

Detección de columnas de humo para operaciones mediante satélites GEO y LEO

Nota Técnica SMN 2024-186

Diana Rodríguez¹, Eliana Vázquez¹, Juan Díaz², Sergio Haspert², Eros Taborda² y Luciano Vidal¹

¹ Dirección de Productos de Modelación Ambiental y de Sensores Remotos, Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios

² Coordinación de Pronósticos Inmediatos, Dirección de Pronósticos del Tiempo y Alertas, Dirección Nacional de Pronósticos y Servicios a la Sociedad

Diciembre 2024



Ministerio de Defensa
Presidencia de la Nación

Información sobre Copyright

Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.

La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.

Resumen

Los incendios forestales y la quema de biomasa, tanto naturales como antropogénicos, provocan pérdidas económicas significativas y afectan el clima y la salud. La liberación de aerosoles y gases, junto con la destrucción de recursos y ecosistemas, plantea desafíos complejos para su monitoreo. Además, las partículas liberadas por éstos alteran la radiación solar y la formación de nubes e influye en los pronósticos de visibilidad y calidad del aire. En este contexto, los satélites GEO y LEO proporcionan productos en tiempo casi real, esenciales para la toma de decisiones y la gestión de riesgos.

Estos satélites facilitan la detección de múltiples focos, ofreciendo datos precisos sobre la ubicación, duración, tamaño, temperatura y potencia de los incendios. Productos como GeoColor para imágenes diurnas, la potencia radiativa del fuego para medir la intensidad de los incendios, y el espesor óptico de aerosoles, junto con el producto de detección de aerosoles para cuantificar su concentración, permiten una detección eficaz de incendios y humo, mejorando el pronóstico y las alertas tempranas. Sin embargo, los índices de aerosol que detectan humo mediante contraste espectral tienen dificultades para identificar columnas delgadas y distinguir entre humo, polvo, nubes y superficies brillantes. Los satélites GEO, como GOES-16, permiten un monitoreo frecuente, mientras que los LEO, equipados con sensores como VIIRS y TROPOMI, entre otros, complementan la observación con imágenes de alta resolución, incluso en regiones polares.

Abstract

Wildfires and biomass burning, both natural and anthropogenic, cause significant economic losses and affect the climate and health. The release of aerosols and gases, along with the destruction of resources and ecosystems, poses complex challenges for monitoring. Additionally, the particles released by these fires alter solar radiation and cloud formation, influencing visibility and air quality forecasts. In this context, GEO and LEO satellites provide near real-time products essential for decision-making and risk management.

These satellites facilitate the detection of multiple hotspots, providing precise data on the location, duration, size, temperature, and power of the fires. Products such as GeoColor for daytime images, fire radiative power to measure fire intensity, and aerosol optical depth, along with the aerosol detection product to quantify their concentration, enable effective detection of fires and smoke, improving forecasting and early warnings. However, aerosol indices that detect smoke through spectral contrast have difficulties identifying thin columns and distinguishing between smoke, dust, clouds, and bright surfaces. GEO satellites, like GOES-16, allow for frequent monitoring, while LEO satellites, equipped with sensors such as VIIRS and TROPOMI, among others, complement observation with high-resolution images, even in polar regions.

Palabras clave: humo, fuego, sensor ABI, sensor VIIRS, TROPOMI

Citar como:

Rodriguez, D., E. Vázquez, J. Díaz, S. Haspert, E. Taborda y L. Vidal, 2024: Detección de columnas de humo para operaciones mediante satélites GEO y LEO. Nota Técnica SMN 2024-186.

1. INTRODUCCIÓN

Los aerosoles atmosféricos son pequeñas partículas sólidas y/o líquidas suspendidas en la atmósfera, que pueden tener origen natural (como humo, polvo, sal marina, polen y cenizas volcánicas) o antropogénico (como emisiones de la combustión de combustibles fósiles e industriales) (Seinfeld y Pandis, 2016). Estas partículas juegan un papel crucial en el sistema climático al afectar el balance radiactivo. A corto plazo, altas concentraciones de aerosoles pueden reducir la visibilidad y deteriorar la calidad del aire, lo que impacta la salud pública (Kaskaoutis y otros, 2014; Chen y otros, 2017).

La quema de biomasa (BB, por sus siglas en inglés), es una fuente significativa de contaminación atmosférica, que incluye la combustión de vegetación viva o muerta como pastizales, bosques y residuos agrícolas. Este proceso genera impactos importantes en la calidad del aire, la salud pública y el clima a nivel local y global, interactuando con la radiación solar y causando efectos radiativos, como el calentamiento climático por la generación de carbono negro y el enfriamiento por aerosoles orgánicos (Hobbs y otros, 1997; Bond y otros, 2013).

Cada año, los incendios forestales y las quemas controladas liberan grandes cantidades de humo, que resultan de la quema incompleta de materia orgánica, emitiendo monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx) y aerosoles atmosféricos (Andreae y Merlet, 2001). Además, el humo influye en las condiciones meteorológicas al suprimir o potenciar la formación de nubes. Las partículas contenidas en las plumas de humo pueden inhibir o facilitar la formación y el crecimiento de nubes, dependiendo de cómo afecten la diferencia de temperatura entre el suelo y la atmósfera (Koren y otros, 2004; Spracklen y otros, 2008).

En Sudamérica y América Latina, los incendios forestales aportan cantidades significativas de material particulado que afectan el balance atmosférico terrestre (Videla y otros, 2013; Freitas y otros, 2005). La inhalación de partículas finas de humo provoca problemas respiratorios, asma, cáncer de pulmón y enfermedades cardiovasculares (Brook y otros, 2010; Rappold y otros, 2011), además de reducir la visibilidad cercana al suelo (Ismanto y otros, 2019; Ghirardelli y otros, 2010).

La detección de humo y la estimación de visibilidad son esenciales para elaborar pronósticos atmosféricos, identificar fuentes de emisión y estimar la extensión y concentración de las plumas de humo. La propagación de estas plumas, influenciada por las condiciones meteorológicas, hace esencial la detección de su distribución espacial y temporal para el monitoreo de la calidad del aire. En este contexto, el uso de datos proporcionados por satélites de observación de la Tierra ha avanzado notablemente en las últimas décadas, especialmente en la prevención y evaluación de incendios forestales (Chuvienco, 2009).

Los satélites de órbita ecuatorial geoestacionaria y de órbita terrestre baja (GEO y LEO, respectivamente por sus siglas en inglés) juegan un papel fundamental, permitiendo observar focos de incendios, medir el espesor óptico (Remer y otros, 2008; Huff y otros, 2021) y monitorear las plumas de humo (Mo y otros, 2021). Los satélites GEO de nueva generación facilitan un monitoreo con alta frecuencia temporal, obteniendo información espectral en diversas bandas del espectro electromagnético, lo que permite la detección y seguimiento de plumas de humo a lo largo del día (AirNow¹).

Por su parte, los satélites LEO complementan las observaciones. Aunque ofrecen menor frecuencia temporal dependiendo del satélite, brindan observaciones en momentos específicos del día y cuentan con sensores adicionales que monitorean contaminantes atmosféricos (Lu y otros, 2021; Li y otros, 2004).

¹ <https://document.airnow.gov/new-nearly-continuous-high-accuracy-satellite-aerosol-products-for-fires.pdf>

El objetivo de este trabajo es evaluar y seleccionar las fuentes de productos satelitales, provenientes de sensores GEO y LEO, para el monitoreo de plumas de humo generadas por incendios forestales en nuestro país y países vecinos. Esto requiere conocer los distintos productos satelitales y plataformas de visualización, además de comprender las metodologías de detección, con el fin de identificar incendios y utilizar estas observaciones para la detección de humo, contribuyendo al monitoreo de la calidad del aire.

2. HUMO: GRANULOMETRÍA Y RESPUESTA ESPECTRAL

Para comprender cómo el humo afecta, la visibilidad, la calidad del aire, su interacción con los procesos de formación de nubes y su impacto en el cambio climático, es crucial conocer algunas características de su composición (Chin y otros, 2009, Earth Observatory²).

La mayoría de las partículas de humo son muy pequeñas, con un diámetro aerodinámico menor a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}). Este tamaño les permite dispersar la luz de manera eficiente, reduciendo la visibilidad y generando neblina.

En cuanto a su composición, las partículas generadas en incendios forestales contienen un mayor porcentaje de compuestos orgánicos, debido a la combustión incompleta de la vegetación y otros materiales naturales. En cambio, las partículas provenientes de la combustión antropogénica contienen más carbono negro (hollín). Además, se forman nuevas partículas en la atmósfera a través de reacciones gas-partícula que involucran compuestos orgánicos volátiles (COV), por sus siglas en inglés, óxidos de nitrógeno, amoníaco y dióxido de azufre. Estas reacciones, influenciadas por las condiciones atmosféricas como, la temperatura y la luz solar, producen partículas ultrafinas que pueden crecer mediante coagulación, un proceso en el que partículas pequeñas colisionan y se adhieren entre sí para formar partículas más grandes (USDA³).

Durante un incendio, se liberan diversas partículas en la atmósfera, cuyo tamaño varía significativamente. Estas partículas, que incluyen cenizas, hollín y compuestos orgánicos, pueden ser clasificadas en diferentes categorías según su diámetro. Las más pequeñas, conocidas como PM_{1.0} y PM_{2.5} y por otro lado, las partículas más grandes, con diámetros menores a los 10 micrómetros (PM₁₀). Esta variedad en el tamaño de las partículas influye en su detección, dado que se debe a que modifica cómo la partícula interactúa con la luz.

En relación con la interacción de las partículas de humo y la luz, la dispersión de Rayleigh establece que las longitudes de onda más cortas del espectro visible, como el azul (0.45 μm), son más efectivas para detectar partículas pequeñas, gracias a su capacidad para dispersar la luz (Bohren y otros, 1983). Por ello, en las imágenes satelitales, las áreas con alta concentración de humo suelen aparecer difusas o con un tono grisáceo. Asimismo, la dispersión de Mie también juega un papel crucial en la detección de humo, aplicándose a partículas cuyo tamaño es comparable a la longitud de onda de la luz, lo que refuerza esta apariencia en las imágenes.

² <https://earthobservatory.nasa.gov/features/Aerosols>

³ https://www.fs.usda.gov/sites/default/files/fire-management-today/1952_fmt_75_15.pdf

3. SATÉLITES PARA LA DETECCIÓN Y MONITOREO DE HUMO Y CALIDAD DEL AIRE

Los satélites meteorológicos de última generación desempeñan un papel crucial en la detección y monitoreo de humo, especialmente en el pronóstico de visibilidad y calidad del aire. A través de plataformas satelitales, es posible detectar incendios mediante la visualización de plumas de humo, anomalías de temperatura o puntos de luz.

