

Detección de Metano con Drones en Pozos de Petróleo y Gas Abandonados

17 de marzo de 2026



Descubra cómo los investigadores de la Universidad de Alaska Anchorage utilizaron UgCS y SkyHub para construir un sistema escalable de inspección de metano que identifica pozos abandonados con fugas a lo largo de los remotos terrenos de Alaska.

- **Fuente:** Thomas, W.H. & Wang, C. (2026). *Methane Detection for Abandoned Oil and Gas Wells*. Preprints.org (Preimpresión, no revisada por pares). doi: 10.20944/preprints202602.0497.v1
- **Investigación financiada por:** Acuerdo Cooperativo EPSCoR de la Fundación Nacional de Ciencias (NSF) OIA-2119689
- **Institución:** Departamento de Geomática, Laboratorio GeoComputing, Universidad de Alaska Anchorage

Resultados Clave

- **Pruebas de liberación controlada:** Cero falsos positivos, cero falsos negativos con un umbral de asimetría estadística de 1,5.
- **Verificación en campo:** Realizada en tres pozos abandonados reales en Houston, Alaska, y confirmada de forma independiente por la Comisión de Conservación de Petróleo y Gas de Alaska (AOGCC).
- **Alta tasa de detección:** Se detectaron fugas de metano en 9 de 10 estudios de campo (mediante análisis de asimetría), con una agrupación espacial estadísticamente significativa en 8 de 10 (mediante el Índice de Moran).
- **Fiabilidad:** El sistema continuó detectando fugas activas incluso durante los trabajos de remediación en curso.

El Reto: 3,9 Millones de Pozos de Petróleo y Gas, Emisiones de Metano sin Monitorear

Estados Unidos cuenta con aproximadamente 3,9 millones de pozos de petróleo y gas abandonados y huérfanos documentados. Según el Inventario de Emisiones y Sumideros de Gases de Efecto Invernadero de 2024 de la EPA, cerca de 3 millones de ellos están clasificados como abandonados. Además de eso, hasta 2023 había 117.672 pozos huérfanos documentados (pozos sin un propietario legalmente responsable), más un estimado de 310.000 a 800.000 pozos huérfanos indocumentados que nunca han sido catalogados formalmente.

Estos pozos no son meros artefactos históricos. Los pozos sin sellar proporcionan una vía directa para que las fugas de gas metano y otros contaminantes lleguen a la superficie. El metano tiene 86 veces el potencial de calentamiento global del dióxido de carbono en un período de 20 años. La EPA estima que los pozos abandonados contribuyen con 8,5 millones de toneladas equivalentes de CO₂ anualmente, aproximadamente el 3% de las emisiones totales de metano del sector de petróleo y gas de EE. UU. En estudios realizados en Pensilvania, se ha detectado benceno, un conocido carcinógeno, en el 70% de los sitios de pozos abandonados. La acumulación de metano en espacios cerrados puede incluso provocar explosiones.

La magnitud del problema ha atraído una importante financiación federal. La Sección 40601 de la Ley Bipartidista de Infraestructura de 2021 asignó 4.675 millones de dólares para el sellado, remediación y restauración de sitios de pozos huérfanos. De esa cantidad, 4.275 millones se destinaron a 28 estados con pozos documentados. Alaska, con doce pozos abandonados documentados, recibió 28,3 millones de dólares en dos fases de subvención en 2024 y 2025.

Pero aquí radica el reto principal: menos de 1.200 de esos millones de pozos han tenido alguna vez sus emisiones medidas. No se puede priorizar el gasto de remediación sin saber qué pozos tienen fugas activas. Los métodos de detección existentes, principalmente la magnetometría aérea, se basan en encontrar la firma magnética de las tuberías de acero de los pozos. Esto falla cuando las tuberías están ausentes, enterradas o rodeadas de otros desechos metálicos que crean falsos positivos. Investigadores del Laboratorio GeoComputing de la Universidad de Alaska Anchorage propusieron un enfoque radicalmente distinto: **volar un sensor de metano sobre el sitio y medir lo que realmente importa (el gas).**



Figure 1. Hardware components of the methane survey system, excluding the UgCS software.

