



MONITOREO INDUSTRIAL

TerraLytics

Reporte Ejecutivo

Q1 - Q2 2026

YPF
COMPLEJO INDUSTRIAL LUJÁN DE CUYO

Análisis Operacional y Geoespacial

Aviso de Uso y Responsabilidad

Este informe ha sido generado mediante algoritmos de análisis espacial desarrollados por TerraLytics con fines exclusivamente informativos. Los datos, mapas, indicadores y métricas aquí presentados son el resultado de procesos automatizados de análisis geoespacial, procesamiento de imágenes satelitales y modelos analíticos propios.

La información contenida en este documento constituye una aproximación analítica del territorio y puede estar sujeta a errores, omisiones e incertidumbres inherentes a las fuentes utilizadas.

Los resultados expuestos no deben interpretarse como garantías absolutas ni como asesoramiento técnico, legal, ambiental, financiero o estratégico para la toma de decisiones críticas.

Toda decisión basada en la información aquí presentada deberá complementarse con verificaciones independientes y análisis especializados adicionales.

TerraLytics, sus desarrolladores y colaboradores no asumen responsabilidad por pérdidas, daños o consecuencias derivadas del uso directo o indirecto de la utilización de la información contenida en este informe.

Tec. Giuliano Crenna

+54 9 3464 52-0203

giulicrenna@gmail.com

Tabla de Contenidos

1	Introducción y Alcance Tecnológico	2
2	Tablero de Control Operacional	2
3	Sistema de Alertas Tempranas	3
4	Calidad del Aire y Dinámica de Combustión	4
4.1	El Eje Crítico del Azufre y Nitrógeno (SO ₂ y NO ₂)	4
4.2	Vectores de Estabilidad Estequiométrica (CH ₄ , CO, HCHO)	6
5	Actividad Térmica y Estrés de Cobertura	7
6	Análisis Espacial de Disturbios y Áreas Quemadas	8
7	Análisis de Infraestructura y Expansión Física (SAR/Óptico)	9
7.1	Consolidación Espacial e Histórica de Edificaciones	9
7.2	Consistencia Dieléctrica y Geométrica Mediante Radar (SAR)	10
8	Analítica Multivariable y Correlaciones de Pearson	11
9	Conclusiones y Plan de Acción Estratégico	11

1 Introducción y Alcance Tecnológico

El presente reporte ejecutivo proporciona un diagnóstico geoespacial y operacional multifactorial del **Complejo Industrial Luján de Cuyo**, un activo crítico del segmento *Downstream* de refinación en Argentina. El análisis integra de manera sinérgica datos espectrales e interferométricos provenientes de constelaciones satelitales avanzadas de la **Agencia Espacial Europea (ESA)** y la **NASA**, abarcando sensores ópticos multiespectrales (*Sentinel-2* y *Landsat 8/9*), radares de apertura sintética (*SAR Sentinel-1* en banda C) y sensores de espectrometría atmosférica de absorción nadir (*TROPOMI* a bordo de *Sentinel-5 Precursor*).

El objetivo principal es identificar y correlacionar anomalías de gases traza (SO_2 , NO_2 , CH_4 , CO , HCHO), la evolución dieléctrica y geométrica de la infraestructura, y las firmas térmicas superficiales desde el 01-01-2026 hasta el 05-06-2026. Esta aproximación permite modelar y evaluar la eficiencia de las unidades de proceso (Topping, Vacío, Cracking Catalítico, y las Unidades de Recuperación de Azufre o SRU) y prevenir pasivos ambientales o fallas mecánicas estructurales.

2 Tablero de Control Operacional

A continuación, se tabula el comportamiento cuantitativo de los vectores analizados en el complejo industrial durante el periodo de estudio. Los valores extraídos del registro histórico representan los desvíos respecto de las líneas de base de la planta.

Variable Métrica	Tendencia	Variación Pct.	Anomalías	Estado
Dióxido de Azufre (SO_2)	Creciente ($R^2 = 0.21$)	+301.97%	10 (Clúster en Mayo)	CRÍTICO
Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	Creciente ($R^2 = 0.20$)	+44.97%	10 (Clúster en Mayo)	CRÍTICO
Metano (CH_4)	Estable ($R^2 = 0.02$)	-0.34%	3 (Puntuales)	ESTABLE
Monóxido de Carbono (CO)	Estable ($R^2 = 0.00$)	+4.27%	11 (Leves)	ESTABLE
Formaldehído (HCHO)	Estable ($R^2 = 0.00$)	+4.65%	7 (Aisladas)	ESTABLE
Temperatura Superficial (LST)	Decreciente ($R^2 = 0.94$)	-109.72%	0	ESTABLE
Área Construida Prob. (DW)	Creciente ($R^2 = 0.83$)	+20.49%	1	ALERTA
Retrodispersión Radar (SAR VV)	Estable ($R^2 = 0.02$)	+2.42%	2	ESTABLE

Table 1: Indicadores Clave de Rendimiento Geoespacial (Q1-Q2 2026).

