

Calidad del Aire en el Conurbano Sur de la Ciudad de Buenos Aires, Argentina



Pablo Lacabana

Es licenciado en Biología y magíster en Ciencias Ambientales. Se ha especializado en Planificación Ambiental y Social con Sistemas de Información Geográfica como herramienta principal. Ha sido profesor de la Maestría en Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Universidad Nacional de Quilmes (UNQ). Es director de dicha maestría. También es profesor de grado en el Departamento de Economía y Administración y en el de Ciencia y Tecnología de la UNQ. En sus últimas investigaciones enfatiza los estudios de territorios vulnerables y cambio climático.



Miguel Lacabana

Es licenciado en Economía, es doctor en Ciencias Sociales y postdoctorado por la University College of London. Es Profesor Titular de Economía Ecológica en niveles de grado y posgrado. Es profesor visitante del Dipartimento di Scienze per l'Economia e l'Impresa Università Degli Studi Firenze. Es director del Programa Interdisciplinario de Ambiente (PIIdISA/UNQ). Es coordinador científico del proyecto Erasmus + HEADCET (Higher Education pArtnerships for sustainable local Development through Circular Economy and social innovaTion). Es experto en estudios de la relación Sistema económico-Sistema natural a partir de los cuales tiene publicaciones en libros y revistas científicas.

Introducción

Este artículo presenta resultados del Proyecto PICT-CON-USUR 2021 “Calidad del aire y salud ambiental en el Conurbano sur con énfasis en Quilmes y Avellaneda y en sus barrios populares, comparación del antes (2018), el durante (2020) y después de la pandemia (2022)”. Para aportar a la implementación de la iniciativa “Aires Nuevos para la Primera Infancia”, el antecedente es el Convenio de Cooperación entre la Universidad Nacional de Quilmes (UNQ) y la Fundación Horizonte Ciudadano (FHC, 2020).¹

En este artículo se busca colaborar con la generación de información sobre calidad del aire y el diseño de intervenciones a nivel local orientados a disminuir la exposición de niñas y niños a la contaminación del aire. En la primera etapa de esta iniciativa participó activamente la Municipalidad de Quilmes (provincia de Buenos Aires, Argentina), que ha recibido sensores de bajo costo provistos por la FHC y los ha instalado en cinco jardines de infantes localizados en su territorio.²

En principio, tal como muestran los mapas desarrollados a partir de imágenes satelitales que indican niveles diversos de contaminantes, incluyendo PM2.5, podría afirmarse que el contexto general de contaminación “homogeniza” los territorios del Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA); sin embargo, hay que tomar en consideración que la vulnerabilidad social y ambiental a la que está sometida la primera infancia en los asentamientos y en la calidad de infraestructura en viviendas, en accesos a espacios verdes y recreación, en la cercanía

¹ FHC. Contaminación del aire y primera infancia en América Latina. Informe Final. Fundación Horizonte Ciudadano. Chile FHC, 2020. Contaminación del aire y primera infancia en América Latina. Informe Final. Fundación Horizonte Ciudadano. Chile, 2020.

² En los inicios del proyecto se contó con la colaboración de Fernando Rossin, consultor independiente asociado a PIIDISA/UNQ.

a basurales y zanjas de desagüe a cielo abierto, la escasez de agua potable y cloacas, hace desaparecer esa supuesta homogeneidad de contaminación.³ A su vez, se estima que más de 150 millones de personas en América Latina viven en ciudades que exceden los estándares de calidad del aire que la Organización Mundial de la Salud (OMS) determina como saludables. Ello se debe a la exposición a partículas pequeñas –de 2,5 micrones o menos de diámetro (PM2.5)– que causan enfermedades cardiovasculares, respiratorias y distintos tipos de cáncer.⁴

La variable conocida como PM2.5, que es el material particulado que se encuentra en el aire, incluido el polvo, el hollín, la suciedad, el humo y las gotas de líquido, está conformada por partículas que miden 2.5 micrones o menos de diámetro (una milésima de milímetro: 1 μm = 0,001 mm). Estas partículas son tan pequeñas que solo pueden verse con un microscopio electrónico.⁵ La OMS

³ Lacabana, M. y Lacabana, P. *Ciudad aparente y ciudad real. Territorios vulnerables a ambos lados del Riachuelo*. Editorial UNQ. Buenos Aires, Argentina, 2023; Lacabana, M., Lacabana, P. y Rossin, F. Evaluación de la calidad del aire Área Metropolitana de Buenos Aires y Municipio de Quilmes. Programa Interdisciplinario de Ambiente (PIIDISA), Horizonte Ciudadano, UNQ. Buenos Aires, 2021. Recuperado de: <http://programasocioambiental.blog.unq.edu.ar/wp-content/uploads/sites/4/2021/12/Evaluacion-de-la-Calidad-del-Aire-AMBA-y-Quilmes.pdf>

