

Febrero 2025

INFORME

Calidad del aire

 www.imn.ac.cr
 imn@imn.ac.cr
 +(506)2222-5616

Apdo. postal: 5583-1000

Calle 17, avenida 9
San José, Costa Rica

**Edición general y
análisis:**

Daniel Poleo Brito



RESUMEN TÉCNICO

Daniel Alejandro Poleo Brito
Departamento de Desarrollo
Instituto Meteorológico Nacional

RESUMEN

Las características de la calidad del aire en diciembre varían en la mayor parte del Valle Central, de las 7 estaciones de medición de calidad de aire para los diferentes gases se observó gran estabilidad en la mayoría de los gases, con excepción de grandes concentraciones de NO₂ en la estación de la Fabio Baudrit en Alajuela.

Por otro lado, se presentó un incremento de particulado PM_{2.5} y PM₁₀ la última semana de diciembre en toda el Gran área Metropolitana (GAM) presentando valores sobre los 40 µg/m³.

1. Introducción

La atmósfera terrestre, un recurso vital para la sustentación de la vida, constituye una mezcla gaseosa estratificada. Su composición volumétrica predominante incluye un 78% de nitrógeno (N₂) y un 21% de oxígeno (O₂), complementada por trazas de gases nobles como el argón (Ar), dióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua (H₂O). Esta composición atmosférica permite la respiración aeróbica esencial para la fisiología de numerosas especies. No obstante, la introducción de sustancias exógenas, denominadas contaminantes atmosféricos, puede perturbar este equilibrio homeostático, desencadenando efectos adversos tanto en la salud biológica como en la integridad del medio ambiente (García & López, 2020).

La contaminación atmosférica se define como la incorporación a la atmósfera de agentes físicos, químicos o biológicos que alteran su composición natural. Estos agentes pueden originarse a partir de fuentes naturales, tales como erupciones volcánicas (emisión de material particulado y gases), incendios forestales (liberación de productos de la combustión incompleta) y la descomposición anaeróbica de la materia orgánica (generación de metano, CH₄). Adicionalmente, las actividades antropogénicas representan una fuente significativa de emisiones contaminantes, incluyendo la combustión de combustibles fósiles en procesos industriales, generación de energía y transporte, así como emisiones fugitivas de diversas actividades productivas (Smith et al., 2018). Los contaminantes atmosféricos se clasifican en primarios, emitidos directamente a la atmósfera, y secundarios, formados mediante transformaciones fotoquímicas y químicas de los contaminantes primarios en la matriz atmosférica.

Entre los principales contaminantes atmosféricos regulados a nivel global se encuentran el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x, incluyendo principalmente el monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂)), el dióxido de azufre (SO₂), el ozono troposférico (O₃) y el material particulado

(PM₁₀ y PM_{2.5}). Particularmente, las partículas finas (PM_{2.5}), debido a su diámetro aerodinámico reducido, presentan la capacidad de penetrar profundamente en el sistema respiratorio, alcanzando los alvéolos pulmonares e incluso ingresar al sistema circulatorio, incrementando la prevalencia de patologías respiratorias y cardiovasculares (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2021).

Un fenómeno sinérgico de alta relevancia en la contaminación atmosférica urbana es el smog fotoquímico. Este evento complejo se genera a partir de la interacción fotoquímica entre contaminantes primarios, principalmente óxidos de nitrógeno e hidrocarburos volátiles, en presencia de radiación solar de onda corta. Esta interacción cataliza la formación de oxidantes secundarios, siendo el ozono troposférico el componente principal, generando una capa de polución fotoquímica que deteriora la calidad del aire a nivel superficial. Este fenómeno es prevalente en centros urbanos con alta densidad de tráfico vehicular, contribuyendo significativamente a la morbilidad respiratoria y a la degradación de los ecosistemas urbanos (Molina & Rowland, 1974).

Los efectos de la exposición a contaminantes atmosféricos en la salud humana son multifactoriales y están modulados por la concentración del contaminante, la duración de la exposición y la susceptibilidad individual. Evidencia epidemiológica robusta asocia la exposición a dióxido de azufre y material particulado con un aumento en la incidencia y exacerbación de enfermedades pulmonares obstructivas. Asimismo, el dióxido de nitrógeno y el ozono troposférico pueden inducir inflamación de las vías aéreas y una disminución de la función pulmonar (EPA, 2019). A largo plazo, la exposición crónica a estos agentes puede predisponer al desarrollo de enfermedades crónicas como asma, carcinoma pulmonar y enfermedades cardiovasculares. Investigaciones recientes sugieren una correlación entre la exposición a la contaminación atmosférica y el incremento en la prevalencia de enfermedades neurodegenerativas, como la enfermedad de Alzheimer y la enfermedad de Parkinson, posiblemente mediado por mecanismos de estrés oxidativo e inflamación crónica en el sistema nervioso central (Calderón-Garcidueñas et al., 2015).

Adicionalmente, se ha documentado un impacto adverso significativo en la salud maternoinfantil. Estudios epidemiológicos han demostrado que la exposición prenatal a niveles elevados de contaminantes atmosféricos se asocia con un mayor riesgo de parto prematuro, bajo peso al nacer y alteraciones en el desarrollo neurocognitivo infantil (Vrijheid et al., 2016). Asimismo, la contaminación del aire ha sido implicada en la etiopatogenia de la diabetes mellitus tipo 2 y la obesidad, posiblemente a través de la modulación de la respuesta inflamatoria sistémica y la disrupción del metabolismo glucídico (Brook et al., 2010).

Más allá de los efectos en la salud humana, la contaminación atmosférica ejerce un impacto deletéreo sobre el medio ambiente. La deposición ácida, resultante de la transformación atmosférica de óxidos de azufre y nitrógeno, acidifica los ecosistemas terrestres y acuáticos, provocando la degradación de suelos, la deforestación y la alteración de la biota acuática. Adicionalmente, ciertos contaminantes atmosféricos, como el dióxido de carbono y el metano, son gases de efecto invernadero que contribuyen significativamente al forzamiento radiativo positivo, exacerbando el calentamiento global y alterando los patrones climáticos a escala planetaria (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2022).

