

# HUELLA URBANA EN EL CAMPO ELÉCTRICO DE BUEN TIEMPO

Yasmin R. Velazquez<sup>1,2,4</sup>, M. Gabriela Nicora<sup>2,4,5</sup>, Vito Galligani<sup>1,3,4</sup>, Elian A. Wolfram<sup>2,3,6</sup>, Raúl L. D'Elia<sup>2</sup>  
[yasmin\\_rv@outlook.com](mailto:yasmin_rv@outlook.com).

<sup>1</sup>Universidad de Buenos Aires, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (DCAO), Av. Intendente Cantilo, C1428, Cdad. Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup>UNIDEF (MINDEF – CITEDEF), Departamento de Investigaciones en Láseres y sus aplicaciones (DEILAP), J. B. de La Salle 4397, 1603 Villa Martelli, Pcia. de Buenos Aires, Argentina.

<sup>3</sup> CONICET - Universidad de Buenos Aires. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA), Av. Intendente Cantilo, C1428, Cdad. Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

<sup>4</sup> CNRS - IRD - CONICET - UBA. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA), Av. Intendente Cantilo, C1428, Cdad. Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

<sup>5</sup> Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Paseo del Bosque, C1900, Pcia. de Buenos Aires, Argentina.

<sup>6</sup> Servicio Meteorológico Nacional. Dirección de Redes de Observación, Av. Dorrego 4019, C1425GBE, Cdad. Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

**Palabras clave:** Electricidad atmosférica, Circuito eléctrico, tráfico vehicular.

## 1) INTRODUCCIÓN

Nuestro complejo e intrigante planeta posee lo que se conoce como el Circuito Eléctrico Atmosférico Global (CEAG). Al tratarse de un circuito eléctrico, existen zonas con corrientes descendentes y otras con corrientes ascendentes. Este hecho implica que la atmósfera presentará distintas características dependiendo del sentido de la corriente.

Los sitios donde fluye la corriente desde la ionosfera hacia el suelo se denominan regiones de Buen Tiempo (FW por sus siglas en inglés). Estos sitios son especialmente relevantes porque permiten observar la señal del CEAG mediante el campo eléctrico atmosférico en superficie, conocido como gradiente de potencial (PG, por sus siglas en inglés). Sin embargo, la atmósfera es dinámica y, cuando no se presentan condiciones de FW, la corriente puede invertirse y fluir en la dirección opuesta. En los sitios donde se invierte la corriente se hallan las principales fuentes del circuito eléctrico, las tormentas. El impacto de estas “baterías” sobre el CEAG puede detectarse en las variaciones medias diarias de PG en condiciones de FW.

Además de los elementos del CEAG ya mencionados, existen otros factores que impactan de manera local. Uno de ellos es la presencia de partículas emitidas del flujo vehicular. Estas pueden alterar la señal recibida por el CEAG en el PG, dependiendo del nivel de contaminación del sitio de estudio.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es analizar la relación entre el PG en condiciones de FW y dos tipos de forzantes: por un lado, la señal global del CEAG (asociada a la actividad de tormentas en el planeta), y por otro, los efectos locales de origen antropogénico, en particular el tráfico vehicular en la estación Buenos Aires (CITEDEF), entre 2017 y 2021.

## 2) METODOLOGIA

Para cumplir con el objetivo, se emplearon datos del gradiente de potencial (PG) medidos en la estación Buenos Aires, ubicada en el techo del Instituto CITEDEF (34°49'S, 58°29'O), mediante un medidor de campo modelo CS110 de Campbell Scientific; datos de flujo vehicular obtenidos de sensores de la Secretaría de Innovación y Transformación Digital del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (sensor del Centro Naval, Av. Cantilo); datos de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) — extraídos de la base de datos publicada por Diaz Resquin y otros (2021)—, medidos en el sitio CNEA-CAC a menos de 2 km de CITEDEF; y datos de profundidad óptica de aerosoles (AOD)