⁴ OMS. *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Organización Mundial de la Salud, 2005. Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf?sequence=1

⁵ EPA. Air quality index (AQI) basics. United States Environmental Protection Agency (EPA). Recuperado de: <https://www.airnow.gov/aqi/aqi-basics/>; AirNow. “Fundamentos de AQI” Home of the U.S. Air Quality Index, 2021. Recuperado de: <https://www.airnow.gov/aqi/aqi-basics-in-spanish/>; IQAir: ¿Qué es PM2.5? Recuperado de (julio 2021): <https://www.iqair.com/mx/blog/air-quality/pm2-5/>; Organización Mundial de la Salud. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide, 2021; Organización Mundial de la Salud. La OMS insta a acelerar la adopción de medidas para proteger la salud humana y com-

indica que en el mundo hay una creciente proporción de la población que se ve expuesta a niveles por encima de los estándares considerados críticos para la salud lo cual deviene en una situación preocupante y crítica sobre la cual hay que intervenir.⁶

El análisis que se muestra en esta oportunidad fue elaborado sobre todo con QGIS 3.26 al procesar estadísticamente imágenes satelitales, a las que se puede acceder y descargar de forma gratuita de dos sitios web. Uno es Geospatial Interactive Online Visualization And aNalysis Infrastructure (GIOVANNI), el cual es una aplicación web desarrollada por el Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), organismo asociado a la Agencia de Administración Nacional de Aeronáutica y Espacio de los Estados Unidos (NASA), que provee imágenes satelitales para analizar y acceder a numerosos datos de variables ambientales captadas por sensores remotos. El otro es COPERNICUS, un programa de la Agencia Espacial Europea (EMA) para el monitoreo del ambiente, que cuenta con un gran número de portales desde donde se puede descargar información.⁷ Ambas plataformas se utilizaron para obtener datos del material particulado fino PM 2.5.

Metodología

Se realizaron búsquedas por país (Argentina) y por fecha (2018-2023) de variables asociadas a la calidad del aire. De la página web del Programa Giovanni de la NASA se descargaron y analizaron las imágenes del material particulado fino, PM 2.5 (2018-2023). Para complementar la información se descargaron y analizaron datos de PM 2.5 de la página web del Programa Copernicus de la Agencia Espacial Europea.

batir la crisis climática en un momento de agravamiento de los conflictos y la fragilidad. Comunicado de prensa, Ginebra, 2022.

⁶ OMS, *Op. cit.*, 2005.

⁷ Los más importantes son <https://maps.s5p-pal.com/> y <https://cds.climate.copernicus.eu/#/home>; <https://atmosphere.copernicus.eu/>

Se creó un proyecto en QGIS que incluye las capas con los datos mensuales y/o anuales de las localidades estudiadas. Para la extracción de la data de las imágenes satelitales se utilizó el algoritmo de estadísticas zonales de QGIS, que permite extraer de los archivos raster la información delimitada por un polígono. En este caso, las poligonales utilizadas fueron la de la ciudad de Buenos Aires y las de los partidos pertenecientes al conglomerado urbano denominado Gran Buenos Aires. Luego, se realizaron tablas y gráficos del Partido de Quilmes y de los municipios que colindan con Quilmes, lo llamado Conurbano Sur, y tablas y gráficos más específicos de los partidos de Avellaneda, Quilmes y Berazategui (Conurbano Sureste). Por otra parte, dado que hasta el momento solo están disponibles los datos de los monitores, para realizar las comparaciones de los datos satelitales con los datos de los monitores de bajo costo, se tomó en cuenta únicamente el partido de Quilmes. Finalmente, se realizaron mapas en los que se muestra, por medio de una degradación de colores de cinco clases, los partidos más y menos contaminados del Gran Buenos Aires, reportando de manera anual (2018-2023) y de manera mensual el PM 2.5.

PM 2.5 a partir del análisis de las imágenes satelitales descargadas de Giovanni

En la página web del Programa GIOVANNI, se calcula el PM 2.5 por medio del algoritmo MERRA-2 adaptando la metodología de Buchard *et al*, 2016. Esta página permite acceder a los datos de PM 2.5 en varios formatos, de los cuales se descargaron para este proyecto los correspondientes a las concentraciones de la masa de polvo sobre la superficie terrestre (Dust Surface Mass Concentration) y a los de la Masa de todos los componentes que conforman el PM 2.5 sobre la superficie terrestre (Total Surface Mass Concentration). Los datos originales se obtienen en kg/m³, pero para poder compararlos con los valores de los monitores de bajo costo se transformaron a µg/m³.