Para evaluar la calidad del aire, se han desarrollado sistemas de monitoreo que permiten medir la concentración de contaminantes en diferentes regiones. Estos sistemas utilizan estaciones de medición distribuidas en áreas urbanas e industriales y generan índices de calidad del aire, los cuales ayudan a determinar si las condiciones atmosféricas son seguras para la población (González et al., 2017). En muchos países, existen regulaciones ambientales que establecen límites permisibles de contaminantes y estrategias para reducir sus emisiones.

En Costa Rica se guía bajo un marco normativo y político que se ha venido desarrollando hace años en la región, bajo la dirección del Ministerio del Ambiente y Energía y el ministerio de Salud.

2. Marco normativo y político

En Costa Rica, la calidad del aire es regulada por la normativa vigente, que establece límites para contaminantes clave como las partículas PM_{2.5} y PM₁₀, el ozono (O₃) y el dióxido de nitrógeno (NO₂). El objetivo de este informe es analizar la calidad del aire registrada durante un período específico y evaluar su cumplimiento con las normas costarricenses y las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS), identificando áreas de mejora y recomendaciones para la gestión ambiental.

Los **límites de calidad del aire establecidos por el Ministerio de Salud de Costa Rica** son específicos para cada contaminante criterio y están diseñados para prevenir impactos adversos en la salud, especialmente en poblaciones vulnerables como niños, adultos mayores y personas con enfermedades respiratorias. Por ejemplo, para el material particulado fino (PM_{2.5}), se establece un promedio anual permisible de 15 µg/m³ y un promedio diario de 25 µg/m³. Estas concentraciones son consistentes con los estándares internacionales y se actualizan periódicamente para reflejar el avance en las investigaciones científicas. El Ministerio también supervisa la implementación de sistemas de vigilancia en las principales áreas urbanas y coordina acciones con otras instituciones para garantizar el cumplimiento normativo.

Las **directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS)** aplicables en Costa Rica establecen valores guía para periodos de exposición cortos y largos, orientados a minimizar el riesgo de enfermedades respiratorias y cardiovasculares asociadas con la contaminación. Estas directrices recomiendan valores más estrictos que las

normativas nacionales en algunos casos, como un promedio anual de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $\text{PM}_{2.5}$ y de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para NO_2 . Costa Rica ha adoptado progresivamente estas recomendaciones, incorporándolas como metas a largo plazo en su legislación ambiental. Además, las directrices de la OMS fomentan el desarrollo de políticas integrales de calidad del aire que consideren fuentes móviles, industriales y naturales de contaminación.

A continuación, se presenta un cuadro con los valores límite para los principales contaminantes criterio establecidos en el **Reglamento de Calidad del Aire para Contaminantes Criterio** de Costa Rica, según el Decreto Ejecutivo No. 39951-S.

Cuadro 1. Valores límites regionales para cada contaminante

Contaminante	Promedio de Tiempo	Valor Límite
Material Particulado (PM_{10})	Promedio anual	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	Promedio de 24 horas	$75 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Material Particulado ($\text{PM}_{2.5}$)	Promedio anual	$15 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	Promedio de 24 horas	$25 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Ozono (O_3)	Promedio de 8 horas	$100 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	Promedio anual	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	Promedio de 1 hora	$200 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Dióxido de Azufre (SO_2)	Promedio de 24 horas	$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	Promedio de 1 hora	$500 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Monóxido de Carbono (CO)	Promedio de 8 horas	$10 \text{mg}/\text{m}^3$
	Promedio de 1 hora	$30 \text{mg}/\text{m}^3$

Estos valores están diseñados para proteger la salud pública y el medio ambiente, estableciendo límites máximos de concentración en el aire ambiente para cada contaminante.

Es importante destacar que estos límites se alinean con las recomendaciones internacionales y buscan minimizar los riesgos asociados a la exposición a estos contaminantes.

ICCA	Color	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	O ₃ (ppm)	SO ₂ (ppm)
0 - 20	Verde	0 - 60	0 - 15	0 - 5.50	0 - 0.105	0 - 0.055	0 - 0.065
21 - 40	Amarillo	61 - 100	15.1 - 40	5.51 - 11.0	0.106 - 0.210	0.056 - 0.110	0.066 - 0.130
41 - 60	Anaranjado	101 - 200	40.1 - 65	11.01 - 16.5	0.211 - 0.315	0.111 - 0.165	0.131 - 0.195
61 - 80	Rojo	201 - 250	66 - 100	16.51 - 22.0	0.316 - 0.420	0.166 - 0.220	0.196 - 0.260
81 - 100	Púrpura	> 250	> 100	> 22.0	> 0.420	> 0.220	> 0.260

ICCA	Descripción de la calidad del aire	Color	Ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Monóxido de Carbono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dióxido de Azufre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dióxido de Nitrógeno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0 - 20	Buena	Verde	0 - 107.98	0 - 54	0 - 5037.54	0 - 88.66	0 - 193.92
21 - 40	Desfavorable para grupos sensibles	Amarillo	107.99 - 139.98	55 - 154	5037.55 - 10755.08	88.67 - 375.45	193.93 - 387.84
41 - 60	Desfavorable	Anaranjado	139.99 - 170.04	155 - 254	10755.09 - 14199.93	375.46 - 584.70	387.85 - 699.64
61 - 80	Muy desfavorable	Rojo	170.05 - 207.30	255 - 354	14200.00 - 17544.78	584.71 - 793.96	699.65 - 1261.45
81 - 100	Peligrosa	Púrpura	> 207.30	> 355	> 17544.78	> 793.96	> 1261.45

Figura 2. Escalas de las concentraciones límites para el índice costarricense de calidad del aire (ICCA)