En la Figura 1 se muestra una fotografía que ilustra plumas de humo producidas por la quema de pastizales en la región del Delta del Paraná en agosto de 2020. Durante ese período, se detectaron más de 3.700 focos de calor mediante sensores satelitales (Fuente: UNSAM⁴).

Para la identificación, detección y rastreo de plumas de humo, se utilizan sensores de diversas plataformas satelitales en tiempo casi real, cada uno con sus propias capacidades y ventajas. La combinación de datos de satélites GEO y LEO proporciona una visión global y detallada de la distribución y evolución de los incendios, mejorando el monitoreo y la coordinación de sistemas de alerta y respuesta temprana. Las imágenes de color verdadero y/o GeoColor son herramientas esenciales para detectar el humo durante el día. Estas imágenes emplean los canales visibles en las longitudes de onda del rojo, verde y azul.

En relación a las plataformas satelitales LEO y GEO más utilizadas, la Tabla 1 muestra resolución temporal, espacial y espectral para los sensores VIIRS⁵, MODIS⁶ y ABI⁷.



Fig. 1 Fotografía que muestra la quema de pastizales en el Delta del Paraná en agosto de 2020 [Fuente: UNSAM].

⁴ <https://noticias.unsam.edu.ar/2020/08/10/el-delta-en-llamas-incendios-en-las-islas-del-bajo-parana/>

⁵

<https://www.nesdis.noaa.gov/our-satellites/currently-flying/joint-polar-satellite-system/visible-infrared-imaging-radiometer-suite-viirs>

⁶ <https://modis.gsfc.nasa.gov/>

⁷ <https://www.goes-r.gov/spacesegment/abi.html>

Tabla 1: Instrumentos satelitales para detección de incendios

	VIIRS	MODIS	ABI
Plataforma	Suomi NPP, NOAA-20, NOAA-21	TERRA- AQUA	GOES-16 (será reemplazado por GOES- 19)
Franja	3,040 km	2.330 km	-----
Resolución espacial	250 m, 500 m, 1 km	375 m, 750 m	500 m, 1 km, 2 km
Resolución temporal	Cobertura global diaria	Cobertura Global: 1-2 días	Disco completo: 10 minutos ,CONUS: 5 minutos
Cobertura espectral	22 bandas (VIS, IR, NIR, MIR) Bandas-I (1-4): 375 m Bandas-M (1-16): 750 m Banda Diurna/Nocturna: 750 m	36 bandas (VIS, IR, NIR, MIR) Banda 1-2: 250 m Banda 3-7: 500 m Banda 8-36: 1 km	16 bandas (VIS, IR, NIR, MIR) 500 m – 2 km

4. SATÉLITES DE ÓRBITA GEOESTACIONARIA (GEO)

Los satélites GEO ofrecen imágenes de bandas simples, combinaciones en rojo, verde y azul (RGB, por sus siglas en inglés) y productos de Nivel 2 para detectar incendios en tiempo casi real mostrando las áreas activas, la presencia de plumas de humo y de superficies afectadas por el fuego. Los sensores infrarrojos detectan el calor generado por los incendios, lo que permite la identificación de focos activos de fuego y la estimación de su intensidad. Por lo tanto, los datos satelitales GEO constituyen una herramienta muy importante para la identificación rápida de incendios y la evaluación de su propagación a lo largo del tiempo. El satélite GOES-16⁸ será reemplazado en su órbita por el GOES-19⁹ y es la principal fuente de información con la que opera el Centro de Pronósticos Inmediatos (CPI) y el Centro de Avisos de Cenizas Volcánicas (VAAC, por sus siglas en inglés) de Buenos Aires, en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina. A continuación, se describen algunos productos que se utilizan para detectar incendios y aerosoles en tiempo real y de libre acceso. La mayor parte de los productos se encuentran disponibles en AerosolWatch¹⁰ y Slider¹¹ y Zoom Earth¹² con una frecuencia temporal de 10 minutos.

⁸ <https://www.star.nesdis.noaa.gov/goes/fulldisk.php?sat=G16>

⁹ <https://www.nesdis.noaa.gov/news/noaas-goes-u-reaches-geostationary-orbit-now-designated-goes-19>

¹⁰ <https://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/spb/aq/AerosolWatch/>

¹¹ <https://rammb-slider.cira.colostate.edu/>

¹² <https://zoom.earth/>

4.1 GeoColor

Las imágenes de GeoColor¹³ generadas por el sensor ABI ofrecen una aproximación a imágenes diurnas en color verdadero, facilitando una interpretación intuitiva de las condiciones meteorológicas. Entre sus aplicaciones principales se incluyen la detección de aerosoles durante el día, así como la identificación de humo, polvo, smog, ceniza volcánica, entre otros.

Durante la noche, el sensor proporciona imágenes multiespectrales basadas en el infrarrojo (IR), que permiten diferenciar nubes bajas con contenido de agua líquida de las nubes altas con cristales de hielo. Además, utiliza una base de datos de luces estáticas de las ciudades como fondo nocturno para la georreferenciación, derivada de la banda día/noche del sensor VIIRS bordo de los satélites polares Suomi NPP¹⁴, NOAA-20¹⁵ y NOAA-21¹⁶. Se encuentra disponible cada 10 minutos en AerosolWatch y Slider y en Zoom Earth que también permite monitorear incendios forestales y plumas de humo utilizando otras capas, como datos FIRMS¹⁷ de la NASA¹⁸, vientos, datos de radar, temperatura, precipitación y presión, así como los modelos GFS¹⁹ e ICON²⁰. Este visualizador también ofrece herramientas para la medición de áreas y distancias. Si bien la frecuencia temporal es de 10 minutos las imágenes se muestran con un retraso de entre 20 y 40 minutos. La Figura 2 corresponde a la página de AerosolWatch y muestra un disco completo del satélite GOES-ESTE para el 19 de agosto de 2022 a las 18:00 UTC. En el margen superior derecho, se presentan los productos asociados a esta plataforma, destacando en color verde aquellos que están activados.

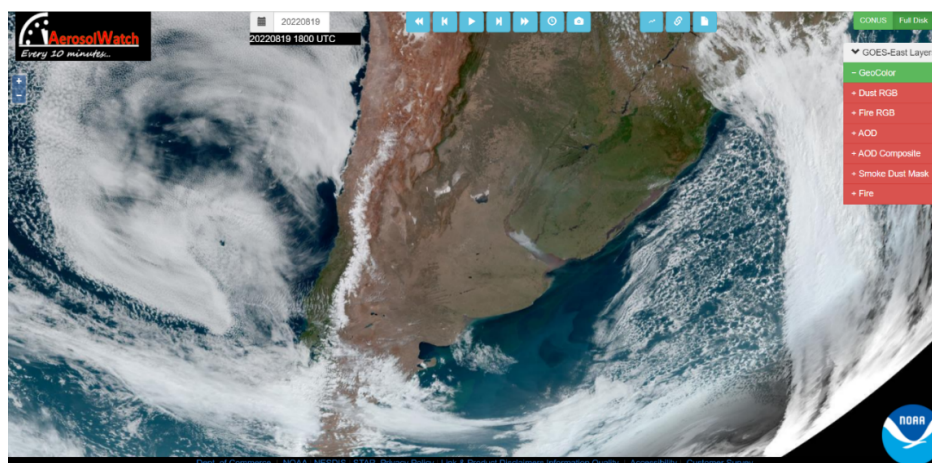


Fig. 2: Vista previa de la página AerosolWatch de la NOAA y productos asociados correspondientes a disco completo para el 19 de agosto de 2022 a las 18:00 UTC.

¹³ https://www.star.nesdis.noaa.gov/GOES/documents/QuickGuide_CIRA_Geocolor_20171019.pdf

¹⁴ <https://science.nasa.gov/mission/suomi-npp/>

¹⁵ <https://ncc.nesdis.noaa.gov/NOAA-20/index.php>

¹⁶ <https://www.noaa.gov/news-release/noaa-21-satellite-is-now-operational>

¹⁷ <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>

¹⁸ <https://www.nasa.gov/>

¹⁹ <https://www.ncei.noaa.gov/products/weather-climate-models/global-forecast>

²⁰ <https://www.icon-model.org/about-us/icon-partners>

4.2 Fire

El producto FIRE²¹ de ABI muestra la potencia radiativa del fuego (FRP²², por sus siglas en inglés) y representa la tasa de energía térmica radiativa saliente procedente de un incendio forestal, integrada en todas las longitudes de onda emitidas por encima del incendio. En el campo de visión de un píxel puede haber múltiples incendios forestales, por lo que la FRP muestra la energía térmica total de todos los incendios dentro de ese píxel y se expresa en vatios (Watts) o megavatios (MW). Los valores más altos pueden superar los 1500 MW, indicando los incendios que representan mayor intensidad o potencial de energía térmica. Se encuentra disponible en la página de AerosolWatch tanto de día como de noche.

4.3 Aerosol Detection (ADP)

El producto de detección de aerosoles (ADP²³, por sus siglas en inglés) utiliza bandas espectrales del sensor ABI para identificar la presencia de aerosoles de polvo y de humo en la atmósfera. Su algoritmo se basa en las propiedades espectrales de absorción y dispersión de diferentes aerosoles, lo que permite a los pronosticadores monitorear con mayor precisión áreas de humo y polvo que son factores críticos en los pronósticos de visibilidad y calidad del aire. Además de proporcionar predicciones a corto plazo, el ADP mejora el seguimiento de las tendencias a largo plazo de la distribución de aerosoles en la atmósfera. Los píxeles correspondientes al polvo se muestran en color amarillo y los de humo en fucsia. Esta información se genera bajo condiciones de cielo despejado y sin nieve y se encuentra disponible únicamente durante el día en la página de AerosolWatch.

4.4 AOD y AOD compuesto

La profundidad óptica de aerosoles, (AOD²⁴, por sus siglas en inglés) cuantifica la cantidad de luz dispersada y absorbida por los aerosoles en la atmósfera, reduciendo la visibilidad. Utilizando varias longitudes de onda del sensor ABI, AOD mide la reflectancia de los píxeles sin nubes en la atmósfera superior. Este parámetro es crucial para mejorar los pronósticos de visibilidad y de calidad del aire. Los valores van de 0 a 1. Los tonos de azul indican niveles bajos, verde claro a amarillo intermedios y de naranja a rojo altos. Un incremento en AOD indica una mayor concentración de partículas en el aire, lo que resulta en una mayor absorción y dispersión de la radiación solar, reduciendo así la visibilidad atmosférica. Los datos de AOD están disponibles cada 10 minutos y el AOD compuesto cada 3 horas entre las 9 y las 24 UTC en la página de AerosolWatch solo durante el día.