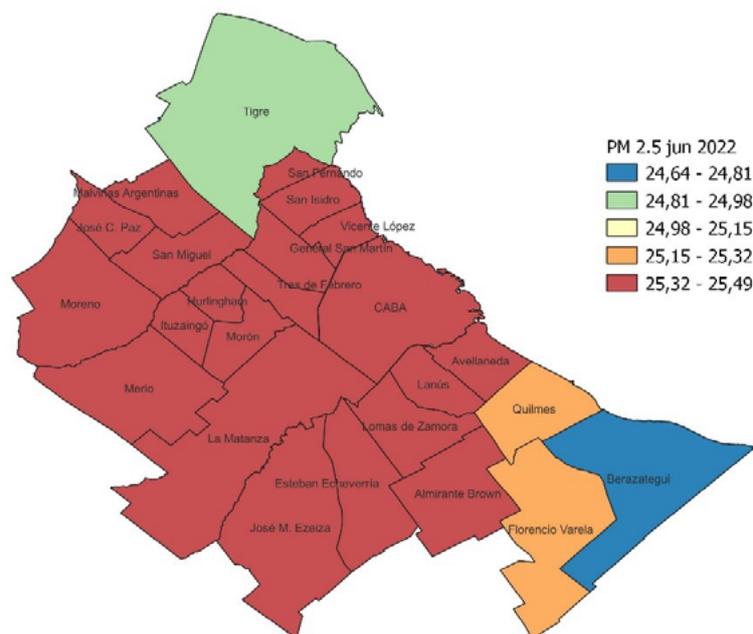
Para diferenciar mejor los valores al colocar los ceros, los valores de la figura 2 son diez veces más altos que el valor real en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, de esta manera, si algo dice $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en realidad debería leerse $4,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Se presentan, primero, los datos de la masa de polvo del Gran Buenos Aires, luego del área Conurbano Sur (Almirante Brown, Avellaneda, Berazategui, Florencio Varela, Lanús, Lomas de Zamora y Quilmes) y, por último, del Conurbano Sureste (Avellaneda, Quilmes y Berazategui).

En la figura 1 se muestra el comportamiento habitual del material particulado fino (PM 2.5) en el Gran Buenos Ai-

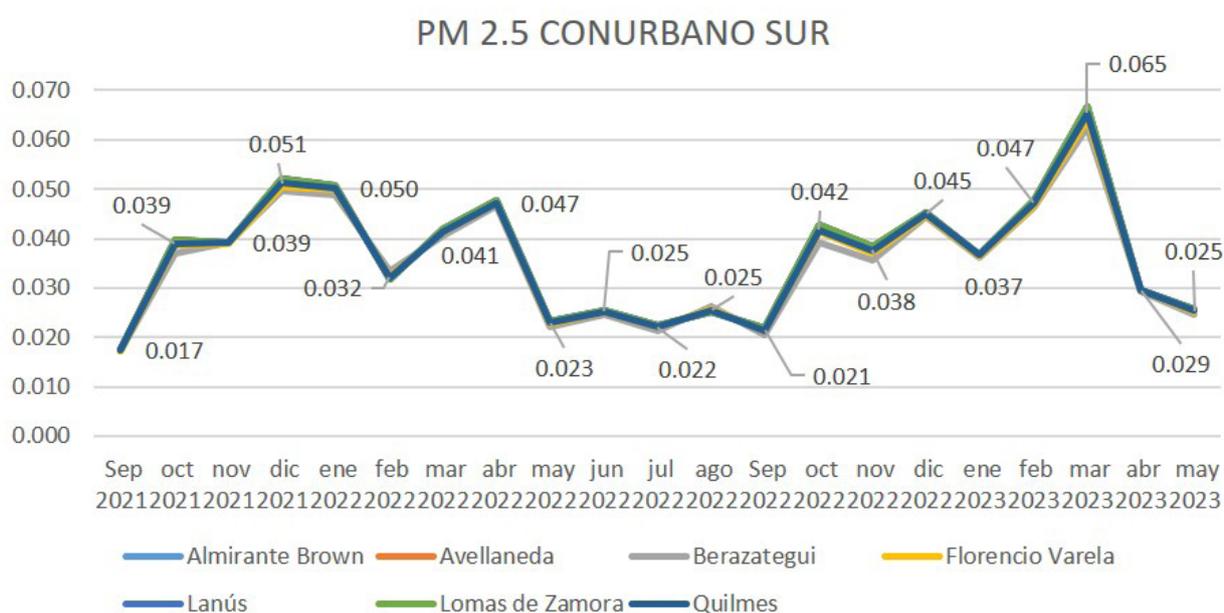
res y se toma como ejemplo el mes de junio de 2022. Se observa un conglomerado de municipios con los valores más altos de PM 2.5 y 4 municipios con los valores más bajos. De estos últimos, Quilmes y Florencio Varela tienen valores un poco menores al conglomerado, Tigre plantea valores algo más bajos que Quilmes, y Berazategui propone los valores más bajos de todos los municipios analizados. Este comportamiento se mantiene a lo largo de todo el período de tiempo estudiado, pero con valores promedios más altos o más bajos, como se mostrará más adelante para el Conurbano Sur y el Conurbano Sureste.