ICCA	Descripción de la calidad del aire	Color	Ozono (ppm)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Monóxido de Carbono (ppm)	Dióxido de Azufre (ppm)	Dióxido de Nitrógeno (ppm)
0 - 20	Buena	Verde	No se requieren acciones preventivas. Se mantiene la vigilancia habitual y el monitoreo continuo.	Igual para todos los contaminantes.	Igual para todos los contaminantes.	Igual para todos los contaminantes.	Igual para todos los contaminantes.
21 - 40	Desfavorable para grupos sensibles	Amarillo	Informar a grupos sensibles (niños, adultos mayores, personas con enfermedades respiratorias). Reducir actividades físicas al aire libre.	Reforzar el monitoreo del aire y la comunicación con grupos vulnerables.	Informar sobre posibles efectos adversos en grupos sensibles.	Evitar exposición prolongada en zonas cercanas a fuentes emisoras.	Reforzar acciones de mitigación en fuentes móviles e industriales cercanas.
41 - 60	Desfavorable	Anaranjado	Emitir alertas de precaución para toda la población. Restringir actividades al aire libre, especialmente en horas de máxima exposición.	Implementar restricciones leves en fuentes móviles e industriales.	Reducir la operación de vehículos altamente contaminantes.	Limitar operaciones industriales con altas emisiones.	Aplicar medidas restrictivas a fuentes contaminantes locales.
61 - 80	Muy desfavorable	Rojo	Prohibir actividades físicas al aire libre. Reforzar campañas de salud pública para minimizar la exposición.	Aplicar restricciones severas en zonas críticas. Reducir significativamente el tránsito vehicular.	Implementar planes de contingencia de movilidad urbana.	Suspender operaciones industriales intensivas en emisiones.	Aplicar sanciones a fuentes que excedan los límites normativos.
81 - 100	Peligrosa	Púrpura	Declarar emergencia ambiental. Suspender completamente actividades al aire libre. Reubicar temporalmente a personas vulnerables.	Detener actividades industriales y restringir completamente la circulación vehicular en áreas	Activar planes de emergencia en hospitales y servicios de salud.	Ordenar el cese temporal de actividades industriales críticas.	Prohibir operaciones en fuentes emisoras.

Figura 2. Escalas de del índice costarricense de calidad del aire (ICCA) y las recomendaciones de acción para cada uno de los gases y particulado analizado.

1.1 Metodología

El presente análisis de la calidad del aire se fundamenta en datos primarios obtenidos de estaciones de monitoreo ambiental, los cuales comprenden mediciones diarias y representaciones gráficas de diversos parámetros relevantes. Específicamente, se incorporaron datos de concentración de material particulado fino (PM2.5), el percentil 98 de estas concentraciones como indicador de episodios de alta contaminación, y promedios móviles de 8 horas para evaluar la exposición a corto plazo. La adquisición de estos datos se realizó mediante instrumentación de monitoreo continuo, calibrada para registrar las concentraciones de contaminantes atmosféricos con una frecuencia de muestreo de 15 segundos, cuyos valores fueron posteriormente agregados temporalmente para obtener promedios de 15 minutos, horarios, de 8 horas y diarios.

La información resultante fue visualizada a través de representaciones gráficas codificadas por color (verde, amarillo, naranja, rojo) para facilitar la interpretación del estado de la calidad del aire. El procesamiento analítico incluyó la comparación de los niveles promedio diarios de PM2.5 con el umbral normativo de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido por la legislación costarricense para contaminantes criterio. Adicionalmente, se efectuó el cálculo y análisis del percentil 98 de PM2.5 para la identificación de jornadas con concentraciones elevadas. El conjunto de datos también comprendió las concentraciones de otras especies químicas de interés para la evaluación integral de la calidad del aire, incluyendo PM1, PM10, ozono (O3), sulfuro de hidrógeno (H2S), monóxido de nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO2), monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO2). Esto se puede resumir en:

1. **Fuentes de datos:** Se utilizaron datos generados a partir de gráficos y mediciones diarias de la calidad del aire proporcionadas por estaciones de monitoreo. Estas incluyen niveles de PM2.5, percentiles 98 y promedios móviles de 8 horas.
2. **Técnicas de monitoreo:** Los datos fueron obtenidos mediante instrumentos calibrados para medir la concentración de contaminantes en el aire cada 15 segundos, se hacen promedios cada 15 minutos, 1 hora, 8 horas y 24 horas. La información fue representada en gráficos que emplean colores para categorizar la calidad del aire (verde, amarillo, naranja, rojo).
3. **Cálculos realizados:** Los niveles promedio de PM2.5 se compararon con el límite diario de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido por la normativa costarricense del reglamento de contaminantes criterio. También se

analizó el percentil 98 para identificar días con niveles de contaminación elevados. Se Calcula también PM1, PM10, O₃, H₂S, NO, NO₂, CO, SO₂

$$I_p = \left(\frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} \right) \times (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

Donde:

- I_p : Índice para el contaminante p .
 - C_p : Concentración medida para el contaminante p .
 - BP_{Hi} : Punto de corte mayor o igual a C_p .
 - BP_{Lo} : Punto de corte menor o igual a C_p .
 - I_{Hi} : Valor del Índice de Calidad del Aire correspondiente a BP_{Hi} .
 - I_{Lo} : Valor del Índice de Calidad del Aire correspondiente a BP_{Lo} .
4. **Ubicación:** Se registran 7 estaciones en La UCR (Núcleo Fabio Baudrit) 1777, CTP-Belén 1775, Municipalidad de Santa Ana 1735, Núcleo experimental de UNA 1776, San José IMN 1637, CIGEFI-UCR 1653, TEC Cartago 1762.
5. **Patrones meteorológicos:** Se analizó la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y la oscilación Ártica (AO) con el fin de determinar las condiciones favorables para desplazamiento de masas de polvo del Sahara.