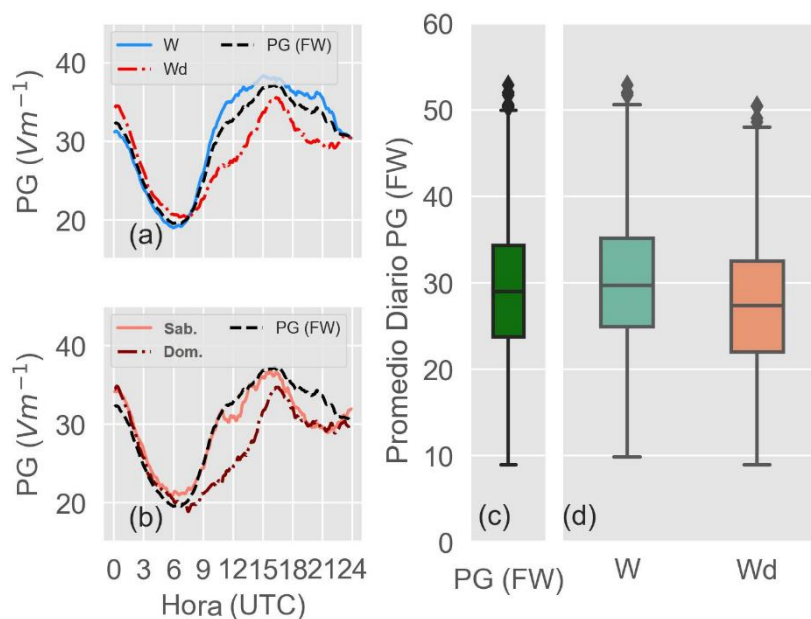
obtenidos del fotómetro de la red AERONET instalado junto al sensor de PG en CITEDEF.

Se utilizaron técnicas estadísticas robustas para la selección de días de FW, basadas en la mediana y la desviación absoluta mediana (MAD), según el procedimiento propuesto en Velázquez et al. (2024). Para evaluar la dependencia semanal del PG(FW), los datos fueron divididos en días laborables (W) y fines de semana (Wd), y se calcularon las curvas promedio diarias. Adicionalmente, se seleccionaron exclusivamente los días domingo para construir curvas medias diarias trimestrales de PG, con el objetivo de compararlas con la señal trimestral esperada del CEAG. Asimismo, se aplicaron pruebas de hipótesis y análisis espectral (Lomb-Scargle) para identificar ciclos semanales y otras periodicidades relevantes.

En un segundo análisis, se compararon los comportamientos durante el confinamiento por COVID-19 en 2020 (20 de marzo al 14 de mayo) con los mismos períodos en años previos (2017–2019), con el objetivo de evaluar el impacto de la drástica reducción del tráfico sobre el PG(FW) y sus variables asociadas.

### 3) RESULTADOS

Los resultados muestran una variación significativa del PG(FW) entre los días laborables y los fines de semana. Durante los días W, el PG presenta una curva diaria con forma "U invertida" en la



segunda mitad del día, mientras que durante los días Wd adopta una forma más aguda ("V invertida") y con menores valores, especialmente después de las 09 UTC (ver Figura 1). En términos estadísticos, la mediana del PG(FW) fue 30.03 V/m durante días W y 27.59 V/m en días Wd, lo que representa una reducción del 8,1 %, significativa al 99 % de confianza.

Figura 1: Curvas promedio diarias de PG (BT): a) días laborables (W, línea celeste) y fines de semana (Wd, línea roja); la línea negra representa la curva de referencia de Velázquez et al. (2024). b) sábados (salmón) y domingos (bordó), con la misma curva de referencia. c-d) Diagramas de caja de PG (BT) diario para todos los días, días laborables y fines de semana. Los valores atípicos se muestran con círculos (extraído de Velázquez y otros, 2025).

Además, el análisis del comportamiento trimestral de las curvas diarias de PG correspondientes a los días domingo revela un patrón coherente con la señal del CEAG. Se observa que los valores de PG son más altos durante casi todo el día en invierno austral (JJA) y alcanzan sus mínimos en verano (DEF), lo que coincide con la variación estacional esperada del circuito eléctrico global.