Figura 1. Mapa del PM 2.5 en el Gran Buenos Aires junio 2022



Fuente: Elaboración propia a partir de las imágenes satelitales de la plataforma Giovanni.

Figura 2. Gráfico de PM 2.5 mensual para el Conurbano Sur



Fuente: Elaboración propia a partir de las imágenes satelitales de la plataforma Giovanni.

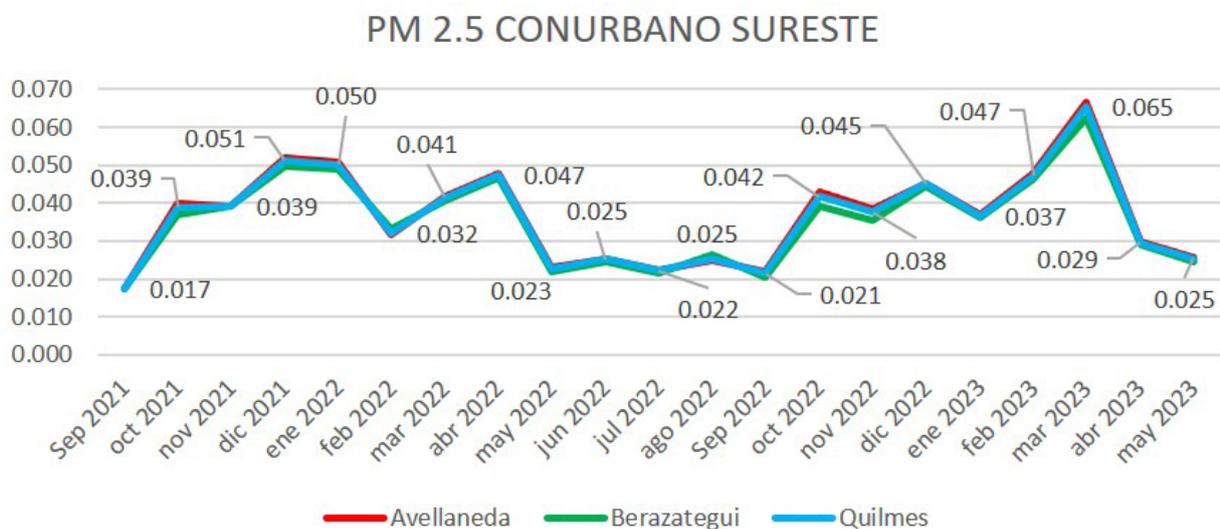
En la figura 2 se puede observar el comportamiento del material particulado fino durante el período de tiempo que va desde septiembre 2021 a mayo de 2023 en el Conurbano Sur. El valor más bajo se presenta al principio de la serie de datos y el valor más alto en marzo de 2023. No hay diferencias significativas entre los valores de cada municipio al compararlos dentro de un mismo mes, sin embargo, los municipios limítrofes con la ciudad de Buenos Aires tienen los valores más altos.

Podría parecer que los valores están por encima de los estándares nacionales ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (OPDS, 2018) e internacionales ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (EPA), pero en realidad tienen una sobreestimación de 10 veces, por lo que todos los valores están por debajo de los nuevos valores de la OMS $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo el valor más alto $6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En la figura 2 también se aprecia que los valores de mayo 2022 y 2023 son similares. Algo similar sucede con el comportamiento de los datos en los últimos meses del año (septiembre-diciembre, 2021) y los últimos meses del año de 2022, donde el comportamiento de los datos de PM 2.5 es parecido, a diferencia del resto de los meses del año (enero, febrero, marzo y abril), donde no se mantienen los valores entre los meses analizados, estos valores pueden haber cambiado por eventos puntuales, como incendios o cambios en la dirección del viento.

En la figura 3 se muestra la tendencia mensual de los datos de PM 2.5 de los municipios del Conurbano Sureste, los cuales tienen un comportamiento similar al que tienen los partidos del Conurbano Sur mostrados en la figura 2. El Partido de Avellaneda tiene los mismos valores que la Ciudad de Buenos Aires en casi todos los meses,

Figura 3. Gráfico de PM 2.5 mensual en el Conurbano Sureste



Fuente: Elaboración propia a partir de las imágenes satelitales de la plataforma Giovanni.

por lo que sus valores son los más altos entre los tres municipios del Conurbano Sur Este, seguido de Quilmes y Berazategui, este último con los valores más bajos.