Sistema de Inspección de Metano con Drones

El equipo de investigación construyó su plataforma de detección de metano con drones utilizando cuatro componentes: un dron DJI Matrice 300 RTK, un sensor de metano Pergam Laser Falcon, un ordenador a bordo UgCS SkyHub y el software de planificación de vuelo UgCS ejecutándose en la estación de control terrestre.

Sensor de Detección de Metano: Sistema Pergam Laser Falcon TDLAS

El Pergam Laser Falcon utiliza espectroscopía de absorción de láser de diodo sintonizable (TDLAS) para medir la densidad de columna de metano. Emite luz láser infrarroja a $1,653\text{ }\mu\text{m}$, una longitud de onda absorbida únicamente por el metano (no por el CO_2 ni el vapor de agua), lo que permite una detección de fugas de metano de altísima precisión. El rango de medición del sensor abarca de 0 a 50.000 partes por millón por metro ($\text{ppm}\cdot\text{m}$) con una precisión del $\pm 10\%$ del valor medido. Fue alimentado por una batería LiPo independiente de 3 celdas y 11,1 V. Con el Laser Falcon y SkyHub acoplados, el tiempo de vuelo del M300 RTK se redujo de su máximo sin carga de 55 minutos a aproximadamente 35 minutos.

Integración de SkyHub para la Adquisición de Datos de Metano en VANT

El ordenador a bordo UgCS SkyHub sirvió como puente entre el dron y el sensor de metano. Registró los datos del sensor de metano, sincronizó las coordenadas GNSS de la posición del dron con cada medición de metano y proporcionó control directo del dron a través de la interfaz del software UgCS.

Esa sincronización GNSS es absolutamente crítica. Cada lectura de metano necesita una coordenada geográfica precisa para ser útil en el análisis espacial. Sin ella, solo se tiene una lista de valores de concentración sin forma de mapearlos en ubicaciones específicas sobre el terreno.

Planificación Automatizada del Vuelo de Inspección de Metano con UgCS

Para cada sitio, el equipo realizó una visita previa a la misión para evaluar el área, determinar una altitud de vuelo segura e identificar obstáculos. Utilizaron un telémetro para medir las alturas de los obstáculos, ya que los estudios de metano se benefician de volar lo suficientemente bajo como para poder medir las emisiones antes de que se dispersen, pero no tan bajo como para que el aire en movimiento de las hélices del dron afecte a las mediciones. La información recopilada definió los límites de vuelo para escaneos de área basados en cuadrículas, planificados en UgCS. El espaciado entre las pasadas de vuelo y la velocidad de vuelo seleccionada se calcularon en base al campo de visión (FOV) del sensor a una altitud dada y a su tasa de adquisición de datos. Estos parámetros aseguraron aproximadamente una medición de metano cada metro a lo largo del área de estudio.

El artículo señala una ventaja práctica de UgCS para las operaciones con múltiples baterías: el software permitía interrumpir la ruta para el reemplazo de la batería y reanudar la misión desde cualquier punto de ruta (waypoint) designado. Para grandes áreas de estudio que exceden la capacidad de un solo vuelo, esto significó una cobertura sistemática, sin vacíos ni pasadas redundantes.

Debido a que las cargas útiles bloqueaban los sensores de evasión de obstáculos orientados hacia abajo del M300 RTK, esos sensores se desactivaron. El equipo optó por realizar despegues y aterrizajes manuales para garantizar la seguridad del equipo y los operadores. Una vez en el aire, UgCS se encargó de la ejecución automatizada de la cuadrícula.

Demostrando el Método: Pruebas de Liberación Controlada

Antes de desplegarse en pozos reales, el equipo realizó vuelos de prueba en el campus Mat-Su de la Universidad de Alaska Anchorage en Palmer, Alaska. Se eligió este lugar por su espacio aéreo Clase G y por disponer de un terreno grande, desocupado y nivelado, ideal para vuelos repetidos de drones.

