo se emplean enfoques híbridos que combinan elementos de métodos determinísticos y probabilísticos . Por ejemplo, se puede utilizar un método determinístico para obtener una estimación inicial de las reservas, mientras que un análisis probabilístico se aplica para evaluar la incertidumbre asociada a dicha estimación. Esta combinación puede proporcionar una mayor confianza en la evaluación de las reservas.

Existen también modelos específicos desarrollados para la predicción de reservas en yacimientos de esquisto. Se pueden utilizar para el pronóstico de producción y la estimación de reservas en este tipo de formaciones .

A medida que los yacimientos de esquisto avanzan en su fase de desarrollo, se observa una tendencia a pasar de métodos predominantemente determinísticos a enfoques más probabilísticos . Además, la creciente disponibilidad de datos de producción y de caracterización de yacimientos está impulsando el uso de enfoques basados en datos y técnicas de aprendizaje automático para mejorar la precisión de las predicciones de reservas .

V. Factores Geológicos y de Ingeniería Clave que Influyen en la Recuperación de Gas en Vaca Muerta

La estimación precisa del volumen de gas recuperable en Vaca Muerta está intrínsecamente ligada a una serie de factores geológicos y de ingeniería que condicionan la productividad de los pozos y la eficiencia de la extracción.

Entre los factores geológicos más relevantes se encuentran la porosidad y la permeabilidad de la formación, que determinan la capacidad de almacenamiento y la facilidad de flujo del gas . En Vaca Muerta, la porosidad varía entre el 4% y el 14% . El contenido de carbono orgánico total (COT) es otro factor crucial, ya que indica la riqueza de la roca madre en hidrocarburos; en sectores favorables de Vaca Muerta, el COT promedio es del 5% . La madurez térmica de la formación influye en el tipo de hidrocarburo producido, desde gas seco hasta petróleo negro . El espesor de la capa de

esquisto, que en Vaca Muerta varía considerablemente entre 60 y 520 metros , impacta directamente en la cantidad de recurso in situ. La mineralogía de la roca, incluyendo la presencia de cemento carbonático, afecta la dureza de la litología . La existencia de redes de fracturas naturales puede aumentar la permeabilidad y facilitar el flujo de gas. Finalmente, las propiedades geomecánicas de la roca, como el módulo de Young y la relación de Poisson, son importantes para optimizar el crecimiento de las fracturas inducidas durante la estimulación . La compleja y heterogénea geología de Vaca Muerta presenta tanto oportunidades como desafíos para la estimación de reservas y la producción eficiente.

En cuanto a los factores de ingeniería, la presión y la temperatura del yacimiento son fundamentales, ya que influyen en el volumen y la velocidad de flujo del gas. La presencia de una elevada presión de poro es una característica de Vaca Muerta . Las técnicas de perforación, especialmente la perforación horizontal y la fracturación hidráulica multietapa, son esenciales para la producción económica de gas de esquisto.

La estrategia de espaciamiento de pozos y de completación se diseña para maximizar el drenaje y la recuperación. Los parámetros de la fracturación hidráulica, como el tipo y volumen de apuntalante (proppant), la presión de inyección y el número de etapas de fracturación , han evolucionado significativamente, con un aumento notable en la intensidad del uso de proppant . Se están investigando técnicas de recuperación mejorada (EOR) para incrementar el factor de recuperación , incluyendo procesos novedosos .

Finalmente, la perforación con presión controlada (MPD) se utiliza para mitigar los influjos de gas y mantener la estabilidad del pozo . Las innovaciones y la optimización en las prácticas de ingeniería son cruciales para superar los desafíos geológicos y liberar el potencial productivo de Vaca Muerta.

VI. Desafíos e Incertidumbres Asociados con la Predicción de Reservas en Formaciones de Esquisto

La predicción de reservas en formaciones de esquisto presenta desafíos e incertidumbres inherentes debido a las características únicas de estos yacimientos .