3 Sistema de Alertas Tempranas

ALERTA TEMPRANA: INCIDENTE OPERACIONAL EN UNIDAD CLAUS / SRU

Detección: Incremento altamente significativo y simultáneo de las columnas de densidad molecular de SO₂ (+301.9%) y NO₂ (+44.9%) localizado de manera crítica a fines de abril y durante todo el mes de mayo de 2026. Se observó un clúster de 10 anomalías severas en ambos gases que superan holgadamente el percentil 90 del registro histórico de la refinería.

Diagnóstico Técnico: Este comportamiento no responde a una fluctuación estadística menor ni a variaciones de dispersión atmosférica (fuerte correlación de Pearson, $r = 0.98$). Indica una pérdida de eficiencia termodinámica o un fallo mecánico en las **Unidades de Recuperación de Azufre (SRU)**, forzando el envío de gases ácidos ricos en H₂S hacia el sistema de antorchas (*flaring*) de alta presión, traducéndose en una combustión ineficiente que genera altos volúmenes de SO₂, combinada con un aumento de óxidos de nitrógeno (NO₂) por incremento térmico en los quemadores de los hornos de proceso.

Recomendaciones de Inspección Inmediata:

- Ejecutar un balance de masa inmediato en el circuito de desazufrado.
- Realizar inspección termográfica en las etapas del catalizador del proceso Claus y en el reactor de gas de cola.
- Verificar integridad estructural y opacidad en las chimeneas principales.

4 Calidad del Aire y Dinámica de Combustión

4.1 El Eje Crítico del Azufre y Nitrógeno (SO₂ y NO₂)

Las series temporales analizadas revelan una pendiente positiva idéntica y estadísticamente rigurosa para ambos gases. La interconexión molecular de estas curvas es evidente al observar la acumulación sistemática de anomalías hacia el final de la ventana muestral. La quema de gases de refinería con altas concentraciones de compuestos de azufre es la principal fuente antrópica de SO₂. El acoplamiento temporal perfecto ($r = 0.98$) demuestra que el complejo experimentó un aumento sostenido en la carga operativa total de destilación o un desvío crónico en el tratamiento de corrientes amargas.