Análisis anual de los datos de PM 2.5 captados por el sensor del programa Giovanni

De la figura 4 se puede deducir que todos los partidos del Conurbano Sur tuvieron valores similares de PM 2.5 en los años 2018 y 2019, con una disminución leve en 2020, y muy marcada en 2021. Además, probablemente, debido a la pandemia por COVID-19, hay un pequeño aumento en 2022 y una leve disminución hasta mayo de 2023. Aunado a ello, en los partidos de Quilmes, Florencio Varela y, principalmente en Berazategui, la disminución es mayor que en el resto de los municipios, los cuales tienen un comportamiento similar al de la ciudad de Buenos Aires.

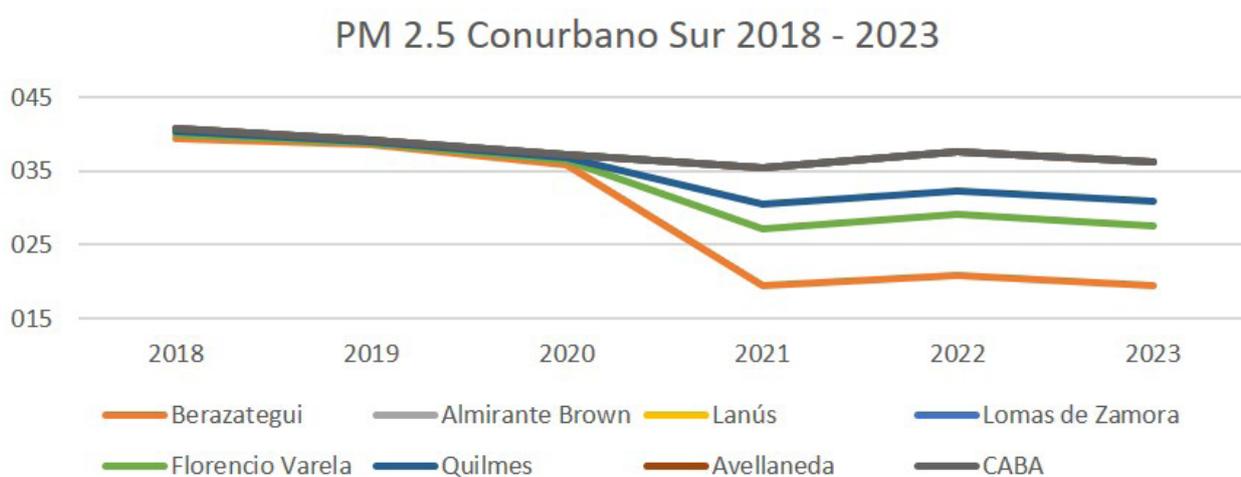
En la figura 5 se observa de manera marcada las dife-

rencias que hay en los últimos tres (3) años del período analizado entre los partidos de Avellaneda, Quilmes y Berazategui.

Comparación de los datos de PM 2.5 de los monitores y las imágenes satelitales en Quilmes

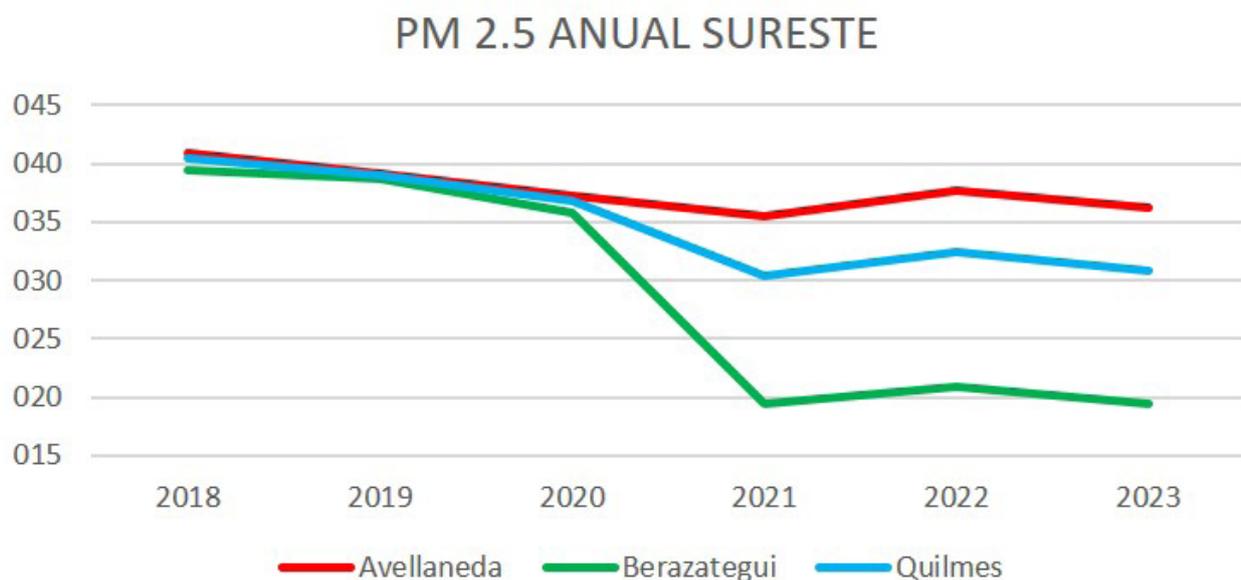
Una vez analizados los datos del material particulado fino obtenidos de la página de Giovanni y de la página de Copernicus, se compararon los datos de las imágenes satelitales con los obtenidos por los monitores de bajo costo entre septiembre de 2021 y diciembre de 2022, como puede observarse en la tabla 1 y en las figuras 6 y 7. Para esta comparación se utilizaron los datos de Giovanni de todos los componentes de PM 2.5 que pueden ser captados por el sensor del satélite y procesados por el algoritmo MERRA-2, dado que los datos anteriores subestiman los valores totales de PM 2.5 como se puede observar en la tabla 1, aunque tienen un comportamiento similar en cuanto a sus picos máximos y mínimos.