Simularon una fuga de metano de un pozo abandonado liberando metano a una tasa constante de 0,8 litros por minuto utilizando una mezcla de gas de calibración de CH_4 al 5%, y registraron la ubicación exacta de la liberación para compararla con los resultados de detección. Se realizaron cuatro vuelos: uno de referencia sin liberación de metano y tres con la fuga simulada. Cada vuelo cubrió la misma cuadrícula de aproximadamente $160\text{ m} \times 160\text{ m}$ con un espaciado de 2 m entre las líneas a una velocidad de 2 m/s. Los vuelos se realizaron a diferentes altitudes para evaluar el efecto de la altura en la detección: el vuelo de referencia a 17 m AGL (sobre el nivel del suelo) y los tres vuelos con fuga a 32 m, 20 m y 25 m AGL.

Resultados de Detección

Los datos en bruto se preprocesaron para eliminar las mediciones tomadas durante el despegue, el aterrizaje y los giros (filtrados mediante un umbral de velocidad de 1,8 m/s). A continuación, el equipo aplicó dos métodos estadísticos complementarios.

- **Análisis de Asimetría (Skewness):** Mide la asimetría de la distribución de las lecturas de metano. En un estudio limpio sin fugas, las lecturas siguen una distribución aproximadamente normal (simétrica) alrededor de los niveles de metano de fondo. Cuando hay una fuga, la distribución se sesga hacia la derecha, arrastrada por las lecturas elevadas cerca de la fuente. El vuelo de referencia (Prueba A) mostró una asimetría de 1,41. Los tres vuelos con fuga promediaron 9,61 (valores individuales: 14,35, 7,46 y 7,01). Un umbral de 1,5 separó nitidamente los escenarios con fuga de los escenarios sin ella.
- **I de Moran Global:** Analiza si las lecturas elevadas están agrupadas espacialmente (como se esperaría cerca de una fuente puntual) o dispersas al azar. Los tres vuelos con fuga produjeron una puntuación Z promedio de 4,78, lo que corresponde a una probabilidad de menos del 1% de que el patrón agrupado ocurriera por casualidad. El vuelo de referencia mostró un patrón que no difería significativamente del azar.

Resultados de la Liberación Controlada

Prueba	Condición	Asimetría (Skewness)	Puntuación Z de la I de Moran
A	Fuga presente, 32m AGL	14,35	3,23
B	Fuga presente, 32m AGL	14,35	3,23
C	Fuga presente, 20m AGL	7,46	8,67
D	Fuga presente, 25m AGL	7,01	2,44

Umbral de fuga: asimetría > 1,5 combinada con una puntuación Z de la I de Moran estadísticamente significativa. Todos los vuelos con fuga superaron ambos; el vuelo de referencia no superó ninguno.

Verificación en Campo: Tres Pozos Abandonados en Houston, Alaska

Con el método de detección validado bajo condiciones controladas, el equipo pasó a una prueba en el mundo real. La Comisión de Conservación de Petróleo y Gas de Alaska (AOGCC) proporcionó información sobre tres pozos abandonados ubicados en las proximidades de Houston, Alaska, lo que hizo posible inspeccionar los tres dentro de un mismo sitio de campo.

Los Pozos

- **Pozo 1:** Se elevaba aproximadamente 2 metros sobre el suelo y estaba situado cerca de una carretera. Según un informe de progreso de una empresa de ingeniería, las mediciones con un detector de fotoionización (PID) indicaron bajos niveles de gas en el exterior de la tubería del pozo. No se proporcionó una tasa de fuga exacta.
- **Pozo 2:** Situado en una zona boscosa, enterrado a unos 0,5 metros de profundidad. Había sido excavado para mediciones PID, las cuales indicaron una fuga activa en la tubería del pozo. También había fugas de agua. El pozo fue vuelto a enterrar antes de este estudio y no se documentó una tasa de fuga exacta.
- **Pozo 3:** También en la zona boscosa, inicialmente se pensó que era un pozo de agua. Tras la excavación, fue identificado como un pozo de gas. Las mediciones PID indicaron una fuga de gas, de nuevo sin proporcionar una tasa exacta.