Una de las principales fuentes de incertidumbre radica en la heterogeneidad geológica y la anisotropía de los yacimientos de esquisto . La compleja red de fracturas naturales e inducidas , junto con los largos períodos de flujo transitorio , dificultan la predicción del comportamiento de producción a largo plazo. Además, existe una variabilidad significativa en el rendimiento de producción entre pozos , lo que complica la extrapolación de resultados a grandes áreas.

Las limitaciones de datos también contribuyen a la incertidumbre. En comparación con los yacimientos convencionales, los yacimientos de esquisto suelen tener un historial de producción más corto y un muestreo geológico más disperso . La disponibilidad y el acceso a datos de calidad pueden ser un desafío, lo que afecta la robustez de los modelos de predicción.

Las estimaciones de reservas son altamente sensibles a variables clave que son difíciles de definir con precisión. El factor de recuperación (la proporción del gas original en sitio que se espera recuperar) es una de estas variables , al igual que la recuperación final estimada (EUR) de los pozos individuales . Las suposiciones sobre los avances tecnológicos futuros y las condiciones económicas también introducen incertidumbre en las predicciones a largo plazo .

La industria está abordando estas incertidumbres mediante el uso de métodos probabilísticos para cuantificar el rango de posibles resultados . El análisis de sensibilidad se utiliza para identificar las variables que tienen el mayor impacto en las estimaciones de reservas . Las estimaciones se revisan continuamente a medida que se dispone de más datos de producción . La comparación de enfoques determinísticos y probabilísticos también ayuda a validar y mejorar la fiabilidad de las predicciones . A pesar de estos esfuerzos, la predicción precisa de reservas en formaciones de esquisto sigue siendo un desafío complejo que requiere la integración de conocimientos

geológicos, de ingeniería y económicos, así como la aplicación de tecnologías avanzadas.

Se recomienda promover la inversión de corto plazo en equipos de implementación de agentes de IA en tecnología y capacitación: Se requiere inversión en pruebas de concepto y pruebas piloto. El foco aquí tiene que ser la formación del talento para implementar, ya que se verifica una tendencia de reducción de costos en sistemas que permiten automatización “no code” y “low code”. Para la primera etapa, también se recomienda recurrir a equipos con experiencia en diseño e implementación de agentes de IA. Por último, es clave formar un equipo “in house” para el acompañamiento y la apropiación de una cultura agéntica que redefine la interacción humano-máquina.

VII. Conclusión y Recomendaciones

En resumen, la formación Vaca Muerta representa un recurso de gas de esquisto de proporciones globales, con un potencial significativo para transformar el panorama energético de Argentina y la región. La producción actual muestra una tendencia ascendente, y las estimaciones de reservas técnicamente recuperables la sitúan como una de las más grandes del mundo. Sin embargo, la plena realización de este potencial enfrenta desafíos relacionados con la infraestructura, la incertidumbre geológica y las consideraciones ambientales.

Para mejorar la precisión de las estimaciones de reservas de gas en Vaca Muerta, se recomienda:

- Incrementar la inversión en la adquisición de datos geológicos y de ingeniería detallados, incluyendo registros de pozos, análisis de núcleos y pruebas de producción.
- Desarrollar y aplicar modelos probabilísticos avanzados que incorporen las características geológicas específicas de Vaca Muerta y permitan una mejor cuantificación de la incertidumbre.

- Promover el intercambio de datos y mejores prácticas entre las empresas operadoras, las instituciones de investigación y los organismos gubernamentales.
- Realizar un seguimiento continuo del rendimiento de producción de los pozos para refinar las estimaciones de reservas a lo largo del tiempo.