El 19 de agosto de 2022 entre las 13:00 UTC y las 20:00 UTC el satélite GOES-16 capturó plumas de humo producidas por incendios de pastizales en el Delta del Río Paraná. El viento del sector sudeste causó el desplazamiento de las plumas, que se concentraron en el tramo inferior del Río Paraná. Un análisis de la Figura 3 para el mismo día a las 18:00 UTC muestra en (a) el producto GeoColor donde se observan plumas de humo denso en color gris/canela sobre el Delta del Paraná, por otra parte en (b) se superpone

²¹ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717300834>

²² https://lpvs.gsfc.nasa.gov/Fire/Fire_home.html

²³

https://www.star.nesdis.noaa.gov/goesr/documents/ATBDs/Enterprise/ATBD_Enterprise_Aerosol_Detection_Product_v1.1_2024-03-18.pdf

²⁴ <https://www.goes-r.gov/products/baseline-aerosol-opt-depth.html>

con puntos de Potencia Radiativa de Fuego (FRP), donde los valores oscilan entre 100 MW y 1500 MW y están representados en una escala de colores que va del amarillo al rojo intenso. Los puntos de mayor intensidad, en rojo, se concentran en el Delta del Paraná, donde la potencia radiativa ha superado los 1500 MW en algunas áreas. En (c) se muestra el producto ADP superpuesto a la imagen Geocolor donde el algoritmo resalta en color fucsia el área identificada como humo en la zona del Delta del Paraná. Asimismo, en amarillo, se indican algunos focos de polvo ubicados en el borde superior izquierdo. En (d) el producto se observan altos valores de AOD, mayores a 0.8 (en rojo intenso), coincidiendo con el área del Delta del Río Paraná donde la mayor concentración de humo indica mayor profundidad óptica, o sea mayor densidad de la pluma de humo.

4.5 RGB Fire Temperature

El producto RGB de temperatura de fuego Fire Temperature²⁵ disponible en el visualizador Slider, permite identificar incendios intensos y diferenciarlos de los más fríos. Se basa en la variación de radiación en longitudes de onda de 3.9 μm a longitudes más cortas. Los incendios intensos, detectados en 2.2 μm y 1.6 μm , se muestran en amarillo y blanco, mientras que los de menor intensidad, en 3.9 μm , aparecen en rojo. Este producto, que puede detectar temperaturas de hasta 1400K, proporciona información sobre la ubicación y comportamiento de incendios activos, pero no muestra las plumas de humo. Está disponible día y noche, con una resolución temporal de 10 minutos y espacial de 2 km en el visualizador Slider.

4.6 GeoFire

GeoFire combina GeoColor con píxeles del compuesto RGB Fire Temperature, destacando incendios y otros puntos calientes. Los incendios activos se representan con los colores del compuesto RGB Fire Temperature, donde los focos de mayor intensidad se muestran en tonos que varían de amarillo a blanco, mientras que los de menor intensidad se presentan en rojo. Los píxeles circundantes mantienen la representación del GeoColor proporcionando contexto visual. Está disponible día y noche, con una resolución temporal de 10 minutos y espacial de 2 km en el visualizador Slider.

4.7 Day Fire

El producto Day Fire²⁶ de CIRA es una variante del RGB Natural Color²⁷ de EUMETSAT²⁸, en la que la banda de 1,6 μm en el canal rojo se reemplaza por la banda de 2,2 μm . Esto resalta los puntos calientes del fuego en rojo. Se utiliza principalmente para detectar puntos calientes de incendios, humo y cicatrices producidas por quemaduras en el suelo. Basado en la reflectancia solar de longitudes de onda visibles e infrarrojas, está disponible solo durante el día, con una resolución temporal de 10 minutos y espacial de 2 km en el visualizador Slider.

²⁵ https://rammb.cira.colostate.edu/training/visit/quick_guides/Fire_Temperature_RGB.pdf

²⁶ https://rammb.cira.colostate.edu/training/visit/quick_guides/QuickGuide_GOESR_DayLandCloudFireRGB_final.pdf

²⁷ <https://user.eumetsat.int/resources/user-guides/natural-colour-rgb-quick-guide>

²⁸ <https://www.eumetsat.int/>

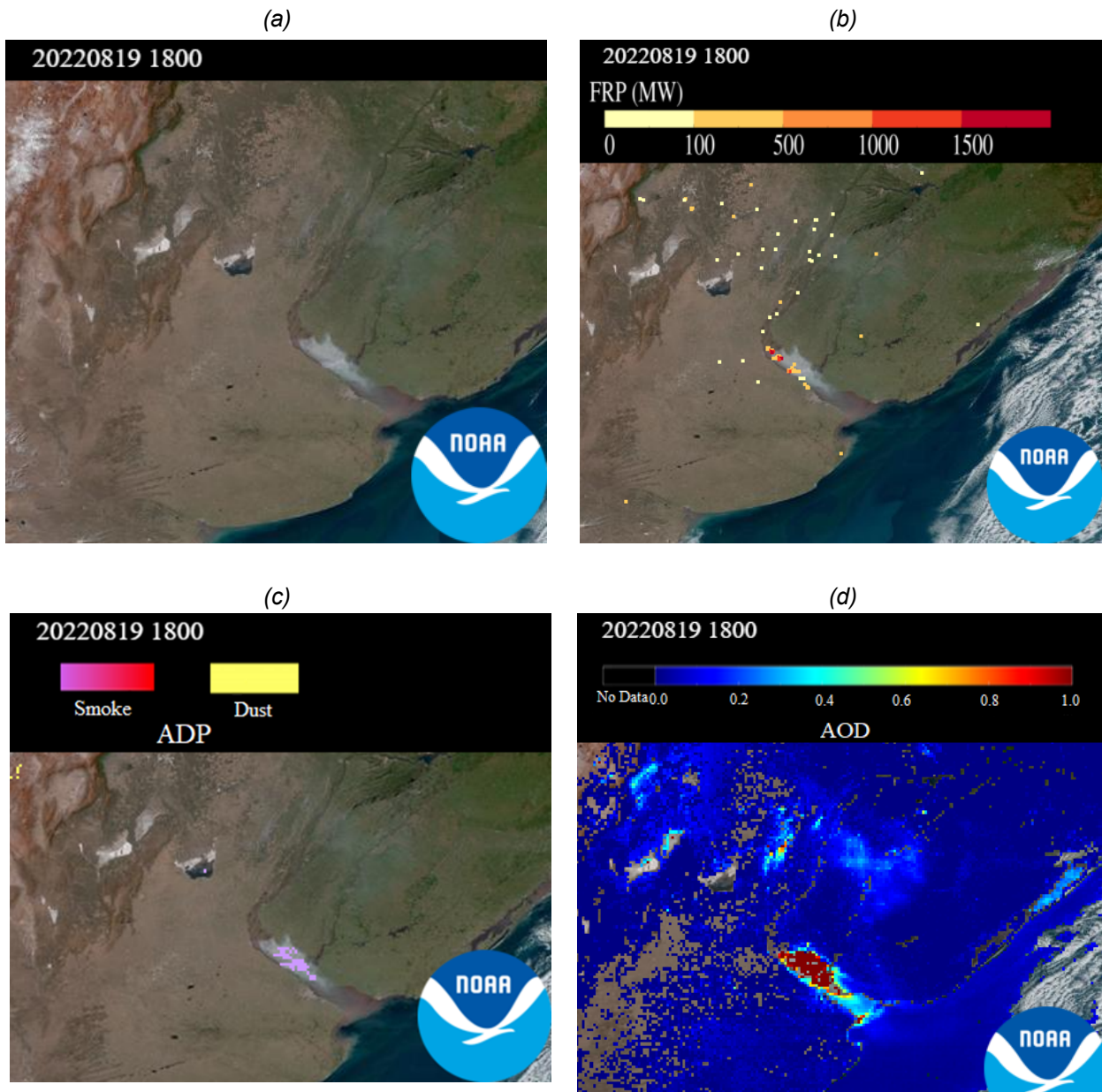


Fig. 3: Incendio producido el día 19 de agosto de 2022 a las 18:00 UTC en la región de pastizales del Delta del río Paraná, Argentina. En (a) el producto GeoColor resalta las plumas en color gris canela, en (b) los puntos en color rojo fuerte corresponden a los de mayor potencia radiativa del fuego (FRP), en (c) el producto de Detección de Aerosoles (ADP) muestra en color fucsia muestra los píxeles que contienen humo, mientras que el producto (d) de Detección de Aerosoles Óptico (AOD), resalta en rojo intenso los píxeles valores altos de espesor óptico. Estos se encuentran disponibles en el visualizador AerosolWatch.

4.8 Banda 7 (3.9 μm) Shortwave Window

La banda de 3,9 μm se utiliza principalmente para la detección de incendios, ya que es más sensible a las áreas más calientes del píxel en comparación con los demás canales infrarrojos de mayor longitud de onda. Además, es la única de las bandas del sensor ABI que permite detectar la radiación emitida por la Tierra y la radiación solar reflejada durante el día. Una de sus limitaciones es que durante el día al detectar ambas radiaciones se suman (la radiación emitida y la reflejada), haciendo que el píxel aumente su temperatura. Este producto tiene una resolución de 2 km lo cual significa que no puede detectar incendios de menor tamaño. Está disponible todo el día con una resolución temporal de 10 minutos y espacial de 2 km en el visualizador Slider.

Un análisis de la Figura 4 muestra cuatro productos que muestran los incendios en el sur de Brasil, Paraguay y Bolivia para el 2 de agosto de 2024 a las 18:00 UTC. En (a), el producto GeoFire muestra focos de calor en rojo intenso y amarillo que reflejan la intensidad de los incendios, junto con plumas de humo en color blanco emergiendo de las áreas afectadas, en (b) el compuesto RGB Fire Temperature, donde los focos de calor aparecen en distintas tonalidades: el rojo menos brillante indica baja intensidad, el rojo brillante mayor intensidad, y el amarillo representa los focos más intensos. En este caso, la superficie terrestre se visualiza en color ciruela, las nubes en celeste y no se observan las plumas de humo. En (c) basada en la Banda 7 del sensor ABI, muestra el suelo y cuerpos de agua en tonos de gris, mientras que los focos de calor, que saturan el sensor a 3.9 μm , se destacan en rojo, resaltando las áreas más calientes de los píxeles y en (d) el producto RGB Day Fire representa los focos de calor en rojo, las cicatrices de incendios en púrpura apagado (indicando zonas previamente quemadas), y las plumas de humo en celeste tenue. En esta composición, la superficie terrestre aparece en diversos tonos de verde.