Diseño del Estudio

El equipo realizó diez vuelos en tres períodos de inspección: dos antes de la remediación y uno durante los trabajos activos de remediación. Cada estudio incluyó dos vuelos: uno a 25 m AGL cubriendo los tres pozos, y otro a 20 m AGL centrado en el Pozo 1 para tener en cuenta los obstáculos del lugar.

Los datos del estudio a 25 m AGL se dividieron durante el posprocesamiento para reflejar las condiciones del terreno: los Pozos 2 y 3 estaban situados bajo la cubierta arbórea, mientras que el Pozo 1 se encontraba en terreno abierto. Esta división ayudó a los investigadores a evaluar si la interferencia del dosel arbóreo afectaba a la dispersión del metano y a la longitud de la trayectoria del láser. El estudio a 25 m AGL realizado durante la remediación no se dividió, ya que para entonces el sitio había sido nivelado y toda la vegetación había sido eliminada.

Hallazgos

- La asimetría superó el umbral de 1,5 en 9 de las 10 pruebas de campo. La única excepción (Prueba E-1, aislando el Pozo 1 del primer estudio previo a la remediación) mostró una asimetría de 1,16. Los investigadores atribuyeron esto a la interferencia del viento dinámico, señalando la proximidad del sitio a una concurrida carretera donde las ráfagas intermitentes de los coches que pasaban dominaban ocasionalmente el patrón de viento predominante.
- La I de Moran indicó una agrupación espacial estadísticamente significativa en 8 de 10 pruebas. Las dos excepciones procedían de nuevo de los datos divididos del primer estudio (Pruebas E-1 y E-2). La Prueba E-2, que cubría los boscosos Pozos 2 y 3, se quedó a solo un 6% por debajo del umbral de confianza del 90% para la agrupación, lo que sugiere que su resultado fue marginal en lugar de claramente negativo.
- Cuando los investigadores observaron los datos divididos de ambos estudios previos a la remediación, los valores de asimetría señalaban sistemáticamente que las lecturas de metano más altas se originaban en los Pozos 2 y 3 (los pozos boscosos sin sellar), y no en el Pozo 1. Esto coincidía perfectamente con el conocimiento previo de la AOGCC de que los Pozos 2 y 3 estaban sin sellar y filtraban mayores cantidades de metano.
- Las Pruebas I y J, realizadas durante la remediación activa, todavía mostraban la presencia de un pozo con fugas en el lugar. Ambos valores de asimetría superaron el umbral de 1,5 y las puntuaciones Z de la I de Moran indicaron una agrupación estadísticamente significativa.

Por qué la Planificación Precisa del Vuelo es Crucial para la Detección de Gas Metano

El artículo documenta varios factores que hacen que la calidad de la planificación del vuelo sea directamente relevante para la precisión de la detección de metano. No se trata de requisitos abstractos. Se manifestaron claramente en los datos.

Longitud de la Trayectoria del Láser

El Pergam Laser Falcon mide el metano como una concentración integrada sobre la longitud de la trayectoria (ppm·m). Cualquier cambio en la trayectoria del láser, causado por el balanceo, cabeceo o guiñada del dron durante el vuelo, desplaza el sensor de su posición de vista nadiral y altera la medición. Si los niveles de metano de fondo son considerables, una trayectoria más larga captura más metano de fondo y puede desencadenar una falsa detección.

Los datos de campo mostraron este efecto de forma evidente. Cuando los investigadores aislaron el área sin vegetación alrededor del Pozo 1 (donde el láser tenía una trayectoria más larga y consistente hacia el suelo), los valores de asimetría disminuyeron en comparación con el estudio de área completa. Cuando aislaron el área con vegetación alrededor de los Pozos 2 y 3 (donde los árboles creaban una trayectoria del láser variable y más corta), los valores de asimetría aumentaron. Las puntuaciones Z de la I de Moran fueron aún más sensibles a las inconsistencias en la longitud de la trayectoria.