Para maximizar el desarrollo sostenible de los recursos de gas de Vaca Muerta, se sugiere:

- Priorizar el desarrollo de la infraestructura necesaria para el transporte, procesamiento y exportación de gas, incluyendo la expansión de gasoductos y la construcción de terminales de GNL.
- Implementar y hacer cumplir regulaciones ambientales robustas y adoptar las mejores prácticas de la industria para mitigar los impactos ambientales asociados con la producción de gas de esquisto.
- Establecer un diálogo abierto y constructivo con las comunidades locales, incluyendo las indígenas, para abordar sus preocupaciones y garantizar que los beneficios del desarrollo se distribuyan de manera equitativa.
- Fomentar un clima de inversión estable y atractivo a través de políticas energéticas consistentes y transparentes.

En conclusión, Vaca Muerta es un activo estratégico de gran importancia para Argentina. Su desarrollo responsable y eficiente, basado en una comprensión precisa de sus reservas y en la adopción de tecnologías y prácticas sostenibles, puede contribuir significativamente a la seguridad energética del país, impulsar su crecimiento económico y fortalecer su posición en el mercado energético global.

Obras citadas

1. Argentina oil and gas | Deloitte Insights, fecha de acceso: marzo 21, 2025, <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/economy/americas/vaca-muerta-argentina-energy-sector-boom.html>
2. Balancing energy security and a healthy environment | SEI, fecha de acceso:

- marzo 21, 2025,
<https://www.sei.org/publications/energy-environment-vaca-muerta-fracking/>
3. Argentina's Vaca Muerta: 10 Years of Fracking and Local Resistance - NACLA |, fecha de acceso: marzo 21, 2025,
<https://nacla.org/argentina-vaca-muerta-fracking-resistance>
 4. Vaca Muerta - Wikipedia, fecha de acceso: marzo 21, 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/Vaca_Muerta
 5. Vaca Muerta - Global Energy Monitor, fecha de acceso: marzo 21, 2025,
https://www.gem.wiki/Vaca_Muerta
 6. Argentina's Shale Boom Goes Global - Brazil Energy Insight, fecha de acceso: marzo 21, 2025,
<https://brazilenergyinsight.com/2024/10/25/argentinas-shale-boom-goes-global/>
 7. The Key to Making Argentina an Energy Transition Powerhouse | ThinkSet | BRG, fecha de acceso: marzo 21, 2025,
<https://www.thinkbrg.com/thinkset/the-key-to-making-argentina-an-energy-transition-powerhouse/>
 8. Argentina's crude oil and natural gas production near record highs ..., fecha de acceso: marzo 21, 2025,
<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=63924>
 9. Tecpetrol achieves shale gas production record of 24 million m3/day, fecha de acceso: marzo 21, 2025,
<https://www.tecpetrol.com/en/news/2023/production-record-vaca-muerta>
 10. of Argentina Vaca Muerta: the future, fecha de acceso: marzo 21, 2025,
<https://www.pwc.com.ar/es/assets/document/invest-in-vaca-muerta.pdf>
 11. Vaca Muerta play - AAPG Wiki, fecha de acceso: marzo 21, 2025,
https://wiki.aapg.org/Vaca_Muerta_play
 12. Vaca Muerta: An Emerging Shale Petroleum Reservoir | SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition | OnePetro, fecha de acceso: marzo 21, 2025,
<https://onepetro.org/SPEAPOG/proceedings-abstract/21APOG/2-21APOG/46999>