Un análisis de la Figura 5 muestra el producto GeoFire para la misma fecha y hora que la Figura 4, revelando el impacto del humo desplazado hacia el sur por los vientos del norte y noreste, afectando el sur de Entre Ríos, Santa Fe, Córdoba, Uruguay y la Provincia de Buenos Aires. En el Delta del Paraná se detecta un foco caliente en color rojo, en una zona de pastizales y humedales, donde las altas temperaturas, la sequía y la baja humedad favorecieron el inicio de incendios. Los vientos del noreste intensificaron la concentración de humo en la Capital Federal y el conurbano, destacándose en la imagen su apariencia translúcida.

Según datos de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales, al 25 de septiembre de 2024 se reportó que los incendios en la provincia de Córdoba han consumido 43.490 hectáreas en los últimos días, elevando el total afectado a 69 mil hectáreas en lo que va del año.

Un análisis de la Figura 6 del 24 de septiembre de 2024 a las 18:00 UTC para el satélite GOES-16, muestra los incendios en las Sierras Chicas y Sierras de Punilla de la Provincia de Córdoba, en Argentina. En (a) el producto GeoFire muestra focos de calor en rojo intenso, acompañados de plumas de humo en color blanco que emergen de estas áreas, en (b) el compuesto RGB de Fire Temperature muestra los focos de mayor intensidad en rojo brillante mientras que los de menor intensidad se visualizan en tonalidades de rojo más atenuadas, la superficie terrestre tonos de color ciruela y por la composición de bandas no se observan las plumas de humo. La Banda 7 del sensor ABI (c), muestra tonos de gris más claros para la superficie de la tierra (más caliente) y más oscuros para los cuerpos de agua (más fríos) mientras que los focos de calor, que saturan el sensor a 3.9 μm , se destacan en blanco y rojo, resaltando las áreas más calientes de los píxeles. En (d) el producto RGB Day Fire representa los focos de calor en rojo brillante, las cicatrices de

incendios en púrpura apagado (indicando zonas previamente quemadas) y las plumas de humo en celeste tenue. En esta composición, la superficie terrestre aparece en diversos tonos de verde.

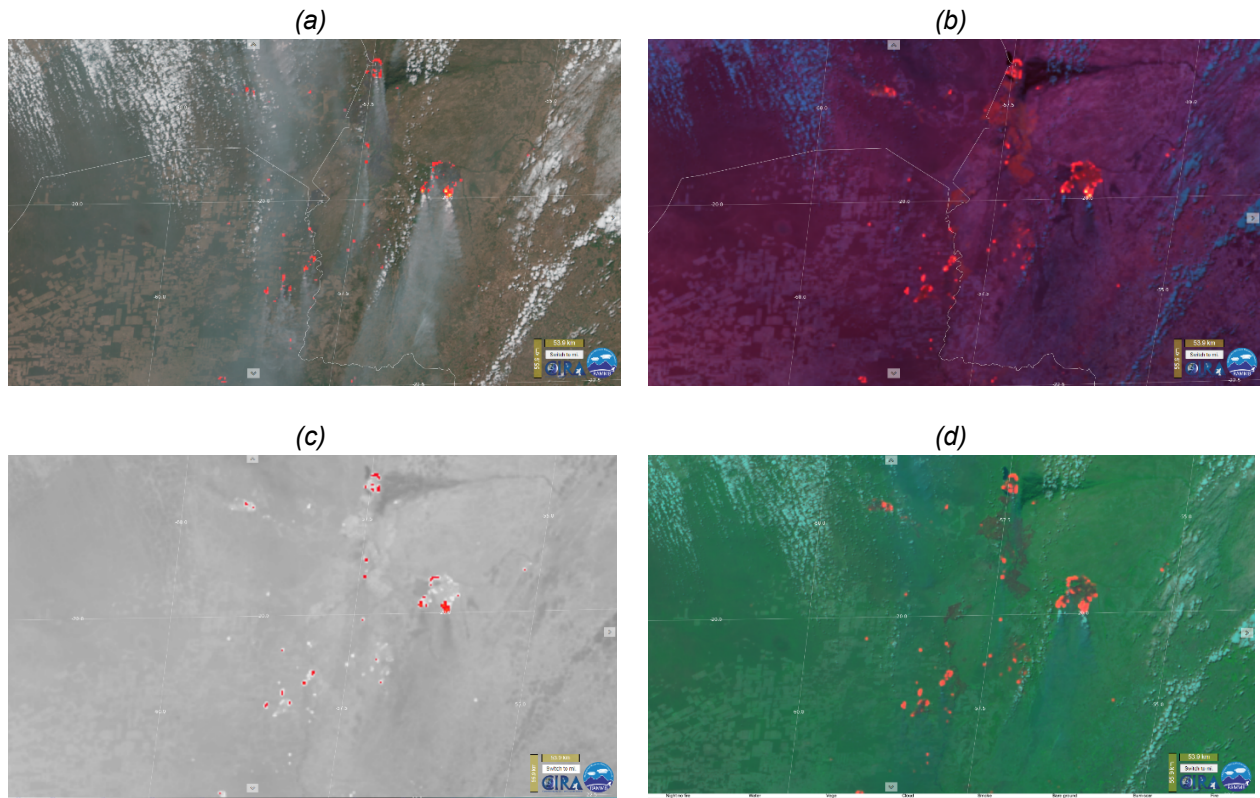


Fig. 4: Incendios producidos el 2 de agosto de 2024 a las 18:00 UTC en el sur de Brasil, Paraguay y Bolivia correspondientes al satélite GOES-16. En (a) el producto GeoFire muestra las plumas de humo en color blanco grisáceo y en color amarillo y rojo brillantes los focos de calor más intensos, en (b) el producto RGB de Fire temperature con pixeles en color rojo y amarillo brillante muestran los focos de incendios más intensos, el producto Shortwave Window (c) muestra en color rojo las áreas más calientes dentro del pixel y el producto RGB de Day Fire (d) en color rojo los focos y en celeste tenue algunas plumas de humo.

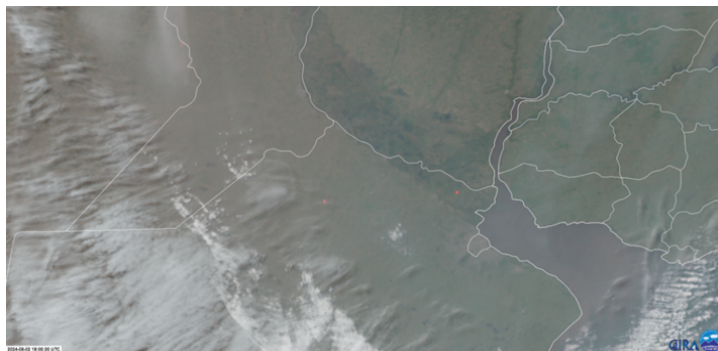


Fig. 5: ídem Fig. 4 pero para el sur de Entre Ríos, Santa Fe, Córdoba, Uruguay y la Provincia de Buenos Aires. Se observa el humo transportado desde los incendios forestales que se produjeron al sur de Brasil, Paraguay y Bolivia. La imagen tiene una apariencia difusa debido a la alta concentración de humo.

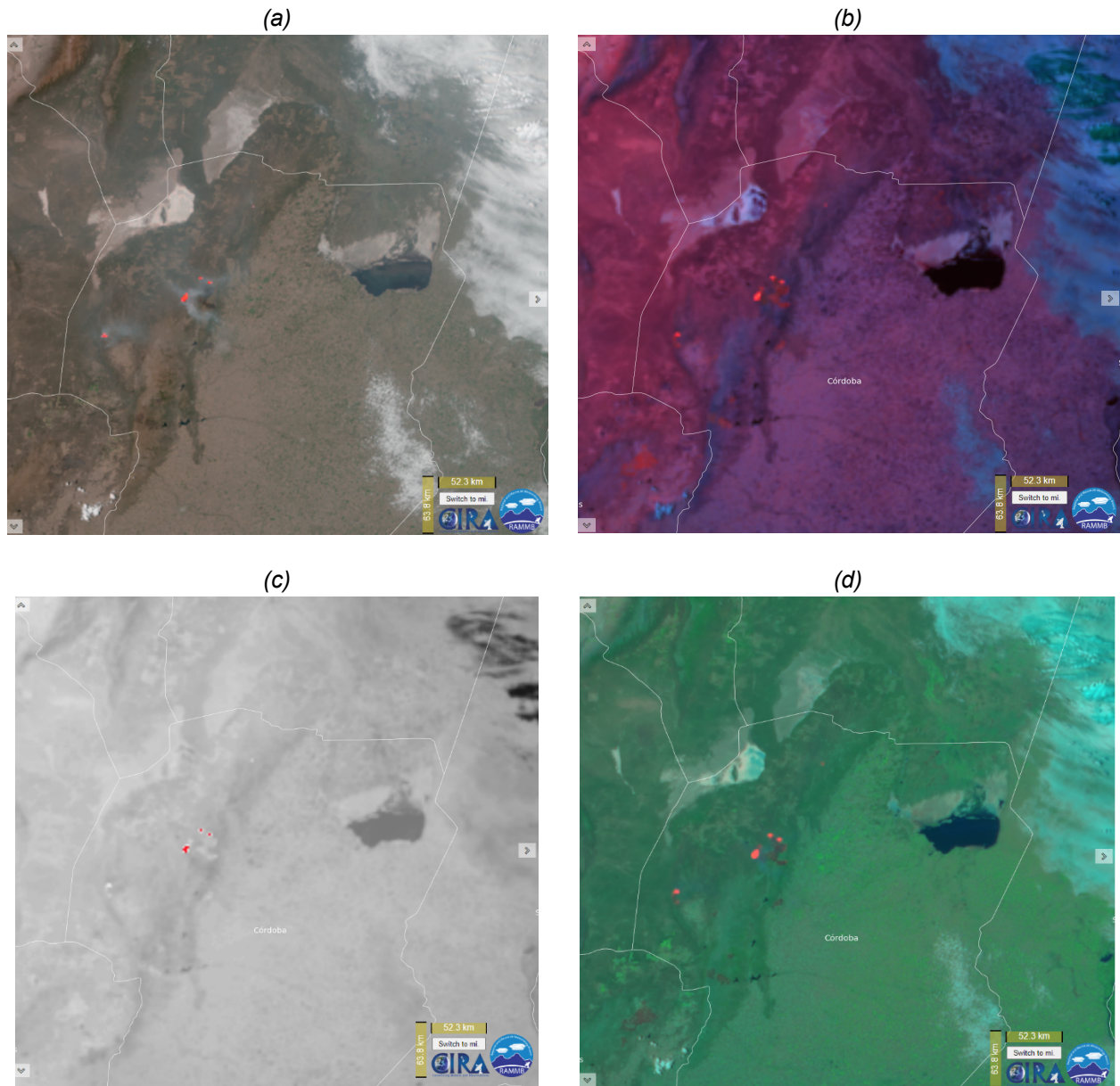


Fig. 6: Incendios producidos el 24 de septiembre de 2024 a las 18:00 UTC en las Sierras Chicas y Sierras de Punilla, en la provincia de Córdoba, Argentina, correspondiente al satélite GOES-16. En (a) el GeoFire muestra las plumas de humo de los incendios en color blanco grisáceo y en color rojo brillante la superposición de los focos de calor, el producto RGB Fire temperature (b) muestra los focos de incendios más intensos en color rojo brillante, pero no muestra la pluma de humo surgiendo de los mismos, el producto Shortwave Window (c) muestra en color rojo las áreas más calientes dentro del píxel y el producto Day Fire (d) en color rojo brillante los focos más intensos y en menor intensidad las cicatrices de los incendios y en celeste tenue algunas plumas de humo.