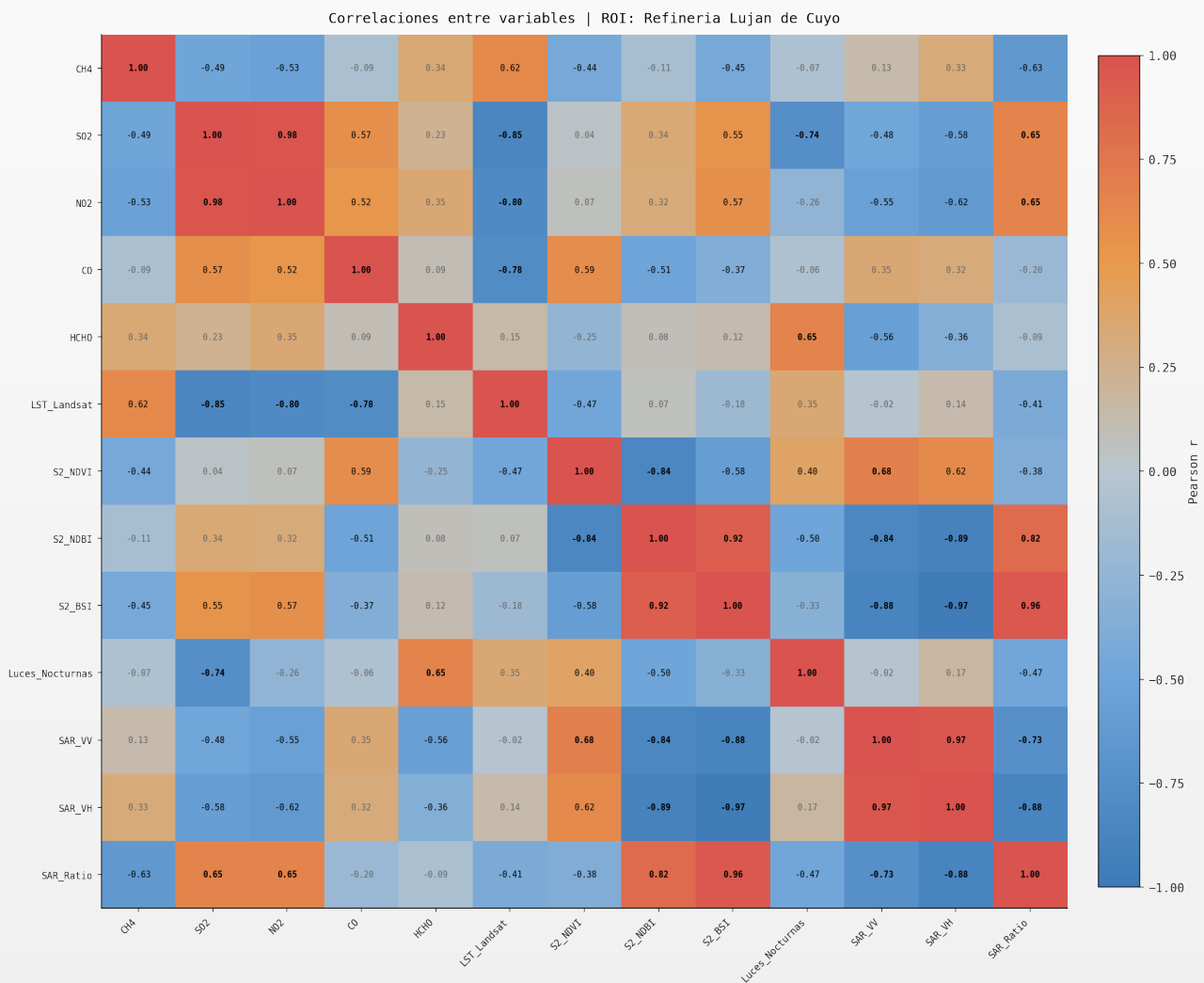


Figure 1: Matriz de correlaciones multivariable de Pearson.

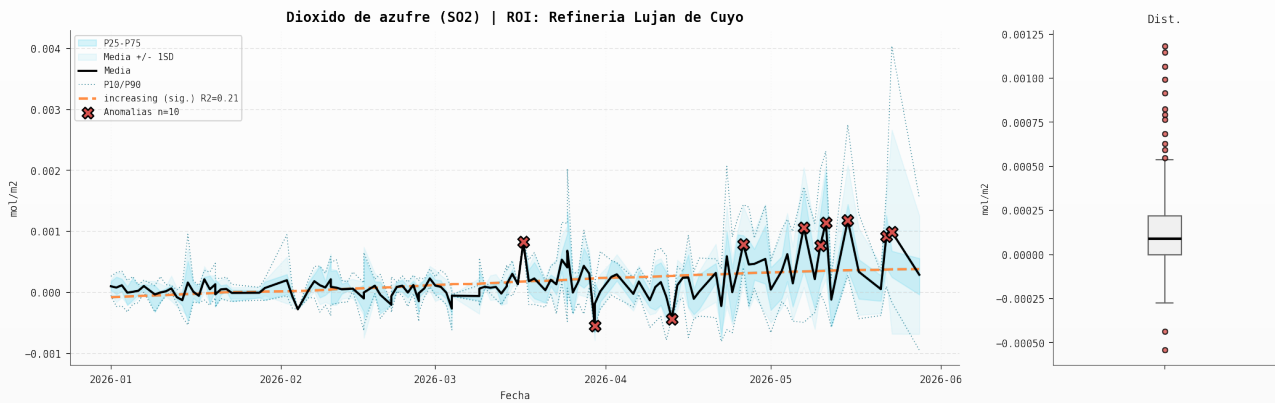


Figure 2: Tendencia creciente y anomalías de SO_2 .

El comportamiento temporal del Dióxido de Azufre (SO_2) expuesto en la gráfica anterior constituye una evidencia directa de desvío operativo en los sistemas de tratamiento de gas agrio. En condiciones de régimen nominal, las corrientes ricas en Sulfuro de Hidrógeno (H_2S) provenientes de las unidades de hidrodesulfurización (HDS) son derivadas a las Unidades de Recuperación de Azufre (SRU) para su conversión a azufre elemental mediante el proceso Claus. El clúster de 10 anomalías severas concentradas de forma consecutiva durante el periodo otoñal (mayo de 2026) confirma una pérdida drástica de eficiencia o parada imprevista de los reactores catalíticos de la SRU, obligando al desvío de estos excedentes hacia el sistema de antorchas operacionales (*flaring*) de alta presión para su combustión térmica directa.

Esta dinámica de combustión incompleta e ineficiente en los quemadores de la antorcha no solo libera volúmenes críticos de compuestos azufrados a la troposfera, sino que altera de manera directa el perfil de emisión de óxidos de nitrógeno (NO_2), cuya serie temporal complementaria se analiza a continuación.