Figura 4. Gráfico de PM 2.5 anual para el Conurbano Sur



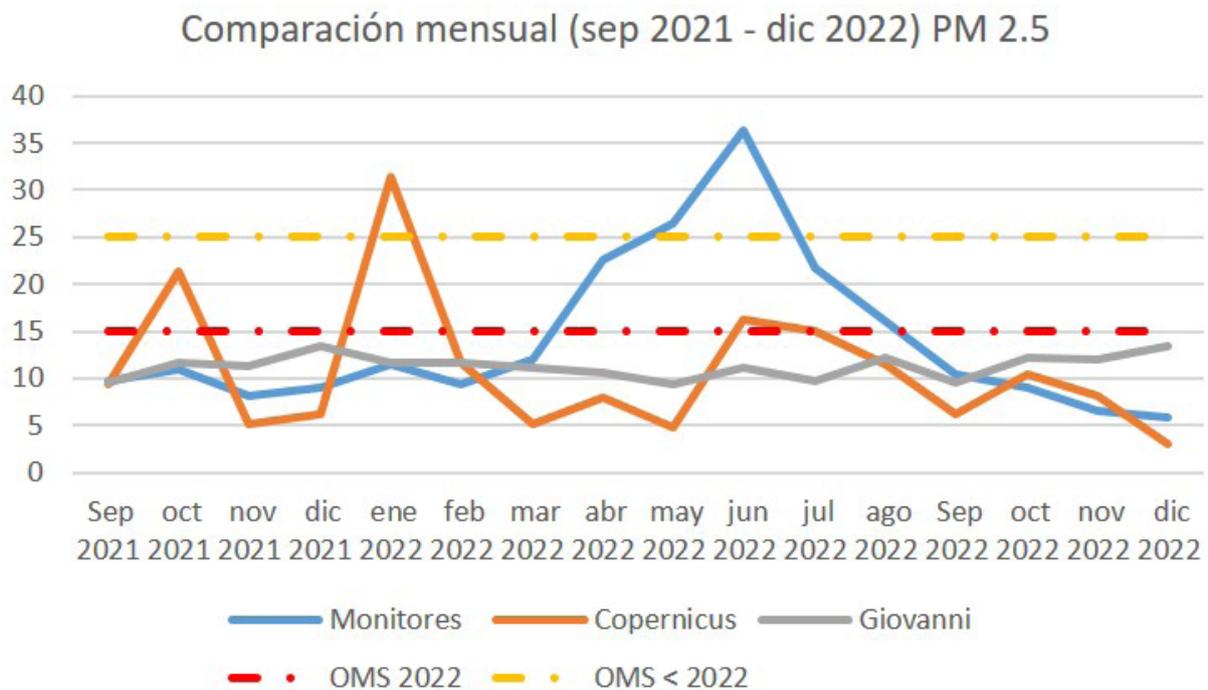
Fuente: Elaboración propia a partir de las imágenes satelitales de la plataforma Giovanni.

Figura 5. Gráfico de PM 2.5 anual para el Conurbano Sureste



Fuente: Elaboración propia a partir de las imágenes satelitales de la plataforma Giovanni.