5. SATÉLITES DE ÓRBITA TERRESTRE BAJA (LEO)

Las imágenes en color verdadero, o real generadas por los sensores MODIS y VIIRS facilitan la detección de aerosoles durante el día, permitiendo la identificación de humo, polvo, smog y ceniza volcánica, entre otros. Son de cobertura global y pasan dos veces por día por el mismo lugar (una observación por la tarde y otra durante la noche hora local). Entre los visualizadores en línea para el monitoreo casi en tiempo real del humo se destacan JSTAR Mapper²⁹ y Wordview³⁰. En esta nota se presentarán algunos productos que contribuyen a la detección de parámetros relevantes para identificar la presencia de humo en la atmósfera a través de los sensores VIIRS y TROPOMI³¹ a bordo del satélite Sentinel-5P.

El sensor TROPOMI está diseñado para el monitoreo de parámetros atmosféricos clave, proporcionando mediciones esenciales para evaluar la calidad del aire. Con una resolución espacial de 7 x 3.5 km, permite identificar detalles mayores a este tamaño. Su tiempo máximo de revisita es de 1 día. Sus principales aplicaciones incluyen el monitoreo de las concentraciones de monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃), el índice de aerosoles UV (AER_AI) y otros parámetros geofísicos relacionados con las nubes.

5.1 True color

El producto True Color RGB del sensor VIIRS integra las longitudes de onda azul, verde y roja del espectro visible, replicando la percepción visual del ojo humano desde el espacio. Este compuesto es particularmente eficaz para la detección de aerosoles atmosféricos, como humo y cenizas, así como para el seguimiento de variaciones estacionales en la cobertura vegetal, reflejadas en tonalidades verdes y marrones. La resolución espacial es de 750 metros al nadir y proporciona una cobertura global diaria. Está disponible para los satélites Suomi NPP, NOAA-20 y NOAA-21, y se puede visualizar utilizando la herramienta JSTAR Mapper solamente de día.

5.1 ADP (Smoke/Dust Mask)

El producto VIIRS de máscara de humo/polvo, también llamado detección de aerosoles (ADP), por sus siglas en inglés, es un indicador cualitativo de aerosoles de humo y polvo. Se utiliza para identificar rápidamente la ubicación y la intensidad de las columnas de humo y polvo. En colores que van desde el fucsia claro al rojo intenso se muestra la escala de colores del humo y en degradé de tonos de amarillo hasta el marrón claro el polvo. La resolución espacial es de 750 metros al nadir. La resolución temporal proporciona una cobertura global diaria. Está disponible para los satélites Suomi NPP, NOAA-20 y NOAA-21, y se puede visualizar utilizando la herramienta JSTAR y solamente de día.

5.3 AOD

El producto AOD medido por el sensor VIIRS representa una cuantificación de la carga aerosol en la

²⁹ <https://www.star.nesdis.noaa.gov/mapper/>

³⁰ <https://www.earthdata.nasa.gov/worldview>

³¹ <https://www.tropomi.eu/>

atmósfera, derivada de la integración de la columna vertical en el rango espectral de 0,55 μm . Este parámetro es adimensional y, aunque los valores comúnmente oscilan entre 0 y 1, pueden superar el valor de 1 en situaciones de elevada concentración. Los valores más altos de AOD indican una mayor presencia de aerosoles, mientras que valores inferiores corresponden a una atmósfera relativamente más limpia o transparente. Un AOD superior a 1 es indicativo de condiciones atmosféricas densamente cargadas de aerosoles, como el humo denso. La resolución espacial del sensor VIIRS es de 750 metros al nadir, lo que permite una detección detallada de las variaciones en la concentración de aerosoles a nivel regional. La resolución temporal proporciona una cobertura global diaria, excepto en condiciones nubladas o desfavorables. Está disponible de día para los satélites Suomi NPP, NOAA-20 y NOAA-21 y se puede visualizar utilizando la herramienta JSTAR Mapper.

5.4 IFIRE / MFIRE (Radiative Power)

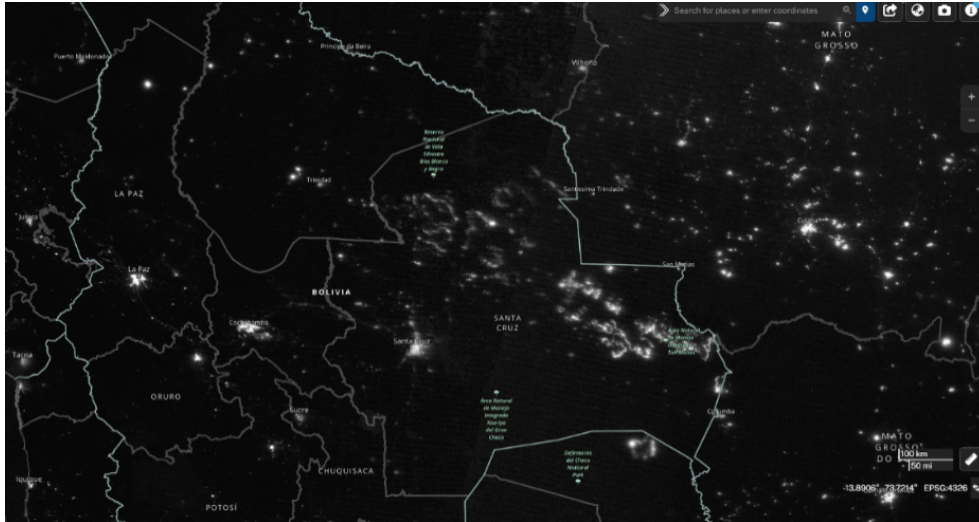
El producto de anomalías térmicas e incendios activos del sensor VIIRS se presenta con resoluciones espaciales de 375 m (IFIRE) y 750 m (MFIRE), permitiendo la identificación precisa de incendios tanto durante el día como en la noche. Esta información es crucial para localizar la fuente de los incendios y para analizar su distribución espacial y temporal, lo que es fundamental para la identificación de fuentes de contaminación atmosférica por humo. La resolución espacial mejorada de 375 m proporciona una mayor sensibilidad en la detección de incendios en áreas relativamente pequeñas y permite un mapeo más detallado de los perímetros de incendios de gran extensión. Además, las observaciones a 375 m han demostrado un rendimiento mejorado en condiciones nocturnas. Por lo tanto, este producto es altamente adecuado para apoyar la gestión de incendios, incluyendo sistemas de alerta casi en tiempo real. Está disponible para los satélites Suomi NPP, NOAA-20 y NOAA-21, y se puede visualizar utilizando la herramienta JSTAR Mapper.

5.5 DNB

Los focos de incendios se pueden monitorear detectando destellos de luz a través de la banda de día y noche del sensor VIIRS, DNB por sus siglas en inglés. Esta banda se utiliza de noche para diferenciar entre luces de ciudades y cuadrículas de fuego. Al superponer los puntos de calor del sensor VIIRS podemos ver con mayor confianza las áreas de fuego. El producto se puede visualizar en JSTAR Mapper y en Wordview., con una resolución espacial de 750 metros.

Un análisis de la Figura 7, correspondiente al 9 de septiembre de 2024, obtenida por el satélite NOAA-20 a las 04:27 UTC, muestra en (a) el producto DNB, donde se distinguen, en color blanco y con diversas intensidades, los destellos producidos por las luces de ciudades, poblaciones y múltiples focos de incendios en Bolivia. En (b), la misma imagen presenta la superposición de los focos de calor (IFIRE) en rojo, con una resolución de 375 metros proporcionada por el sensor VIIRS. Se observa que estos focos, identificados por los destellos luminosos, se localizan en las afueras de la Ciudad de Santa Cruz y se concentran al norte, NE y NNE en el Área Natural de Manejo Integrado San Matías.

(a)



(b)

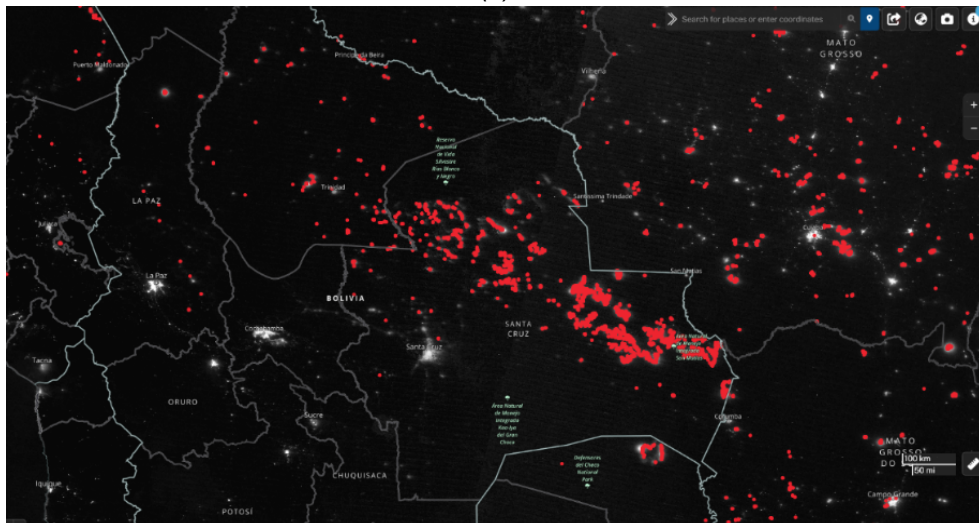


Fig. 7: Imagen DNB en (a) las luces de las ciudades y las cuadrículas de fuego, en (b) la superposición de los puntos de calor en 375 m de resolución espacial, para satélite NOAA-20 del día 09 de septiembre de 2024 a las 04:27 UTC. Imágenes capturadas de la página de Wordview.