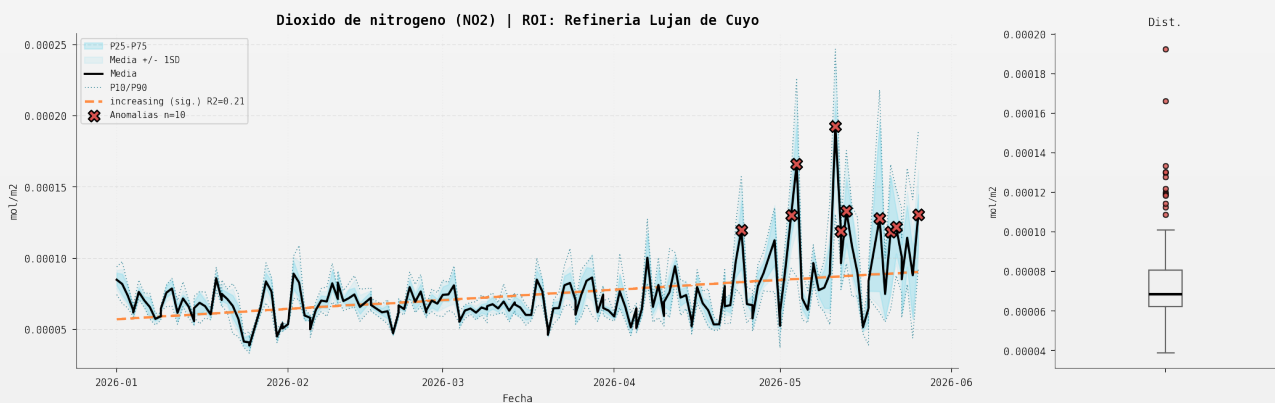


Figure 3: Tendencia creciente y anomalías de NO_2 .

La serie temporal de Dióxido de Nitrógeno (NO_2) ratifica con precisión matemática el escenario de sobreexigencia térmica diagnosticado en la planta. A diferencia del metano u otros hidrocarburos ligeros, el NO_2 troposférico en entornos industriales no proviene de fugas fugitivas mecánicas, sino de la fijación del nitrógeno atmosférico a altas temperaturas (mecanismo de NO_x térmico). La coincidencia exacta del clúster de anomalías de mayo y una pendiente de incremento semestral idéntica a la del SO_2 ($R^2 = 0.20$) valida que el Complejo Luján de Cuyo operó bajo un régimen de alta severidad térmica en

los hornos de proceso de las unidades de destilación Topping y Cracking Catalítico, co-procesando cargas operativas elevadas en sincronía con el evento de ineficiencia en la planta de azufre.

Este acoplamiento estructural queda firmemente validado por la matriz multivariable de Pearson, aislando el origen de ambos contaminantes a una fuente antropogénica común y descartando cualquier sesgo por fenómenos de dispersión meteorológica regional.

4.2 Vectores de Estabilidad Estequiométrica (CH₄, CO, HCHO)

En contraposición a los óxidos ácidos, el Metano (CH₄), el Monóxido de Carbono (CO) y el Formaldehído (HCHO) exhiben líneas de tendencia estables. La estabilidad lineal del Metano descarta la existencia de fugas masivas de gas natural o gases de cabeza en los parques de tanques. Asimismo, el comportamiento del CO corrobora que la eficiencia estequiométrica (relación aire/combustible) en los quemadores se ha mantenido optimizada.

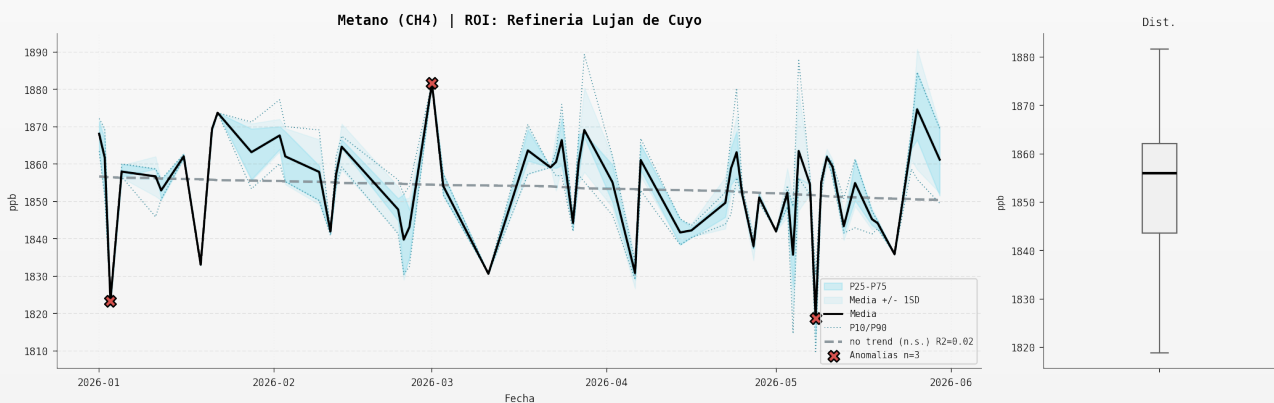


Figure 4: Serie temporal de Metano (CH₄) mostrando estabilidad operativa.