Una vez que los equipos de remediación limpiaron la vegetación y nivelaron el terreno, las puntuaciones Z de los estudios realizados durante la remediación alcanzaron una significancia estadística, reforzando hasta qué punto importa para esta metodología mantener una longitud consistente en la trayectoria del láser.

Diseño de la Cuadrícula y Velocidad

La cuadrícula de inspección debía ajustarse con precisión a las capacidades del sensor. El espaciado de las líneas de vuelo y la velocidad se calcularon a partir del FOV del Laser Falcon a la altitud planificada y de su tasa de adquisición de datos, con el objetivo de obtener aproximadamente una medición de metano por metro. Si se vuela demasiado rápido o con líneas muy separadas, se pasan por alto las plumas de gas. Demasiado lento, y se consume tiempo de batería sin mejorar la cobertura.

Vuelo a Baja Altitud

Las emisiones de metano se dispersan rápidamente una vez que abandonan el suelo. Volar más bajo aumenta drásticamente la probabilidad de detección, pero también eleva el riesgo de colisión, especialmente en lugares con vegetación, escombros o estructuras. Las pruebas controladas volaron a altitudes entre 17 m y 32 m AGL; el sitio de campo utilizó 20 m y 25 m AGL. La medición previa de obstáculos con un telémetro, combinada con la planificación de escritorio de UgCS (donde los límites y altitudes de vuelo pueden validarse antes de llegar al sitio), fue la forma en que el equipo gestionó este complejo equilibrio.

Operaciones con Múltiples Baterías

Con la carga útil acoplada, el tiempo de vuelo del M300 RTK era de aproximadamente 35 minutos, y las condiciones del viento podían acortarlo aún más. Para áreas de estudio demasiado grandes para una sola batería, la capacidad de UgCS para interrumpir una ruta y reanudarla desde un punto de ruta (waypoint) designado significó que el equipo pudo cubrir la cuadrícula completa sin volver a volar secciones ya completadas ni dejar espacios vacíos.

El Panorama General: Un Problema de 4.700 Millones que Exige Detección Escalable

En la actualidad, veintiocho estados están gastando fondos federales en la remediación de pozos abandonados. El cuello de botella fundamental no es el sellado en sí, sino encontrar y priorizar qué pozos sellar. Los estudios de magnetometría detectan tuberías de acero, no emisiones. Un pozo con una tubería intacta podría no tener fugas en absoluto. Por el contrario, un pozo sin tubería no puede ser detectado por un magnetómetro.

La detección de metano basada en drones da un vuelco a este enfoque. En lugar de buscar infraestructuras físicas (que pueden estar enterradas, ausentes o ser indistinguibles de otros objetos metálicos), se mide el riesgo ambiental real. Un pozo que está liberando metano activamente representa una prioridad de remediación mucho mayor que uno que no lo hace, independientemente del estado de su tubería.

Los investigadores señalan que esta metodología va mucho más allá de los pozos abandonados. El mismo sistema y enfoque estadístico son perfectamente aplicables al monitoreo de vertederos, a la detección y reparación de fugas en tuberías de gas (LDAR) y a los estudios de metano en el permafrost. Cualquier aplicación en la que se utilice un sensor TDLAS para detectar metano desde un dron puede emplear el sólido marco de asimetría e I de Moran validado en este estudio.

Especificaciones del Sistema

Componente	Detalles
Dron	DJI Matrice 300 RTK
Tiempo de vuelo (con carga)	Aprox. 35 minutos
Sensor de metano	Pergam Laser Falcon (TDLAS)
Rango del sensor	0 - 50.000 ppm·m
Precisión del sensor	±10% del valor medido
Longitud de onda del láser	1,653 μm (Específica para CH ₄)
Ordenador a bordo	UgCS SkyHub
Software de plan de vuelo	UgCS
Cuadrícula (prueba controlada)	~160m x 160m, espaciado de 2m, a 2 m/s
Densidad de medición	Aprox. 1 lectura por metro
Altitudes probadas	17m, 20m, 25m, 32m AGL
Umbral de asimetría	1,5 (divide fuga vs. no fuga)