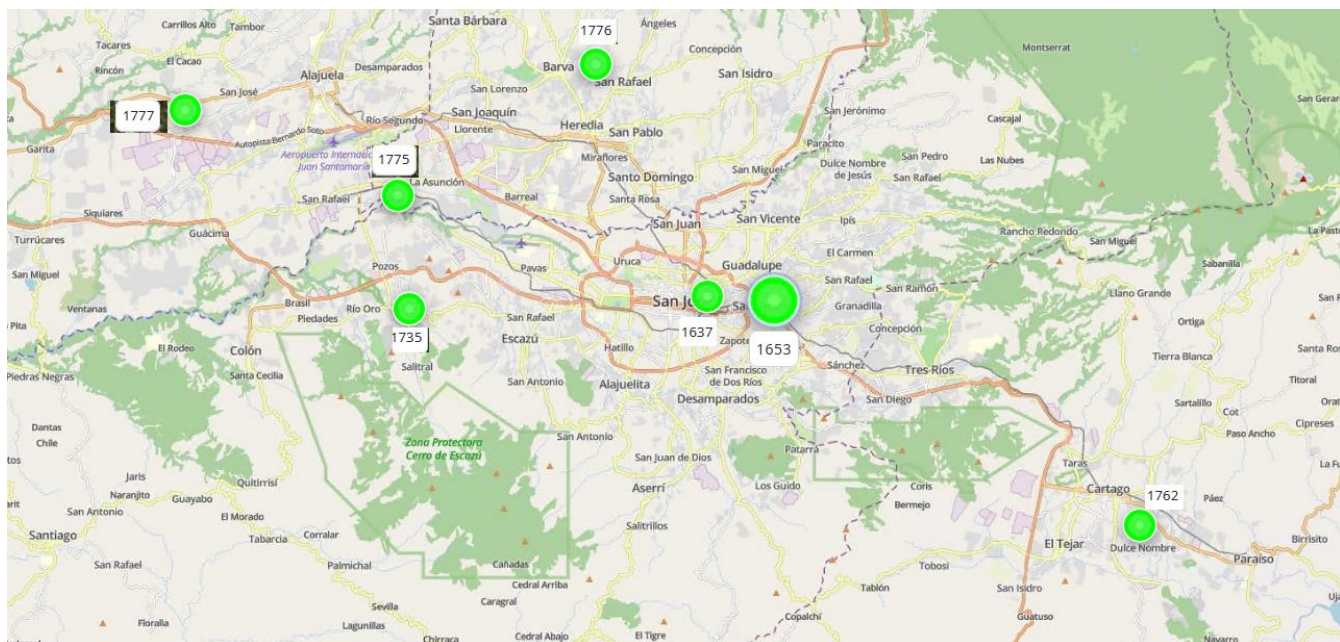


Figura 3. Ubicación de las estaciones de calidad del aire a lo largo del GAM en Costa Rica.

1.2 Resultados

1.2.1 Indicadores de calidad del aire por región:

- Colores predominantes: En febrero, los colores verde y amarillo fueron predominantes, lo que indica que la calidad del aire fue mayormente buena o moderada en todo el Valle Central, siendo la segunda quincena de febrero donde hubo mayor presencia de contaminantes, principalmente particulado. Sin embargo, se registraron días con colores naranja, asociados a episodios de contaminación elevada.
- PM2.5: En algunas regiones, los niveles de PM2.5 superaron los $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en días específicos, particularmente en la segunda quincena de febrero, posiblemente debido a factores como incendios forestales y tráfico vehicular.
- Percentil 98: En ciertos casos, este indicador superó los límites normativos, evidenciando eventos de contaminación puntuales en particular en Belén después del 9 de febrero y en la mayoría del oeste del Valle Central después del 24.

1.2.2 Contaminantes analizados:

- PM2.5 y PM10: Se identificaron niveles elevados en algunas en el oeste, siendo más persistente en la región de Belén.
- Ozono (O_3): En días específicos, las concentraciones de ozono alcanzaron valores que podrían ser irritantes para personas sensibles, pero la mayor parte del mes estuvo entre valores normales.
- Dióxido de Nitrógeno (NO_2): En general, las concentraciones de NO_2 se mantuvieron dentro de los límites aceptables, aumentando en zonas con tráfico denso como el sector de Alajuela y Belén el 25 de febrero.

1.2.3 Análisis comparativo

1. **Normativa costarricense:** Los días con niveles de PM_{2.5} superiores a 25 µg/m³ representan un incumplimiento de la normativa nacional.
2. **Guías de la OMS:** Las recomendaciones de la OMS son más estrictas; incluso niveles considerados "moderados" por la normativa local podrían tener implicaciones para la salud humana según los estándares internacionales.

1.3 Datos y Análisis del ICCA

Las figuras 4 y 5 se presenta el ICCA semanalmente, desde la primera semana de febrero (27 de enero al 2 de marzo) hasta la segunda de febrero, representando en colores según se indica en el reglamento de contaminantes criterio.