13. Argentina Natural Gas Reserves, Production and Consumption Statistics - Worldometer, fecha de acceso: marzo 21, 2025, <https://www.worldometers.info/gas/argentina-natural-gas/>
14. Argentina - International - U.S. Energy Information Administration (EIA), fecha de acceso: marzo 21, 2025, <https://www.eia.gov/international/analysis/country/ARG>
15. Probabilistic and Deterministic Methods: Applicability in Unconventional Reservoirs, fecha de acceso: marzo 21, 2025, https://www.researchgate.net/publication/276347446_Probabilistic_and_Deterministic_Methods_Applicability_in_Unconventional_Reservoirs
16. Methods of estimating shale gas resources – Comparison, evaluation and implications, fecha de acceso: marzo 22, 2025, https://www.researchgate.net/publication/262921790_Methods_of_estimating_shale_gas_resources_-_Comparison_evaluation_and_implications
17. Quantification of Uncertainty in Reserve Estimation From Decline Curve Analysis of Production Data for Unconventional Reservoirs - ResearchGate, fecha de acceso: marzo 22, 2025, https://www.researchgate.net/publication/245350902_Quantification_of_Uncertainty_in_Reserve_Estimation_From_Decline_Curve_Analysis_of_Production_Data_for_Unconventional_Reservoirs
18. Deterministic and probabilistic estimation of reserves - NRG Expert, fecha de acceso: marzo 22, 2025, <https://www.nrgexpert.com/deterministic-and-probabilistic-estimation-of-reserves/>
19. Probabilistic method applied to the static evaluation of shale gas reserves - SciEngine, fecha de acceso: marzo 22, 2025, <https://www.sciengine.com/EPG/doi/10.11781/sysydz201601141>
20. Quantification of Uncertainty in Shale Gas Resource Estimates, #80361

(2014) - Search and Discovery, fecha de acceso: marzo 22, 2025, https://www.searchanddiscovery.com/documents/2014/80361lyster/ndx_lyster.pdf

21. Stretched Exponential Decline Model as a Probabilistic and Deterministic Tool for Production Forecasting and Reserve Estimation in Oil and Gas Shales - OAKTrust, fecha de acceso: marzo 22, 2025, <https://oaktrust.library.tamu.edu/items/fc1cc180-9812-41b6-9a71-bae150e2bb23>

22. An Overview of Recent Developments and Understandings of Unconventionals in the Vaca Muerta Formation, Argentina - MDPI, fecha de acceso: marzo 21, 2025, <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/4/1366>

23. A novel shale oil enhanced recovery method for the Vaca Muerta shale - SEG Library, fecha de acceso: marzo 22, 2025, <https://library.seg.org/doi/10.15530/urtec-2023-3968906>

24. Innovative hydraulic completion unit applied in Argentina's Vaca Muerta shale - World Oil, fecha de acceso: marzo 22, 2025, <https://www.worldoil.com/magazine/2022/october-2022/features/innovative-hydraulic-completion-unit-applied-in-argentina-s-vaca-muerta-shale/>

25. Argentina's Vaca Muerta shale patch - Rystad Energy, fecha de acceso: marzo 22, 2025, <https://www.rystadenergy.com/news/argentina-s-vaca-muerta-shale-patch-could-produce-1-million-bpd-in-2030-but-hurdle>

26. Vaca Muerta Shale Drives Argentina's LNG Export Ambitions - JPT - SPE, fecha de acceso: marzo 22, 2025, <https://jpt.spe.org/vaca-muerta-shale-drives-argentina-s-lng-export-ambitions-restricted>

27. Quantification of Uncertainty in Shale Gas Resources - Alberta Geological Survey, fecha de acceso: marzo 22, 2025, <https://ags.aer.ca/publications/all-publications/ofr-2013-13>

28. Argentina Oil & Gas Sector - Deloitte, fecha de acceso: marzo 22, 2025,

<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ar/Documents/finance/2024/argentina-oil-gas-outlook-2024.pdf>

29. The Vaca Muerta Tribunal Delegation, fecha de acceso: marzo 22, 2025,

<https://www.rightsofnaturetribunal.org/vaca-muerta/>

30. Oil & Gas Laws and Regulations Report 2025 Argentina - ICLG.com, fecha de acceso: marzo 22, 2025,

<https://iclg.com/practice-areas/oil-and-gas-laws-and-regulations/argentina>

31. Growth in Argentina's Vaca Muerta shale and tight gas production leads to LNG exports - U.S. Energy Information Administration (EIA), fecha de acceso:

marzo 23, 2025, <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=40093>