Un análisis de la Figura 8, del 2 de agosto de 2024 del satélite NOAA-20 para las pasadas de 17:05 UTC y 18:48 UTC, muestra los incendios forestales en el sur de Brasil, Paraguay, Bolivia y Argentina. En (a), el producto True Color muestra plumas de humo blancas grisáceas y difusas, que se desplazan de norte a sur, llegando hasta el norte de la provincia de Buenos Aires. En (b), el producto Smoke/Dust Mask destaca en fucsia las plumas más delgadas y en rojo las más densas, localizadas en Formosa, Chaco, Entre Ríos y Buenos Aires; en esta imagen, también se identifican nubes de sal provenientes de la laguna Mar Chiquita

(Córdoba), representadas en amarillo y clasificadas por el algoritmo como polvo.

El producto de AOD en (c) ilustra un perfil de espesor óptico que se extiende desde el sur de Brasil hasta el centro/este de Argentina, con valores predominantes superiores a 0.4 y alcanzando hasta 1 en varias áreas (indicadas en verde, amarillo, naranja y rojo). Estas áreas coinciden con las plumas de humo detectadas, mientras que se observan valores de AOD superiores a 1 en la región de la laguna Mar Chiquita, donde las nubes de sal son interpretadas como polvo. Finalmente, en (d), los focos de calor, con una resolución de 375 metros, se superponen a una imagen True Color, mostrando que la mayoría de ellos tienen una potencia radiativa superior a 1.0 MW, variando en colores desde el amarillo hasta el rojo intenso, y se concentran en Bolivia, sur de Brasil, Paraguay, Formosa, Chaco, Misiones, Corrientes, Entre Ríos, Tucumán, Santiago del Estero, Santa Fe y Buenos Aires.

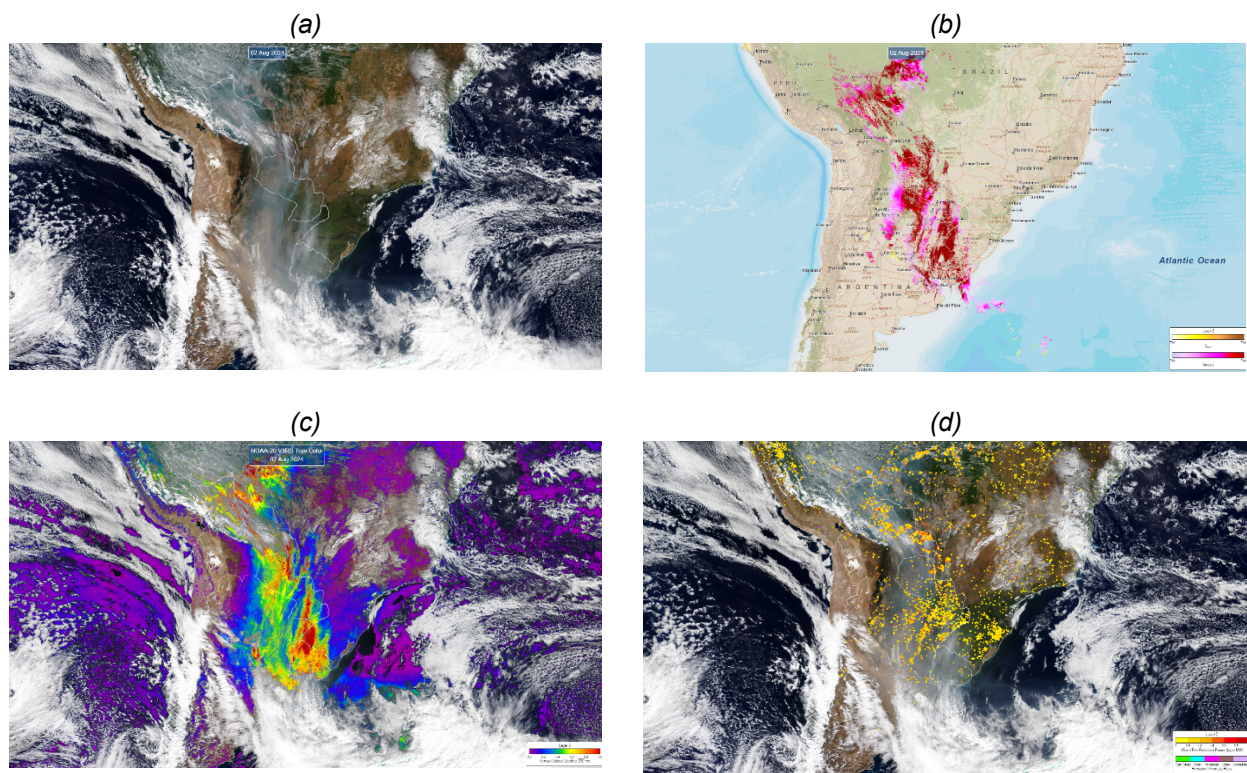


Fig. 8: Producto (a) muestra las plumas de humo de los incendios en color blanco grisáceo del producto true color (b) producto Smoke/Dust Mask, (c) Producto AOD (c) y el producto IFIRE (d), correspondiente al satélite NOAA-20 para el 2 de agosto de 2024 para las pasadas de 17:05 UTC y 18:48 UTC, productos de la página JSTAR Mapper.

5.6 Aerosol Index

El producto de índice de aerosoles (AI³², por sus siglas en inglés) de TROPOMI es un indicador cualitativo que mide la presencia de aerosoles suspendidos en la atmósfera. Este índice permite detectar aerosoles que absorben radiación ultravioleta (UV), como el humo, el polvo del desierto y los penachos de cenizas

32

https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/data-products/-/asset_publisher/fp37fc19FN8F/content/sentinel-5-precursor-level-2-ultraviolet-aerosol-index

volcánicas. Los valores de AI varían entre -1 y 5, representados en una escala de color que va del azul claro al rojo, siendo este último indicativo de la mayor absorción de energía UV. El AI se calcula utilizando dos pares de longitudes de onda: 340/380 nm y 354/388 nm. Este cálculo se fundamenta en los cambios en la dispersión de Rayleigh en el rango espectral UV, donde la absorción por parte del ozono es mínima. Una ventaja del AER_AI es su capacidad para ser calculado en presencia de nubes, lo que permite una cobertura diaria y global, ideal para rastrear la evolución de columnas de aerosoles episódicas generadas por incendios forestales, tormentas de polvo y arena, erupciones volcánicas y quema de biomasa. La resolución espacial es de 3.5 km x 5.5 km y se puede visualizar utilizando la herramienta JSTAR.

5.7 NO₂

El dióxido de nitrógeno (NO₂) y el monóxido de nitrógeno (NO) suelen recibir la denominación conjunta de óxidos de nitrógeno y se encuentran tanto en la troposfera como en la estratósfera. Aparecen en la atmósfera debido a actividades antropogénicas (en especial por la quema de combustibles fósiles y de biomasa), pero también por procesos naturales como ciertas actividades microbianas en los suelos, incendios forestales y caída de rayos. El producto NO₂³³ del sensor TROPOMI mide la columna troposférica de dióxido de nitrógeno en moles por metro cuadrado (mol/m²). La resolución espacial es de 3.5 km x 5.5 km y se puede visualizar utilizando la herramienta JSTAR.

5.8 CO

El monóxido de carbono (CO) actúa como uno de los contaminantes principales en las zonas urbanas y sus fuentes principales son la quema de combustibles fósiles, la combustión de biomasa y la oxidación atmosférica de metano y otros hidrocarburos. El CO³⁴ de TROPOMI mide la columna total de monóxido de carbono en moles por metro cuadrado (mol/m²). Los valores se encuentran en el rango de 0 (azul) a 1 (rojo), siendo este el valor más alto. La resolución espacial es de 7.0 km x 5.5 km y se puede visualizar utilizando la herramienta JSTAR.

Un análisis de la Figura 9 del 2 de agosto de 2024 muestra en (a) el producto True Color del satélite NOAA-20, correspondiente a las pasadas de las 17:05 y 18:48 UTC, donde se identifican plumas de humo blancas grisáceas asociadas a incendios forestales en el sur de Brasil, Paraguay, Bolivia y Argentina. Las imágenes (b), (c) y (d) corresponden al sensor TROPOMI a bordo del satélite Sentinel-5P, para las pasadas de: 16:43 UTC, 18:24 UTC y 20:26 UTC. A pesar de la diferencia en los horarios de pasadas de ambos satélites, en (b) se observa una franja que abarca Bolivia, Paraguay, Uruguay y Argentina, donde el índice de aerosoles presenta un incremento en sus valores. Esto indica la presencia de aerosoles suspendidos en la atmósfera, representados en colores celestes, amarillos, naranjas y rojos para valores que oscilan entre 1 y 5 unidades, en longitudes de onda en el rango de 340/380 nm y 354/388 nm. Además, se observan los aerosoles generados por la nube de sal en la laguna de Mar Chiquita, representados en tonos amarillos. En (c) el NO₂ se presenta en una gama de colores que van del cian al rojo, mostrando valores superiores a

³³

https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/data-products/-/asset_publisher/fp37fc19FN8F/content/sentinel-5-precursor-level-2-nitrogen-dioxide

³⁴

https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/data-products/-/asset_publisher/fp37fc19FN8F/content/sentinel-5-precursor-level-2-carbon-monoxide

$0.4 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$. Finalmente en (d) el CO presenta una mayor concentración representada en tonos que varían desde el verde hasta el rojo, con valores máximos que rondan $1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/m}^2$.