El análisis espectral reveló, además de la esperada periodicidad diaria y anual del CEAG, un ciclo significativo de 7 días que no responde a fenómenos naturales, sino a patrones semanales antropogénicos, principalmente el tráfico vehicular.

Las curvas diarias promedio del flujo vehicular y de NO<sub>2</sub> muestran un comportamiento altamente correlacionado con el PG(FW), tanto en forma como en variación diaria. En días W, estos parámetros presentan un máximo suave a media mañana, similar al PG, mientras que en Wd los picos son más estrechos y de menor amplitud. La correlación entre PG y flujo vehicular es alta y significativa: 0.90 para días W y 0.86 para días Wd. Las pruebas estadísticas confirmaron que los valores promedio diarios de flujo vehicular y NO<sub>2</sub> también difieren significativamente entre W y Wd. En cambio, la

AOD mostró diferencias en su forma diaria pero no en sus valores medios, indicando que no es suficientemente sensible a cambios semanales del tráfico en una ciudad como Buenos Aires.

Durante el período de confinamiento de 2020, el PG(FW) también mostró una disminución significativa (15.1 %) respecto al período equivalente en años anteriores. Esta reducción estuvo acompañada por una caída en el flujo vehicular y en las concentraciones de NO<sub>2</sub>, lo que sugiere una respuesta directa del PG(FW) a la disminución de las emisiones antropogénicas. La forma de la curva diaria de PG(FW) durante la pandemia fue similar a la de los fines de semana, reforzando la hipótesis del vínculo entre el tráfico y el comportamiento del campo eléctrico.

#### 4) CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos confirman que, si bien el PG(FW) responde al patrón del CEAG bajo condiciones meteorológicas de FW, su comportamiento puede ser significativamente modulado por efectos locales, en particular por el tráfico vehicular. Se identificó una señal semanal robusta en los valores de PG(FW), asociada a la variabilidad del flujo vehicular y de NO<sub>2</sub>, ambos indicadores de emisiones de origen antropogénico.

De forma complementaria, el análisis estacional de las curvas diarias construidas solo con los días domingo —cuando la circulación vehicular es mínima— mostró un patrón coherente con el comportamiento estacional del CEAG. Esto sugiere que, en días con bajo impacto antropogénico, el PG puede reflejar la señal del circuito eléctrico global.

El confinamiento por la pandemia constituyó un experimento natural que permitió observar una caída en el PG(FW) concurrente con la disminución de la movilidad urbana, lo que refuerza la hipótesis del vínculo entre las emisiones urbanas y el campo eléctrico en superficie.

Este trabajo pone de manifiesto la necesidad de considerar los efectos antropogénicos al interpretar mediciones de PG(FW) en entornos urbanos. Además, propone al PG(FW) como una herramienta complementaria para detectar cambios en la calidad del aire, brindando un enfoque novedoso dentro del campo de la electricidad atmosférica para evaluar el impacto de las actividades humanas.

#### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la UMI-IFAECI por haber subsidiado la participación en el CONGREGMET.

#### REFERENCIAS

**Diaz Resquin, M., Alessandrello, D., De Oto, M., Lichtig, P., Bajano, H., Ponso, A., Bajano, F., Gomez, D. y Dawidowski, L., 2021:** *AQ-CNEA-CAC air quality dataset (2019–2020): a machine learning approach to address air quality changes during the COVID-19 lockdown in Buenos Aires, Argentina*. Disponible en: <https://doi.org/10.17632/h9y4hb8sf8.1>. Fecha de acceso: 23 de septiembre de 2024.

**Velazquez, Y.R., Nicora, M.G., Galligani, V.S., Wolfram, E.A., Salio, P.V. y D'Elia, R.L., 2024:** Exploring the global thunderstorm influence on the fair weather electric field in Buenos Aires. *Atmospheric Research*, 299, 107182. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.107182>

**Velazquez, Y.R., Nicora, M.G., Galligani, V.S., Wolfram, E.A. y D'Elia, R.L., 2025:** Fair weather electric field variability in Buenos Aires: The role of traffic and pandemic lockdowns. *Atmospheric Research*, 321, 108087. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2025.108087>