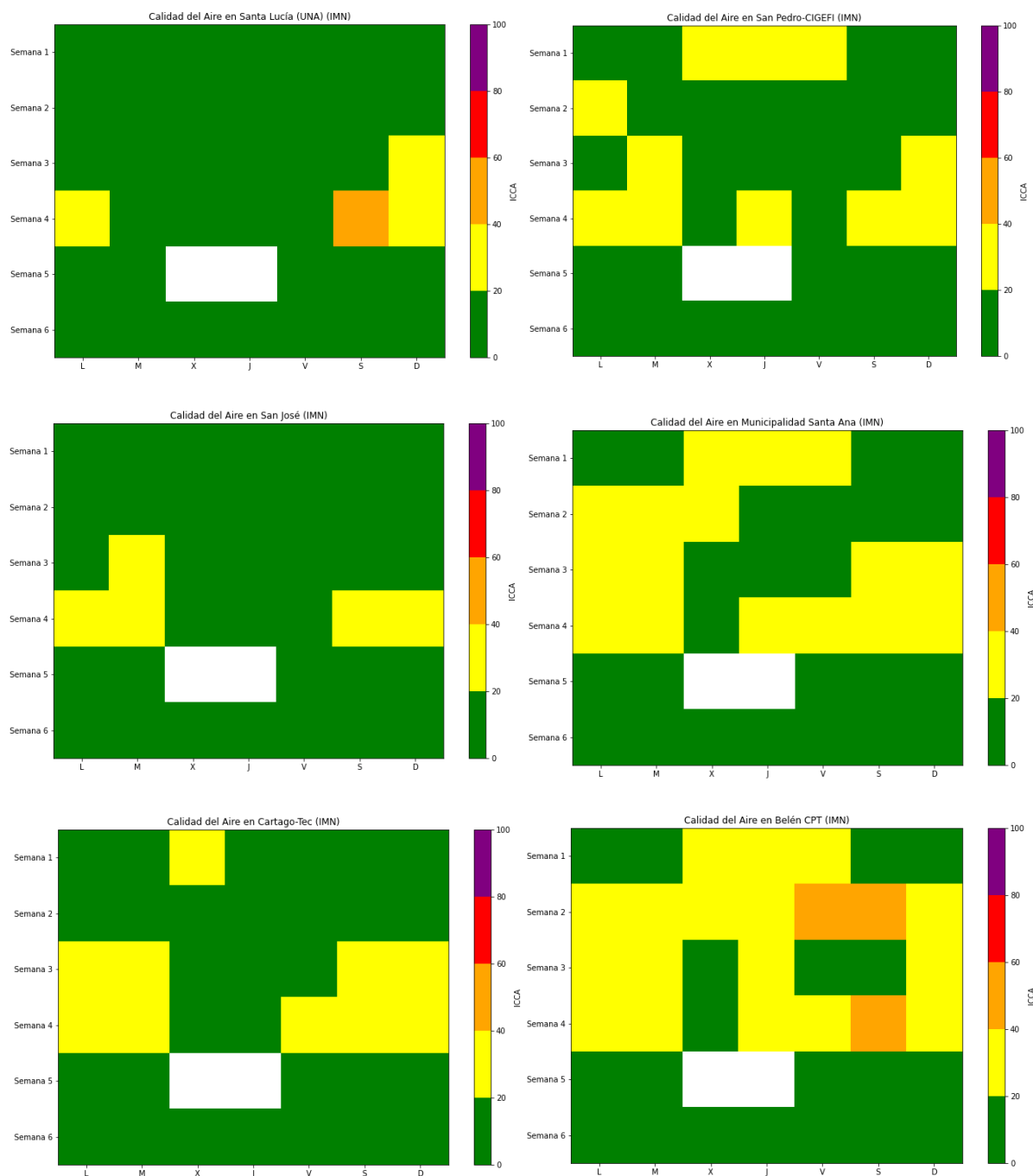


Figura 4. Índice Costarricense de Calidad del aire diario (24 horas) durante febrero 2025

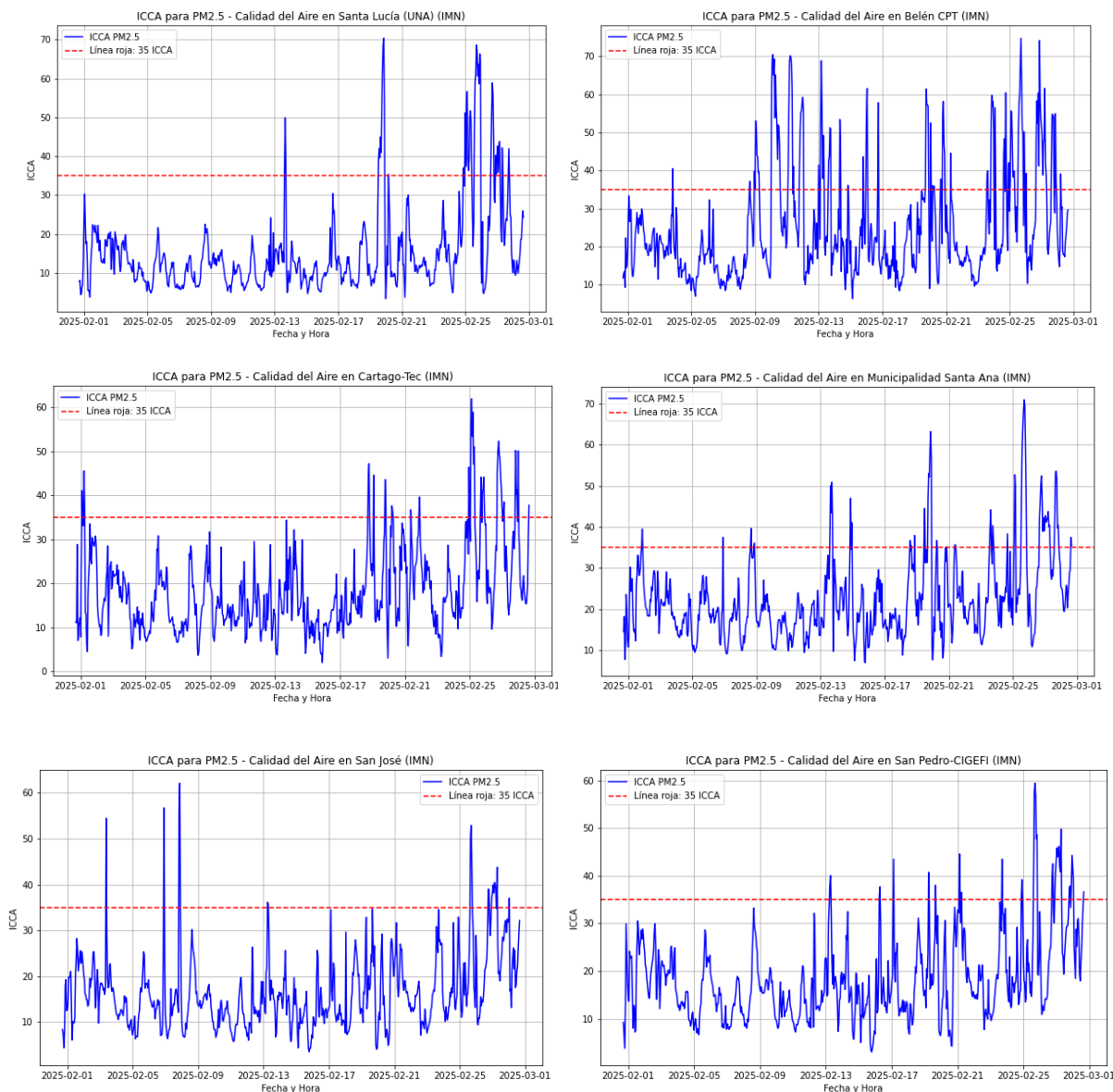


Figura 5. Índice Costarricense de Calidad del aire horario durante febrero 2025. *ICCA_PM25_horario*.

Nuevamente se indica según la metodología usada que el índice costarricense de Calidad del aire se calculó sobre la base del reglamento de contaminantes criterio, con base en ello la calidad del aire en el Valle Central y el Área Metropolitana de Costa Rica se monitoreó a través de siete estaciones estratégicamente ubicadas: San José-IMN (1637), CIGEFI-San Pedro (1653), TEC Cartago (1762), Municipalidad de Santa Ana (1735), CTP-Belén (1775) y Núcleo Experimental de la UNA EN Santa Lucía de Heredia (1776), la estación del Núcleo Fabio Baudrit estuvo en mantenimiento durante el mes.

Cada una de estas estaciones permitió evaluar las variaciones en la calidad del aire durante el mes de febrero y las primeras semanas de febrero de 2025.

En particular, la estación 1637, ubicada en San José, mostró índices de calidad del aire con base a particulado, muy altos el 2, 6 y 7 de febrero, esto en particular no se evidenció en la mayoría de las estaciones, durante las primeras horas del día y con valores en el ICCA sobre los 55, siendo desfavorable en la escala. El resto del mes, San José estuvo con valores menores a 30 en la escala de ICCA, representando valores buenos. Se presume que estos valores desfavorables para el índice de Calidad del aire pudieron haber sido generados por factores locales, debido a que no se evidencia presencia de masas de polvo en la región.