5 Actividad Térmica y Estrés de Cobertura

La serie **LST (Land Surface Temperature)** extraída de las bandas térmicas de *Landsat* describe una trayectoria de decaimiento perfectamente lineal (-109.72%), descendiendo desde valores máximos de $\sim 48^{\circ}\text{C}$ en verano hasta mínimos de $\sim 13^{\circ}\text{C}$ en mayo.

Al correlacionar esta variable se observa un fenómeno sumamente interesante: el **LST presenta correlaciones negativas elevadas con los gases operativos (SO_2 y NO_2)**. Físicamente, esto demuestra que el pico de emisiones atmosféricas registrado en mayo ocurre bajo el escenario de menor temperatura ambiental y del suelo. Esto descarta sesgos climáticos o incendios forestales perimetrales como causantes.

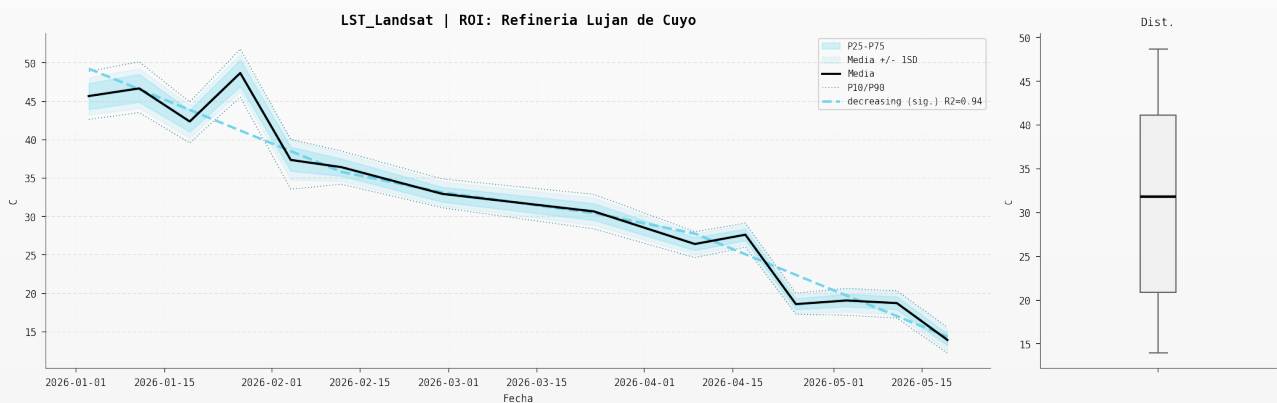


Figure 5: Serie temporal de Temperatura Superficial (LST).

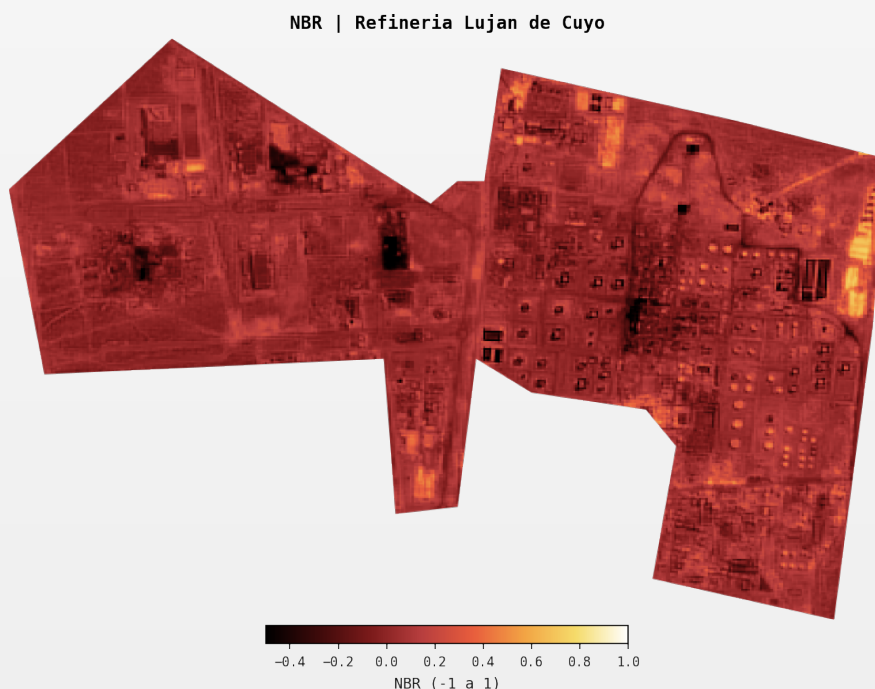


Figure 6: Mapa de anomalías NBR de la Refinería.