Figura 6. Gráfico comparativo de los datos de PM 2.5 obtenidos por el programa Copernicus, el Programa Giovanni y los monitores de bajo costo



Fuente: Elaboración propia a partir de las imágenes satelitales de la plataforma Giovanni, la plataforma Copernicus y los monitores.

Por otra parte, en la figura 6 se observa que los picos altos y bajos son iguales para algunos meses del año (octubre 2021, junio 2022 y septiembre 2022). Sin embargo, se advierten más coincidencias entre los datos de los monitores de bajo costo y los datos de Copernicus que entre los datos de los monitores y los datos de Giovanni. Es posible que la escala del píxel sea un factor importante a la hora de determinar las similitudes entre los monitores y las imágenes satelitales.

Observando la tabla 1 y las figuras 6 y 7 se puede inferir que hay una relación mayor entre los datos obtenidos del programa Copernicus y los datos de los monitores de

bajo costo, a excepción de lo que podría ser una anomalía en los datos obtenidos del programa Copernicus en el mes de enero de 2022, donde los valores promedio están por fuera de la distribución que tienen el resto de los meses; por su parte, los datos de los monitores presentan un pico muy elevado en el mes de junio de 2022.

Los valores más altos de los monitores se dieron de abril a agosto de 2022, lo que coincide con los meses de otoño e invierno, siendo los valores máximos en mayo y junio, por lo que se podría inferir que el PM 2.5 aumenta en los meses más fríos. Sin embargo, los datos de las imágenes satelitales tienen un comportamiento diferente, donde

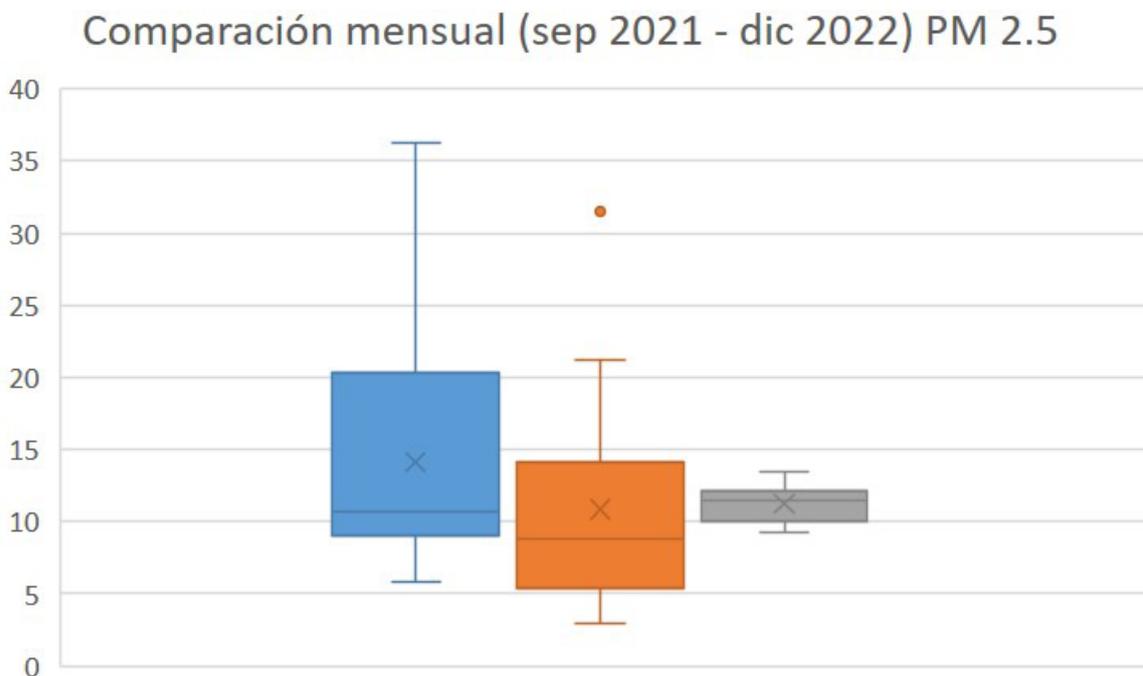
Tabla 1. Comparación entre los valores de PM 2.5 de los monitores de bajo costo y los valores de las imágenes satelitales

Mes	PM2.5 Monitores	PM2.5 Copernicus	PM2.5 Giovanni	PM 2.5 Giovanni total
Sep 2021	9,78	9,38	1,74	9,49
oct 2021	10,97	21,26	3,89	11,62
nov 2021	8,13	5,19	3,92	11,38
dic 2021	9,04	6,16	5,13	13,49
ene 2022	11,46	31,47	5,01	11,69
feb 2022	9,39	11,59	3,22	11,58
mar 2022	11,92	5,16	4,14	11,08
abr 2022	22,66	7,87	4,73	10,61
may 2022	26,43	4,78	2,28	9,28
jun 2022	36,26	16,31	2,52	11,19
jul 2022	21,72	15,00	2,21	9,80
ago 2022	16,00	11,56	2,54	12,18
Sep 2022	10,50	6,18	2,13	9,55
oct 2022	8,97	10,44	4,17	12,15
nov 2022	6,59	8,16	3,76	12,00
dic 2022	5,85	2,95	4,51	13,35