Este patrón también fue evidente en la estación 1653 (CIGEFI-UCR), lo que sugiere la influencia de actividades humanas y factores meteorológicos en la acumulación de contaminantes durante los últimos días de febrero, principalmente la presencia de calima consecuencia de incendios forestales. Esta zona de San Pedro de Montes de Oca también estuvo entre los rangos normales el resto del mes.

Por otro lado, la estación 1777 (Núcleo Fabio Baudrit, UCR) estuvo en mantenimiento durante todo el mes de febrero de 2025, por lo que se descartaron los datos para este período.

Las estaciones del Valle Central que reflejan una clara relación entre las condiciones locales (como el tráfico vehicular y la quema de residuos) y los picos de contaminación. La estación que presentó valores más altos y frecuentemente sobre lo normal fue la ubicada en Belén-CTP (1775) esta estación entre el 9 y 11 de febrero, 17-22 y a finales de febrero, presentó valores que superaban los 50 y 70 del ICCA, representando condiciones muy desfavorables para la calidad del aire respecto a particulado. Es de resaltar este punto porque fue el único que se mantuvo en reiteradas ocasiones con este comportamiento, no evidenciado durante el mes de diciembre. Al menos 12 días de febrero presentó valores por encima de la norma y en 8 días diferentes del mes presentó condiciones entre desfavorables y muy desfavorables.

Es probable que estos valores tan elevados de Belén al estar asociado con particulado, se deban a tránsito pesado vehicular, emisiones locales de chimeneas industriales o factores de emisión muy localizadas en la zona. Este comportamiento no se evidenció en el resto del Valle Central.

Por ejemplo, la estación del TEC en Cartago (1762) registraron episodios puntuales de niveles elevados en el ICCA durante 6 episodios del mes, sin embargo, no superando valores de 40 en el índice. Asimismo, Santa Lucía

de Heredia los días 11, 13 y 21 presentó valores sobre 40 del ICCA, pero fueron eventos puntuales, asociados a condiciones locales.

Es crucial fortalecer las capacidades de monitoreo y análisis para identificar patrones más detallados y diseñar políticas públicas efectivas que permitan mitigar los riesgos asociados con la contaminación del aire. En este contexto, las estaciones mencionadas ofrecen una base sólida para un monitoreo continuo y estratégico en áreas críticas del país.

3. Gases y Particulado general

Durante el mes de febrero 2025 se observó un comportamiento variado del particulado en el GAM de Costa Rica, la mayoría de las estaciones tuvieron un comportamiento similar, los días 1, 9-11 y 19 de febrero donde se presentaron valores elevados sobre los 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el resto del mes la mayoría de estaciones presentaron valores bajos de particulado.

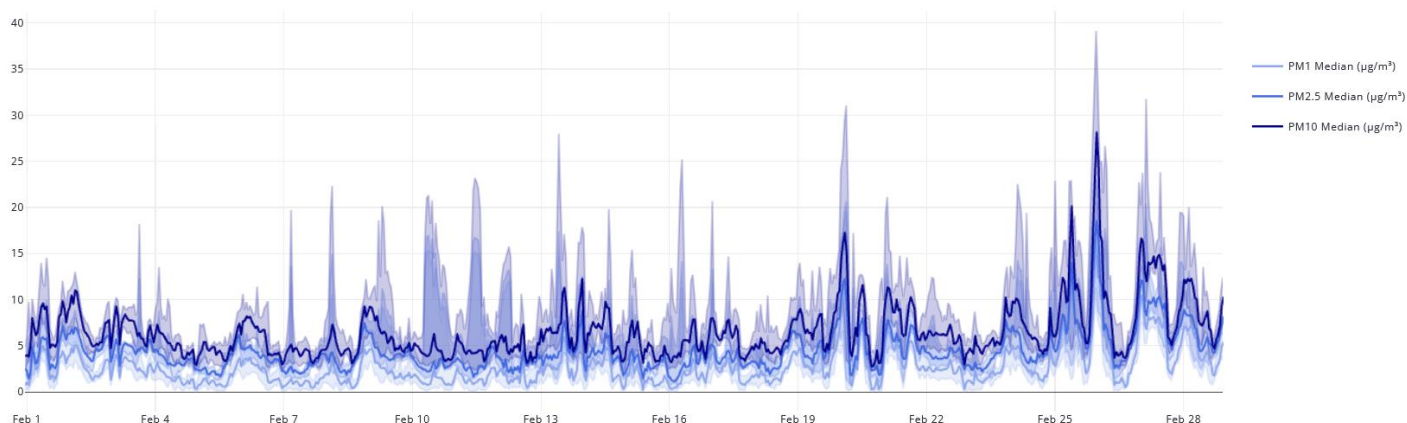


Figura 6. Particulado promedio del GAM (percentil 98) horario para el mes de febrero 2025

Durante el mes de febrero 2025 se observó un comportamiento variado de los gases contaminantes en el Valle Central, el ozono no se incrementó, sino que tuvo una menor dispersión en los datos de febrero, manteniéndose valores entre 60 y 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los Niveles elevados de Ozono coincidieron con un incremento de las ráfagas y vientos alisios.

Los que presentaron mayor concentración de los contaminantes NO_2 , en los períodos de hora pico los días 24-26 de febrero, muy por encima de 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (figura 7) encima de los rangos y parámetros sugeridos en el reglamento de contaminantes criterio, principalmente al oeste del Valle Central.