6 Análisis Espacial de Disturbios y Áreas Quemadas

El monitoreo continuo de la cobertura superficial, mediante el procesamiento de las bandas infrarrojas de onda corta (SWIR) y el infrarrojo cercano (NIR), permite mapear las firmas espectrales asociadas al estrés agudo del terreno. La siguiente cartografía temática detalla la frecuencia espacial de áreas afectadas por estrés térmico extremo, remoción de cobertura o eventos de quema perimetral en las inmediaciones del complejo industrial.

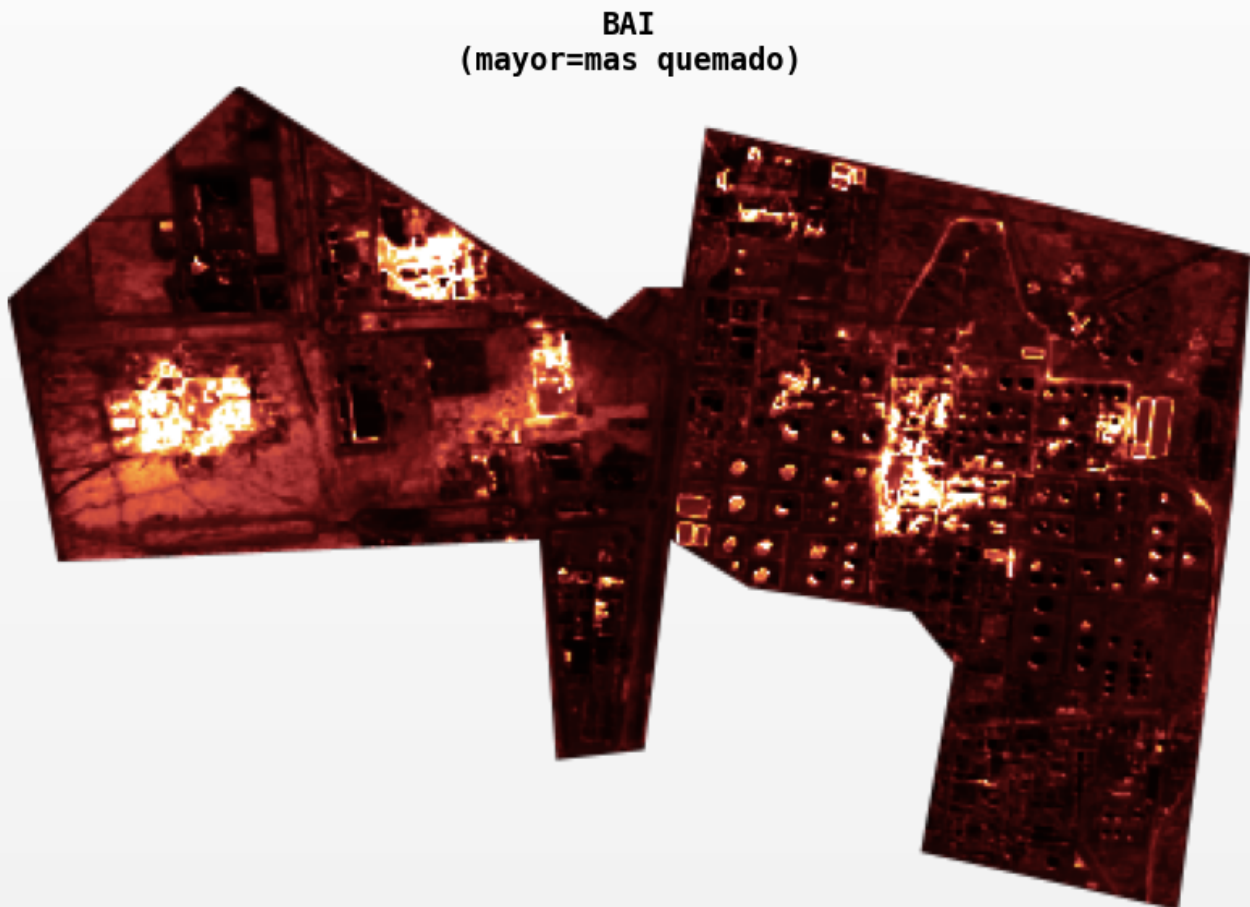


Figure 7: Mapa de frecuencia espacial de áreas afectadas por quemaduras y disturbios antrópicos.