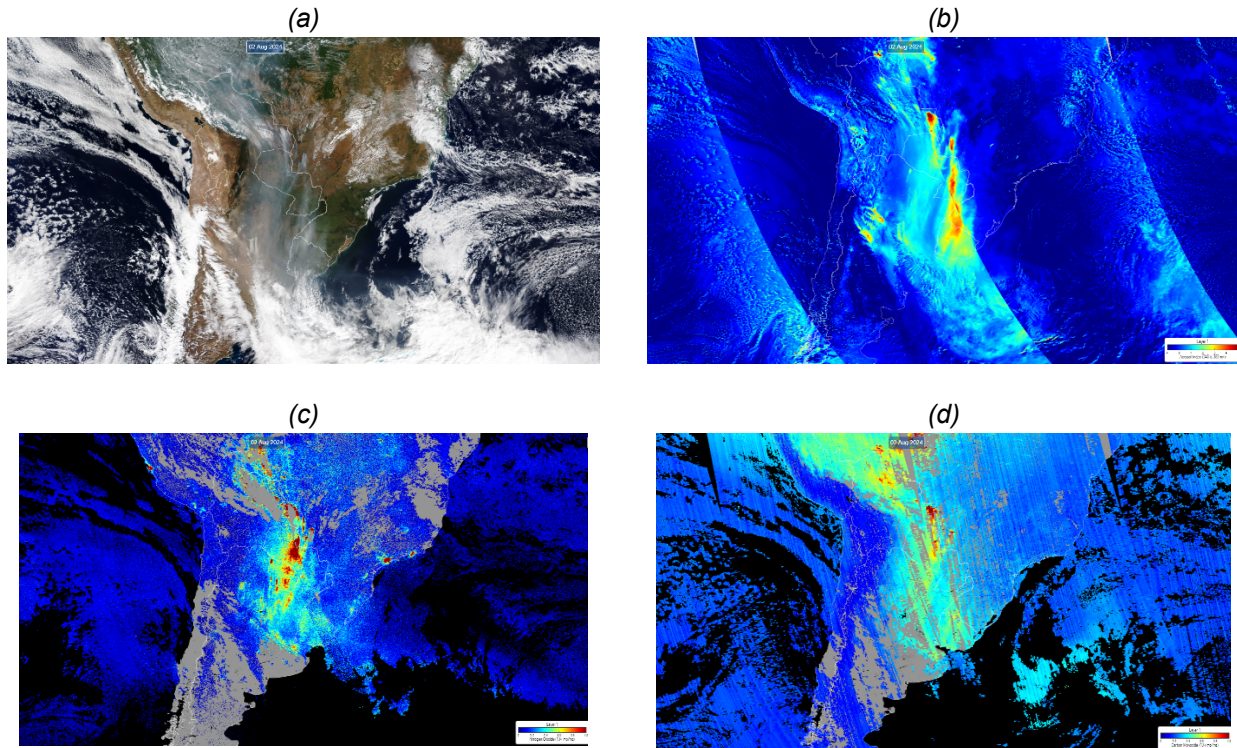


Fig. 9: Producto true color (a) del sensor VIIRS a bordo del satélite NOAA-20 del día 2 de agosto de 2024 para las pasadas de 17:05 UTC y 18:48 UTC, (b) AI, (c) NO₂ y (d) CO del sensor TROPOMI a bordo del satélite Sentinel 5P obtenidos del visualizador JSTAR Mapper para las pasadas de 16:43, 18:24 y 20:26 UTC.

Un análisis de la Figura 10, correspondiente al 24 de septiembre de 2024, presenta en (a) el producto True Color del satélite NOAA-21, obtenido a las 18:06 UTC. En esta imagen, se identifican plumas de humo blancas/grisáceas asociadas a los incendios forestales en las Sierras Chicas y las Sierras de Punilla, en la provincia de Córdoba. Las imágenes (b), (c) y (d) corresponden al sensor TROPOMI a bordo del satélite Sentinel-5P, adquiridas a las 18:32 UTC. En (b), se observan tonos de cian, verde y amarillo que representan valores del índice de aerosoles en el rango de 1 a 3 unidades, afectando la zona del Aeropuerto Internacional. En (c), el compuesto de NO₂ muestra valores entre 0.3 y un máximo de 1 (10^{-4} mol/m^2) en áreas al norte de La Cumbre y al SE de Salsacate. Finalmente, en (d), el CO presenta una mayor concentración en la región cercana a La Cumbre, con valores que superan $1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/m}^2$, así como en las cercanías de Salsacate y Chancani, donde los valores alcanzan $0.6 \times 10^{-1} \text{ mol/m}^2$.

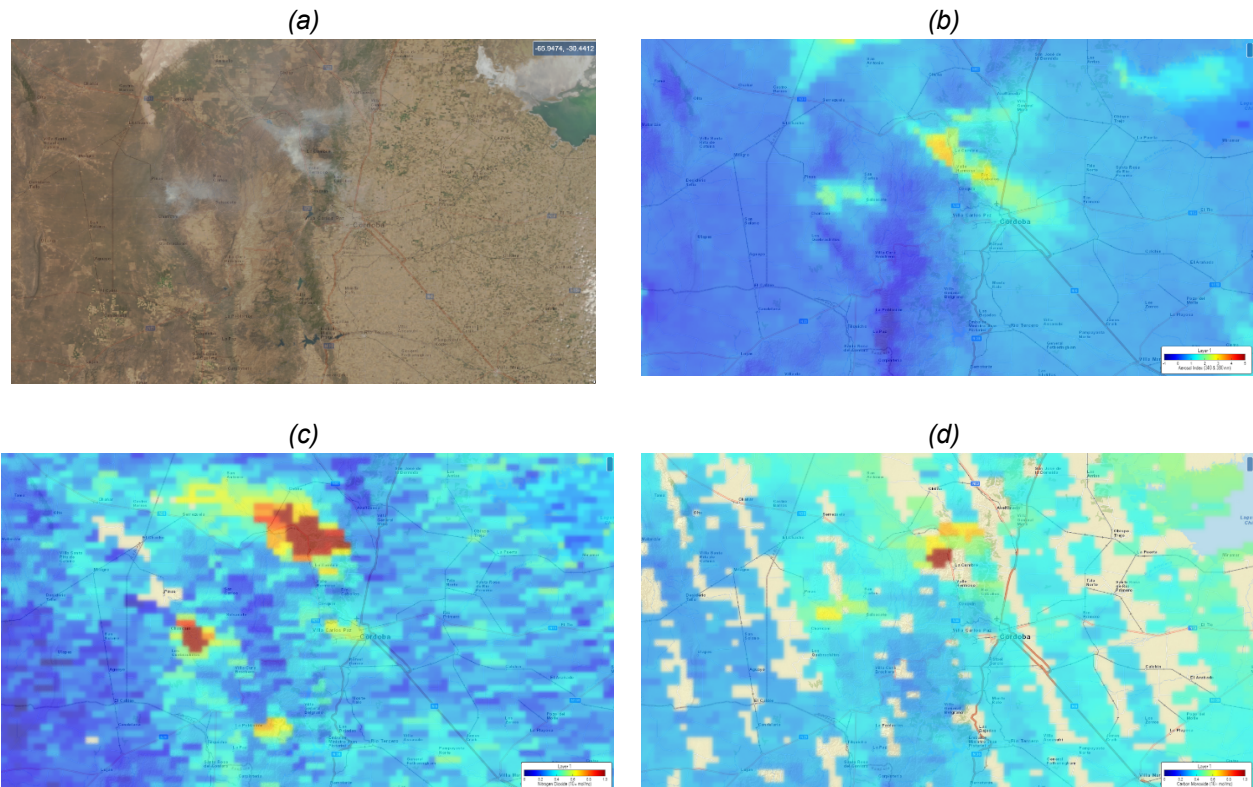


Fig. 10: Producto True Color (a) correspondiente al sensor VIIRS a bordo del satélite NOAA-21 del día 24 de septiembre de 2024 para la pasada de 18:06 UTC que muestra las plumas de humo de los incendios forestales en la provincia de Córdoba, (b) AI, (c) NO₂ y (d) CO del sensor TROPOMI a bordo del satélite Sentinel 5P obtenidos del visualizador JSTAR Mapper para las 18:32 UTC.

A continuación, la Tabla 2 resume los principales productos mencionados en este trabajo para la detección de humo. Estos se encuentran disponibles en las plataformas AerosolWatch (para disco completo), Slider y JSTAR Mapper, correspondientes a los sensores ABI, VIIRS y TROPOMI.

Tabla 2: Principales productos y sensores satelitales para detección de incendios y humo.

Producto	Sensor	VISUALIZADOR		
		Aerosol Watch (Full Disk)	JSTAR Mapper (Global Day)	Slider (Full Disk)
GeoColor/ True Color	ABI	X		X
	VIIRS		X	
AOD	ABI	X		
	VIIRS		X	
ADP or Smoke/Dust Mask	ABI	X		
	VIIRS		X	
Fire (FRP)	ABI	X		
	VIIRS		X	
Aerosol Index	TROPOMI		X	
CO				
NO₂				
(Band 7) 3.9 um	ABI			X
Fire Temperature				
Day Fire RGB				
GeoFire				
NGFS Microphysics RGB				

6. CONCLUSIONES

Los satélites GEO y LEO se complementan para mejorar la detección de humo generado por los incendios ya sean forestales o de quema de biomasa. Las principales limitaciones de los satélites en órbita baja (LEO) incluyen una menor frecuencia temporal y una menor cantidad de mediciones en comparación con los satélites geoestacionarios (GEO). Sin embargo, los satélites LEO ofrecen cobertura global y múltiples observaciones en regiones polares y una resolución espacial superior a los GEO. Los datos se encuentran disponibles en entre 15 min y una hora para GEO y de dos a tres horas para los LEO, dependiendo del visualizador.

Para la detección de humo visible, que se presenta en tonalidades de gris y marrón, es importante tener en cuenta que estos colores varían según el tipo de combustible que los genera; en general, el humo se diferencia de las nubes, que aparecen más blancas. El proceso de detección en horario diurno debe iniciarse con el análisis de imágenes satelitales en Color Real o GeoColor. Posteriormente, se debe identificar la fuente del humo mediante la detección de anomalías térmicas. Los productos destinados a la localización de fuentes de calor o anomalías térmicas proporcionan una visión general de los incendios activos, permitiendo reportar su ubicación diariamente. Las resoluciones de las imágenes disponibles varían según el sensor: 2 km para ABI, 1 km para MODIS y 750 o 375 metros para VIIRS.