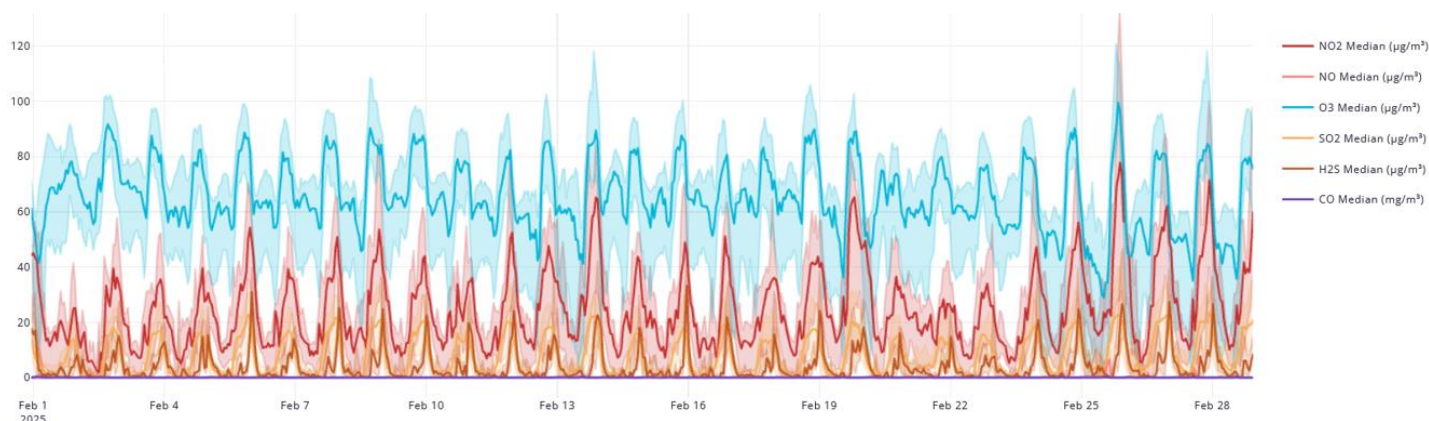


Figura 7. Gases promedio en el GAM (percentil 98) horario para el mes de febrero 2025 (NO_2 , O_3 , SO_2 , H_2S , CO).

4. Polvo del Sahara

La NAO estuvo la mayor parte del mes en fases positiva, aunque negativa en los primeros días, inhibiendo que se presentaron masas de polvo en la región, aunque se favorecen el desplazamiento de masas de polvo a la región la presencia de sistemas frontales evitó el arribo a la Centroamérica, por lo que se descartan sistemas sinópticos y de transporte de polvo.

4.1. Oscilación Ártica y Oscilación del Atlántico Norte:

Durante los meses invernales en el hemisferio norte –febrero a marzo–, la Oscilación Ártica y Oscilación Atlántico Norte (AO y NAO respectivamente), tienen una influencia importante en la incursión de empujes fríos desde el norte del América hacia el Mar Caribe.

La AO es una oscilación de la presión atmosférica entre latitudes polares y latitudes medias, que fluctúa entre fases negativa y positiva. La fase negativa produce un aumento en la presión atmosférica sobre la región polar y una disminución de la presión alrededor de la latitud 45°N , permitiendo que los empujes fríos migren hacia el sur hasta alcanzar latitudes tropicales; por el contrario, en la fase positiva los empujes fríos permanecen en el norte del continente.

Por su parte, la NAO es una oscilación que relaciona la presión atmosférica entre el sistema de alta presión subtropical de las Azores en el Océano Atlántico y el sistema de baja presión semiestacionario de Islandia. La fase positiva ocasiona que los empujes que llegan al Golfo de México no ingresen al Mar Caribe y, por el contrario, en la fase negativa está relacionada con el ingreso de los empujes fríos hasta el sur de la cuenca.

Durante la mayor parte de febrero (figura 8), ambas oscilaciones tuvieron un comportamiento positivo los primeros días del mes y negativo entre el 5 -14, esto favorece las condiciones de alta presión en la región favoreciendo una tropopausa más baja y con ello una mayor concentración de los contaminantes, especialmente el particulado generado por incendios forestales y polvo en el aire.

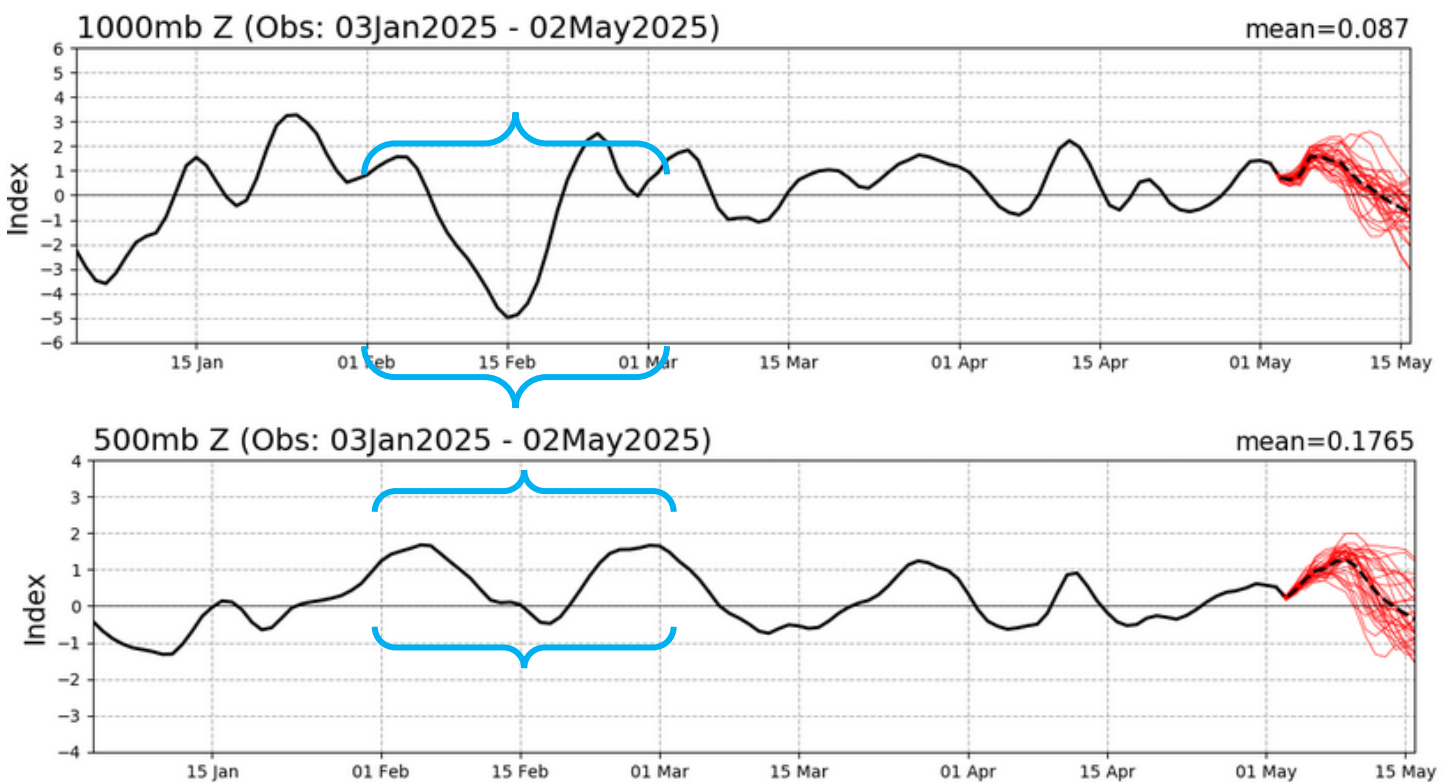


Figura 8. Variación del índice de las oscilaciones Ártica (arriba) y Atlántico Norte (abajo) durante el periodo de febrero de 2025 (valores entre corchetes celestes). Fuente: Climate Prediction Center-NOAA.