Como se evidencia en la planimetría, el algoritmo de detección espacial ha cuantificado una superficie total afectada acumulada de **370.83 hectáreas** durante la ventana de análisis. La distribución espacial de las frecuencias más altas de afectación (tonalidades rojas y naranjas) se encuentra fuertemente clusterizada en el perímetro operativo inmediato, particularmente en la zona de influencia de los sistemas de antorchas de alta presión (*flare stacks*) y las piletas de tratamiento.

Desde una perspectiva de ingeniería ambiental y de procesos, esta extensa huella superficial no se atribuye a un único evento de incendio descontrolado (*wildfire*), sino que consolida la firma espectral acumulada generada por:

- **Radiación Térmica y Deposición:** La exposición crónica del suelo desnudo a la radiación de la llama durante los eventos anómalos de *flaring* documentados en abril/mayo, sumado a la deposición superficial de material particulado y subproductos pesados de la combustión incompleta.
- **Mantenimiento de Zonas de Sacrificio:** Labores antrópicas de desmalezado profundo, perfilado de terreno y consolidación de franjas de seguridad cortafuegos exigidas por la normativa de hidrocarburos.

El cruce de esta métrica volumétrica (370.83 Ha) con la planicie de temperatura superficial valida la efectividad del complejo para contener su pasivo térmico dentro de su área de amortiguamiento, previniendo la propagación de incidentes operacionales hacia las parcelas agrícolas de la región de Cuyo.

7 Análisis de Infraestructura y Expansión Física (SAR/Óptico)

7.1 Consolidación Espacial e Histórica de Edificaciones

La serie temporal del modelo probabilístico continuo (DW) registra un incremento sostenido ($R^2 = 0.83$). Al cruzar este dato con la matriz histórica **GHSL**, se evidencia que el complejo industrial experimentó su fase expansiva más agresiva durante el quinquenio **1995-2000**, estabilizando una superficie constructiva neta superior a las **110 hectáreas**.

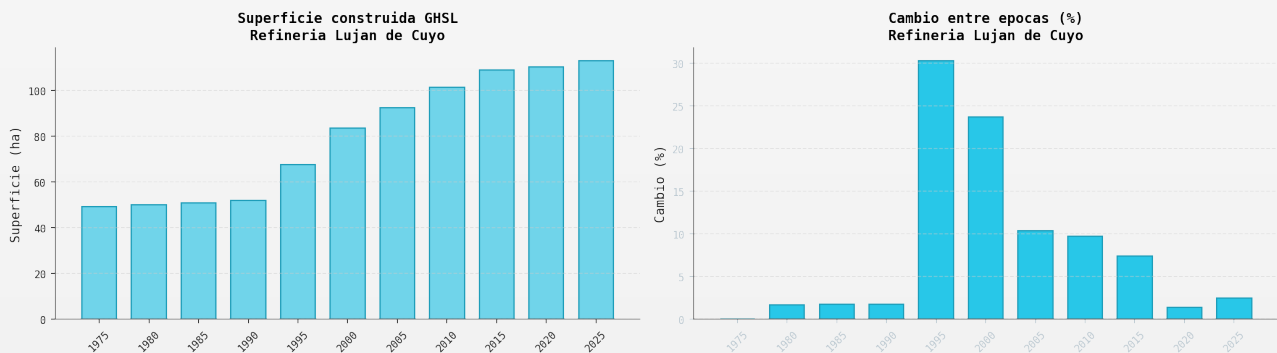


Figure 8: Evolución del área construida GHSL.

7.2 Consistencia Dieléctrica y Geométrica Mediante Radar (SAR)

Las métricas de retrodispersión radar en banda C complementan el análisis:

- **Polarización Co-polar (SAR VV):** La serie se presenta plana ($R^2 = 0.02$). Su estabilidad absoluta demuestra que no han existido modificaciones geométricas macroestructurales, colapsos ni demoliciones masivas en el corazón operativo de la planta.
- **Relación de Canales (SAR Ratio VH/VV):** Mantiene variaciones mínimas ($R^2 = 0.11$). Valida que las propiedades dieléctricas globales del suelo permanecen estables, permitiendo descartar derrames masivos superficiales de hidrocarburos.