Pero por otra parte las anomalías térmicas, tienen limitaciones que pueden ser falsos positivos por omisión de incendios grandes debido al humo denso o que el mayor tamaño del píxel puede obviar incendios pequeños. Por ejemplo: si el incendio es menor de los que puede observar el píxel no se verá, el sensor ABI, puede obviar un incendio de menor tamaño que es observado por MODIS o VIIRS. Los datos de anomalías térmicas a partir de VIIRS y MODIS tienen una tasa de falsas alarmas de alrededor de 1.2%. En general los datos de anomalías son validadas por los investigadores utilizando sensores de mayor resolución espacial como son LANDSAT y SENTINEL. También se puede utilizar el producto DNB (VIIRS) para la detección de destellos de luz que corresponden a incendios y así distinguirlos de noche. Entre las limitaciones se pueden encontrar focos de calor o fuegos activos que en realidad pueden ser falsas alarmas o falsos positivos por eso es necesario tener en cuenta el trasfondo revisando blancos brillantes que no son incendios como (destellos, paneles solares, zonas de desiertos, etc.), y por otra parte si el humo es denso, o si el incendio es más pequeño que el tamaño del píxel, el algoritmo podría no detectarlo u omitirlos. Otra limitación es que, cuando ocurre una erupción volcánica, los focos de calor o puntos calientes pueden confundirse con incendios, especialmente si ambos eventos ocurren en áreas cercanas o áreas geográficas similares, por eso es importante tener otras herramientas para corroborar que sea una erupción como la detección de ceniza volcánica con otras bandas multiespectrales, como Color Real o Geo Color, o ASH RGB de ceniza.

Los productos AOD y ADP de VIIRS y ABI permiten identificar aerosoles de humo y polvo de forma automática, eliminando la necesidad de interpretar visualmente imágenes RGB y complementando estos productos. En regiones polares, VIIRS ofrece múltiples observaciones diarias con alta resolución espacial. El AOD es más preciso en el rango de $0,1 \leq \text{AOD} \leq 0,8$ y resulta útil para estimar concentraciones de PM_{2.5}, especialmente para cubrir vacíos en las redes de monitoreo terrestre. Este producto mide la disminución de radiación por aerosoles, considerando la dispersión y absorción a lo largo de una columna atmosférica. El ADP, por su parte, es más confiable para columnas gruesas sobre superficies oscuras, aunque su precisión disminuye en columnas delgadas sobre regiones áridas o semiáridas. Ambos productos

presentan algunas limitaciones. Solo operan durante el día y pueden no detectar aerosoles a nivel de superficie. Además, no es posible obtener datos en áreas con nubes, nieve o hielo, y el humo denso puede ser erróneamente identificado como nube, afectando la precisión de la medición.

La detección de plumas de humo durante las horas nocturnas es más compleja debido a la falta de ciertas bandas que operan exclusivamente durante el día y que permiten determinar los parámetros presentados en este trabajo. Sin embargo, es posible identificar incendios nocturnos mediante la detección de puntos calientes y anomalías térmicas en combinación con el producto de microfísica de nubes RGB (NGFS Microphysics RGB³⁵, por sus siglas en inglés) en su versión nocturna. Este producto destaca la presencia de incendios en condiciones de cielo despejado o parcialmente nublado, aunque su efectividad disminuye con nubes espesas. Disponible tanto de día como de noche, utiliza bandas infrarrojas de onda corta y larga para resaltar áreas de altas temperaturas asociadas a incendios. Su comportamiento varía entre el día y la noche: durante el día, la señal cambia debido a la radiación solar reflejada en la banda de 3.9 μm , mientras que de noche, la ausencia de radiación solar permite una detección térmica más estable, facilitando la identificación de incendios activos. De esta manera, el producto permite monitorear incendios de forma continua, resaltando anomalías térmicas sin la interferencia de la luz solar, lo que asegura una vigilancia efectiva en condiciones nocturnas.

REFERENCIAS

- Andreae, M. O. y P. Merlet, 2001: Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, 15(4), 955-966. <https://doi.org/10.1029/2000GB001382>
- Bohren, C. F. y D. R. Huffman, 1983: Absorption and scattering of light by small particles. Wiley-Interscience. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9783527618156>
- Bond, T. C., S. J. Doherty, D. W. Fahey, P. M. Forster, T. Berntsen, B. J. DeAngelo, M. G. Flanner, S. Ghan, B. Kärcher y D. Koch, 2013: Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(11), 5380–5552. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50171>
- Brook, R. D., S. Rajagopalan, C. A. Pope III, J. R. Brook, A. Bhatnagar, A. V. Diez-Roux, F. Holguin, Y. Hong, R. V. Luepker y Mittleman, M. A. (2010). Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 121(21), 2331–2378. <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181dbee1>
- Chen, J., C. Li, Z. Ristovski, A. Milic, Y. Gu, M. S. Islam, y U. C. Dumka, 2017: A review of biomass burning: Emissions and impacts on air quality, health and climate in China. *Science of the Total Environment*, 579, 1000-1034. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.025>
- Chin, M., R. Kahn y S. Schwartz, 2009: Atmospheric Aerosol Properties and Climate Impacts: A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. Washington, DC: NASA_ https://tropo.gsfc.nasa.gov/SAP2.3/SAP2-3_final_20090304.pdf

³⁵ https://cimss.ssec.wisc.edu/ngfs/images/documentation/QuickGuide_NGFS_Microphysics_jao.pdf

- Chuvieco, E., 2009: Global Impacts of Fire. In: Chuvieco, E. (eds) *Earth Observation of Wildland Fires in Mediterranean Ecosystems*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01754-4_1
- Follette-Cook, M., P. Gupta, A. Prados, A. McCullum, J. Torres-Pérez, Z. Bengtsson, A. Mehta, E. Podest, S. McCartney, R. Field, E. Orland, B. Rios, B. Barrett y G. Raga, 2021: Observaciones de Satélites y Herramientas para el Riesgo, Detección y Análisis de Incendios. NASA Applied Remote Sensing Training Program (ARSET). <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/spanish/arset-observaciones-de-satelites-y-herramientas-para-el-riesgo>.
- Freitas, S. R., K. M. Longo, M. A. F. Silva Dias y co-autores, 2005: Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America. *Environ Fluid Mech* 5, 135–167. <https://doi.org/10.1007/s10652-005-0243-7>
- Ghirardelli, J. E. y B. Glahn, 2010: The Meteorological Development Laboratory's aviation weather prediction system. *Weather and Forecasting*, 25(4), 1027–1051. <https://doi.org/10.1175/2010WAF2222312.1>
- Henderson, S. B., M. Brauer, Y. C. MacNab y S. M. Kennedy, 2011: Three measures of forest fire smoke exposure and their associations with respiratory and cardiovascular health outcomes in a population-based cohort. *Environmental health perspectives*, 119(9), 1266-1271. <https://doi.org/10.1289/ehp.1002288>
- Peter V. Hobbs y co-autores, 1997: Direct Radiative Forcing by Smoke from Biomass burning. *Science* 275, 1777-1778. DOI: [10.1126/science.275.5307.1777](https://doi.org/10.1126/science.275.5307.1777)
- Huff, A. K., S. Kondragunta, H. Zhang, I. Laszlo, M. Zhou, V. Caicedo, R. Delgado y R. Levy, 2021: Tracking Smoke from a Prescribed Fire and Its Impacts on Local Air Quality Using Temporally Resolved GOES-16 ABI Aerosol Optical Depth (AOD). *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 38, 963–976, <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-20-0162.1>
- Ismanto, H., H. Hartono y M. A. Marfai, 2019: Smoke detections and visibility estimation using Himawari-8 satellite data over Sumatera and Borneo Island, Indonesia. *Spatial Information Research*, 27(2), 205–216. <https://doi.org/10.1007/s41324-018-0225-8>
- Kaskaoutis, D. G., S. Kumar, D. Sharma, R. P. Singh, D. K. Kharol, M. Sharma y D. Singh, 2014: Effects of crop residue burning on aerosol properties, plume characteristics, and long-range transport over northern India. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(9), 5424-5444. <https://doi.org/10.1002/2013JD021357>
- Ilan Koren I. y co-autores, 2004: Measurement of the Effect of Amazon Smoke on Inhibition of Cloud Formation. *Science* 303, 1342-1345. DOI: [10.1126/science.1089424](https://doi.org/10.1126/science.1089424)
- Koren I, Y. J. Kaufman, L. A. Remer y J. V. Martins, 2004: Measurement of the effect of Amazon smoke on inhibition of cloud formation. *Science*. 2004 Feb 27; 303(5662):1342-5. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1089424>
- Lu, X., X. Zhang, F. Li, M. A. Cochrane y P. Ciren, 2021: Detection of fire smoke plumes based on aerosol scattering using VIIRS data over global fire-prone regions. *Remote Sensing*, 13(2), 196. <https://doi.org/10.3390/rs13020196>
- Mo, Y., X. Yang, H. Tang y Z. Li, 2021: Smoke Detection from Himawari-8 Satellite Data over Kalimantan Island Using Multilayer Perceptrons. *Remote Sensing*, 13(18), 3721. <https://doi.org/10.3390/rs13183721>

Peterson, D. L., S. M. McCaffrey y T. Patel-Weynand, 2022: Wildland Fire Smoke in the United States: A Scientific Assessment. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-87045-4>

Rappold, A. G., S. L. Stone, W. E. Cascio, L. M. Neas, V. J. Kilaru, M. S. Carraway y R. B. Devlin, 2011: Peat bog wildfire smoke exposure in rural North Carolina is associated with cardiopulmonary emergency department visits assessed through syndromic surveillance. *Environmental health perspectives*, 119(10), 1415-1420. <https://doi.org/10.1289/ehp.1003206>

Remer, L. A. y co-autores, 2008: Global aerosol climatology from the MODIS satellite sensors, *J. Geophys. Res.*, 113, D14S07, doi:[10.1029/2007JD009661](https://doi.org/10.1029/2007JD009661).

Rong-Rong Li, Y. J. Kaufman, Wei Min Hao, J. M. Salmon and Bo-Cai Gao, "A technique for detecting burn scars using MODIS data," in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 42, no. 6, pp. 1300-1308, June 2004, doi: [10.1109/TGRS.2004.826801](https://doi.org/10.1109/TGRS.2004.826801)

Seinfeld, J. H. y S. N. Pandis, 2016: Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Spracklen, D. V., K. S. Carslaw, M. Kulmala, V. M. Kerminen, S. L. Sihto, I. Riipinen, J. Merikanto, G. W. Mann, M. P. Chipperfield y A. Wiedensohler, 2008: Contribution of particle formation to global cloud condensation nuclei concentrations. *Geophysical Research Letters*, 35(12), L12809. <https://doi.org/10.1029/2007GL033038>

Videla, F. C., F. Barnaba, F. Angelini, P. Cremades y G. P. Gobbi, 2013: The relative role of Amazonian and non-Amazonian fires in building up the aerosol optical depth in South America: A five year study (2005–2009). *Atmospheric Research*, 122, 298-309. Elsevier Science Inc. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.10.026>

Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía (rdelia@smn.gov.ar), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martin Rugna (mrugna@smn.gov.ar) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo (macevedo@smn.gov.ar).