4. Incendios forestales y Calima

Durante los meses invernales en el hemisferio norte –febrero a marzo-, la Oscilación Ártica y Oscilación Atlántico Norte (AO y NAO respectivamente), tienen una influencia importante en la incursión de empujes fríos desde el norte del América hacia el Mar Caribe. Este mes no se presentaron incendios importantes en la región,

hubo una reducción significativa de incendios respecto a 2024 región consecuencia de la humedad presente en los suelos, por lo que hubo poco arrastre de partículas de ceniza ni Pyrocúmulonimbus, que contribuye a la presencia de calima y a una disminución importante de la calidad del aire, asimismo se evidencia que el polvo en la región fue menor de lo que normalmente se presenta para la época.

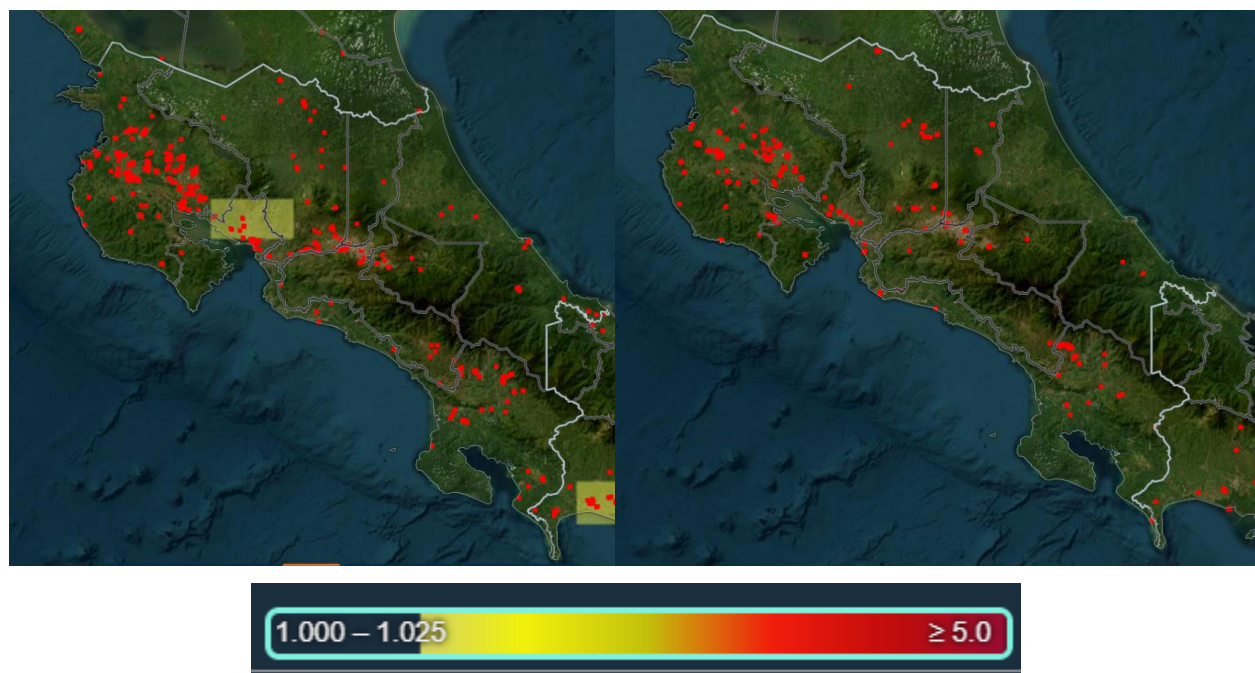


Figura 9. Puntos calientes incendios y espesor óptico de aerosoles (pirocúmulos) detectados entre 1-28 Febrero (izquierda 2024 y derecha 2025). Fuente: Satélite VIIRS NOAA-20 y VIIRS S-NPP, FIRMS NASA.

Referencias

- Brook, R. D., Rajagopalan, S., Pope, C. A., Brook, J. R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A. V., . & Kaufman, J. D. (2010). Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 121(21), 2331-2378.
- Calderón-Garcidueñas, L., Kavanaugh, M., Block, M., D'Angiulli, A., Delgado-Chávez, R., & Torres-Jardón, R. (2015). Air pollution, cognitive deficits and brain abnormalities: A pilot study with children and dogs. *Brain and Cognition*, 77(3), 345-355.
- Environmental Protection Agency (EPA). (2019). Health effects of air pollution. Recuperado de <https://www.epa.gov/air-research/health-effects-air-pollution>
- García, R., & López, M. (2020). *Contaminación atmosférica y sus efectos en la salud*. Editorial Científica.
- González, A., Pérez, J., & Ramírez, L. (2017). Monitoreo de la calidad del aire en zonas urbanas. *Revista de Ciencias Ambientales*, 15(2), 89-102.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). Climate change and its impact on global health. Recuperado de <https://www.ipcc.ch>
- Molina, M. J., & Rowland, F. S. (1974). Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: Chlorine atom-catalysed destruction of ozone. *Nature*, 249(5460), 810-812.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). Air pollution and health. Recuperado de [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Smith, J., Brown, P., & Taylor, K. (2018). Industrial emissions and environmental health risks. *Environmental Research Journal*, 12(4), 278-294.
- Vrijheid, M., Casas, M., Gascon, M., Valvi, D., & Nieuwenhuijsen, M. (2016). Environmental pollutants and child health—a review of recent concerns. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 220(2), 21-28.