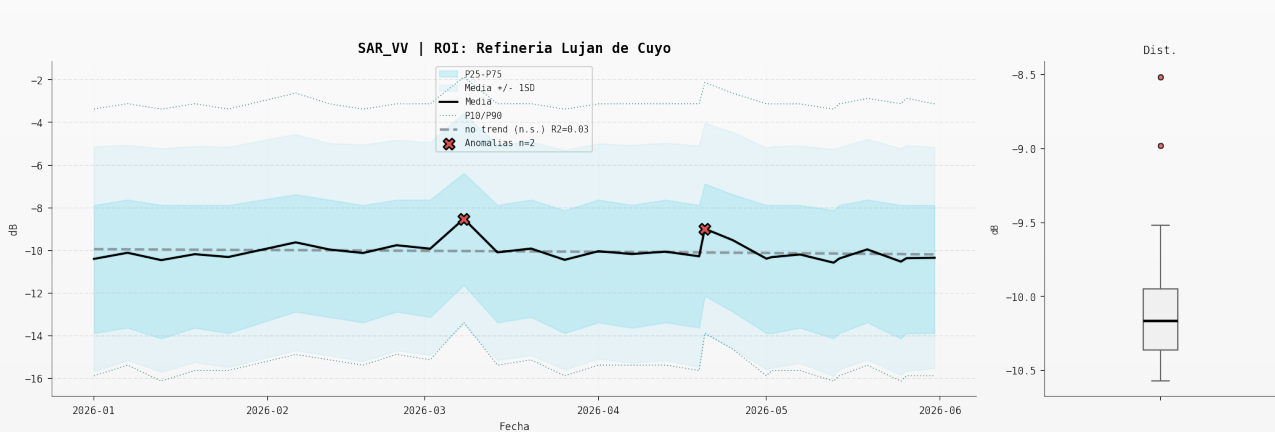


Figure 9: Evolución de retrodispersión SAR VV.

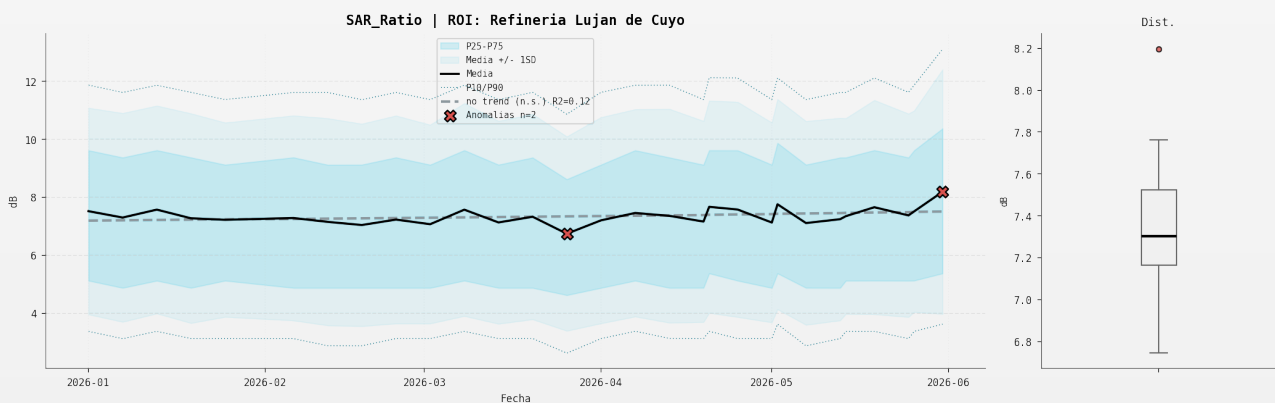


Figure 10: Evolución del SAR Ratio VH/VV.

8 Analítica Multivariable y Correlaciones de Pearson

La integración analítica final cuantifica el grado de acoplamiento de las variables físicas y espectrales del complejo:

- **Acoplamiento Directo $SO_2 \leftrightarrow NO_2$ ($r = 0.98$):** Correlación positiva casi perfecta que confirma el origen operativo en los hornos de proceso asociada a la combustión simultánea de gases ricos en azufre por ineficiencia SRU.
- **Correlación Cruzada Radar-Óptico ($SAR_{Ratio} \leftrightarrow$ Índices de Suelo):** El *SAR Ratio* sostiene correlaciones positivas muy robustas con el índice de suelo desnudo **BSI** ($r = 0.96$). El incremento en la respuesta estructural del radar se acopla directamente con la firma óptica.
- **Desacoplamiento del Metano ($SAR_{Ratio} \leftrightarrow CH_4$ [$r = -0.63$]):** Indica un comportamiento inverso controlado por la localización espacial, aislando físicamente el comportamiento de los gases volátiles de la firma estructural del suelo.

9 Conclusiones y Plan de Acción Estratégico

1. **Foco Crítico Ambiental-Operativo:** El complejo muestra estabilidad física, estructural y de seguridad en infraestructura (SAR_{VV} estable) y control de fugas (CH_4 estable). Sin embargo, enfrenta un desvío crítico en emisiones de azufre y nitrógeno (SO_2 y NO_2).
2. **Ventana de Mitigación:** El clúster de anomalías en mayo exige auditoría en unidades SRU y chimeneas asociadas.
3. **Robustez Analítica:** Las correlaciones cruzadas ($r = 0.98$ en gases) validan el uso del monitoreo satelital continuo para control de refinerías complejas.