Nota: Los valores en color amarillo están por encima de los sugeridos por la OMS a partir de 2022, 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los valores en color fucsia están por encima de los sugeridos por la OMS antes de 2022, 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Fuente: Elaboración propia a partir de las imágenes satelitales de la plataforma Giovanni, la plataforma Copernicus y los monitores.

Figura 7. Gráfico de cajas de los datos de PM 2.5 obtenidos por los programas Copernicus y Giovanni más los monitores de bajo costo



Fuente: Elaboración propia a partir de las imágenes satelitales de la plataforma Giovanni, la plataforma Copernicus y los monitores. Monitores (azul), Copernicus (naranja), Giovanni (gris).

junio y julio tienen valores altos justo por encima de la norma, pero también hay otros meses de temperaturas más altas o mucho más altas donde los valores de PM 2.5 tienen picos y superan la norma.

Los datos de la masa de polvo del programa Giovanni no tienen correlación con los datos de los monitores y Copernicus, a excepción de mayo y julio de 2022. Ello puede deberse al horario en que los satélites captan la información y a la diferencia en el tamaño de los píxeles de las dos plataformas: Giovanni ($0,5^{\circ} \times 0,625^{\circ}$) y Copernicus ($0,375^{\circ} \times 0,375^{\circ}$). En ese sentido, el área del píxel de Giovanni está cerca de dos veces y un tercio más que el área del píxel de Copernicus, lo que indica menor precisión en

los datos de Giovanni. Sin embargo, al comparar la masa total de PM 2.5 de Giovanni con los datos de los monitores y Copernicus, si se encuentran relaciones estadísticamente significativas entre los tres sets de datos, también se puede observar que la amplitud de los datos de los monitores de bajo costo es mayor que la de Copernicus y mayor aún que la de la masa total de PM 2.5 de Giovanni.

En general, se puede decir que los monitores tienen una gran amplitud en sus datos, la cual proviene de las comparaciones horarias, que luego se observan en los promedios diarios y mensuales; mientras que los datos de Copernicus y Giovanni se mantienen dentro de un rango inferior a pesar de que Copernicus reportó un dato atípi-

co muy alto. Es importante resaltar las diferentes escalas espaciales y temporales que presentan los datos, lo cual podría ser un reflejo de las diferencias observadas. Por otra parte, se observa que los datos de Giovanni siempre se mantuvieron por debajo de la línea de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$; mientras que según Copernicus, se superó este estándar de la OMS en los meses de octubre 2021, y luego en enero y junio de 2022, siendo el mes de enero un valor atípico para Copernicus. Por su parte, los monitores reportaron valores fuera de norma de abril a agosto de 2022 con el pico más elevado en junio de 2022, pero sin que llegue a ser un valor atípico según los diagramas de caja (boxplot).

Reflexiones finales

Las agendas globales señalan que la contaminación del aire es un problema importante a tomar en cuenta, y sugieren que el monitoreo de calidad de aire debe basarse en la relación de las personas y de la primera infancia con su hábitat para permitir el diseño de acciones acordes a cada situación específica.

Las mediciones de calidad de aire realizadas con sensores de bajo costo instalados en cinco jardines de infantes de Quilmes indican valores aceptables para la salud humana, si bien hay diferencias entre las cinco localizaciones y a lo largo del año donde los meses de invierno presentan picos acentuados de contaminación.

Los datos de las imágenes satelitales dan una idea general del comportamiento de los contaminantes en la superficie terrestre, pero el nivel de detalle no es igual al que se obtiene con los sensores de bajo costo. Las mediciones realizadas a través de datos obtenidos de sensores remotos indican que los partidos de Quilmes y Berazategui presentan valores de contaminación más bajos que los que se dan en la Ciudad de Buenos Aires y en el Partido de Avellaneda.

Detectar a tiempo las vulnerabilidades como fragmentaciones territoriales producidas por la desigualdad socio-ambiental hace a la diferencia de una eficiente gestión del riesgo, de allí que el estudio y la determinación de la calidad del aire en territorios específicos como los analizados son un activo científico de pertinencia social y ambiental para el desarrollo de políticas públicas y la gestión integrada. Finalmente, es necesario continuar profundizando el análisis de la calidad del aire para contribuir con propuestas de acción, tanto a nivel de políticas públicas como de la sociedad civil.

