



Investigador, Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (jose.rojas.marin@una.ac.cr)



Investigador, Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (victor.beita.guerrero@una.ac.cr)



Investigador, Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (tomas.soto.murillo@una.ac.cr)



Investigador, Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (minor.vargas.rojas@una.ac.cr)



Investigador, Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (julio.murillo.hernandez@una.ac.cr)



Investigador, Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional (jorge.herrera.murillo@una.ac.cr)

Impacto de los polvos del Sahara en la calidad del aire en la GAM

José Félix Rojas Marín
 Víctor Hugo Beita Guerrero
 Tomás Soto Murillo
 Minor Vargas Rojas
 Julio Murillo Hernández
 Jorge Herrera Murillo



.....

Durante la semana del 21 al 27 de junio del presente año, el país se vio afectado por la presencia de la Capa de Aire del Sahara (SAL, por sus siglas en inglés), alcanzando la máxima intensidad entre los días 25 y 26. Condiciones como menor visibilidad, disminución de las precipitaciones, temperaturas más cálidas, atardeceres más brillantes e incluso irritaciones oculares y en las vías respiratorias, fueron parte de las manifestaciones percibidas por la población como consecuencia de este fenómeno.

SAL consiste en una masa de aire caliente y muy seca cargada de polvo que se forma sobre el desierto del Sahara debido al efecto de los fuertes vientos del jet oriental africano, cuya intensidad máxima se alcanza entre mediados de junio y hasta mediados de agosto y que se mueve sobre el Atlántico Norte Tropical llegando a afectar regiones del Caribe, América Central, México e incluso algunas regiones de los Estados Unidos como Florida y Texas (NOAA, 2020).

Este fenómeno es una de las fuentes naturales de material particulado más importantes donde se producen cerca de $2 \times 10^8 10^8$ toneladas de aerosoles anualmente, los

cuales son transportados hacia el Océano Atlántico, el Mar Mediterráneo y el Sur de Europa (Kabatás *et al.*, 2014). Este es una de las principales fuentes biogénicas de partículas suspendidas con diámetros menores a 10 μm y 2.5 μm (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$), así como la principal fuente de polvo atmosférico.

En cuanto a la composición de este material particulado, Poleo & Briceño (2014) y Rizzolo *et al.* (2016) señalan que contiene bacterias, hongos y virus, así como algunos nutrientes, entre ellos nitratos y fosfatos inorgánicos, hierro (II), hierro (III), sodio, calcio y magnesio, entre otros macro y micronutrientes.

La facilidad del transporte de estas partículas de polvo se debe a que las mismas tienen tamaños inferiores a los 100 μm , siendo pequeñas y de poco peso. Las características anteriores hacen posible que el viento y las corrientes de aire ascendente las dispersen sobre áreas bastante extensas, alcanzando alturas de entre 5 km y 7 km. Asimismo, esta masa de aire se mueve confinada entre dos capas de inversión, lo que le brinda estabilidad y le permite recorrer grandes distancias de escala planetaria en tiempos relativamente cortos (Mojena *et al.*, 2006).

La Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ, por sus siglas en inglés) es un factor que contribuye con la estacionalidad en los patrones de transporte. Durante el verano la SAL se desplaza predominantemente hacia el norte y en el

invierno se mueve más hacia el hemisferio sur (Van der Does *et al.*, 2016).

Otros eventos determinantes en los patrones de emisión y transporte son los fenómenos El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), Oscilación del Norte Atlántico (NAO), precipitaciones Sahelianas y la temperatura superficial en el desierto. En el verano boreal, este evento es más intenso producto del aumento en la diferencia de temperatura que promueven células convectivas, facilitando la mayor emisión de polvo de estas zonas (Evan *et al.*, 2016).

La SAL desempeña un papel ecológico importante de fertilización en los suelos del Amazonas y los bosques de América, gracias al transporte de los nutrientes antes mencionados, compensando el efecto erosivo natural de las zonas tropicales producto de las fuertes precipitaciones que caracterizan a estas regiones (Gutro, 2020). Este efecto ecológico también se percibe en los océanos, ya que hay un aporte de nutrientes con la deposición de fracciones más gruesas que mejora el ciclo de carbono, estimulando el crecimiento de fitoplancton (Van der Does *et al.*, 2016)

Además, las condiciones secas, cálidas y ventosas asociadas con este fenómeno suprimen la intensificación y formación de ciclones tropicales y coinciden con el periodo del Veranillo sobre América Central (Gutro, 2020), ya que al ser un aire extremadamente seco (hasta 50 % menos húmedo que la atmósfera tropical) promueve la formación de

corrientes descendentes alrededor de las tormentas, debilitándolas. De igual manera, los fuertes vientos en la SAL, que pueden alcanzar los 10 m/s a 25 m/s, aumentan la cizalladura vertical del viento en y alrededor de las tormentas, lo que puede provocar la inclinación del vórtice del ciclón con la altura, interrumpiendo su motor térmico interno. En tercera instancia, las altas temperaturas de esta capa de aire hacen que se sitúe por encima del aire oceánico, relativamente más frío y denso, estabilizando la atmósfera, y suprimiendo la formación de nubes (NOAA, 2020).

La emisión y transporte de material particulado de origen desértico producto de la SAL ocasiona una degradación de la calidad del aire, ya que se suma a la contaminación del área afectada. Así mismo, de manera indirecta se documenta una acumulación de contaminantes antropogénicos locales, ya que este material crea núcleos de condensación favoreciendo la formación de nuevas partículas finas y la concentración de otros contaminantes que afectan la salud (Querol *et al.*, 2019). Los aerosoles pueden tanto contribuir con el calentamiento o enfriamiento de la capa atmosférica de superficie, dependiendo de sus diámetros aerodinámicos. Al haber más presencia por la SAL, la dinámica de calentamiento y enfriamiento se acelera, y los perfiles térmicos se aumentan en la ciudad, aumentando la vorticidad en superficie.

Otro aspecto relevante relacionado con la SAL es la afectación que pueden tener sobre la salud humana. Aunque existe poca investigación en este ámbito, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido que la contaminación con partículas, entre ellas el polvo, tiene efectos nocivos incluso en concentraciones bajas (Poleo & Briceño, 2014). Las partículas de PM_{10} cuentan con un diámetro lo suficientemente pequeño como para depositarse en las vías respiratorias, lo que puede generar complicaciones en personas con padecimientos respiratorios previos como asma, además de poder generar otras condiciones como infecciones respiratorias. Las partículas de $PM_{2.5}$ al poseer un diámetro aún más pequeño logran llegar hasta los alveolos ocasionando problemas cardiovasculares (Sandstrom & Forsberg, 2008).

El impacto en la calidad del aire que tuvo este evento en nuestro país fue monitoreado gracias a la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Aire, la cual se coordina a través de esfuerzos entre distintas instituciones como el Ministerio de Salud, ente rector del tema, la Refinadora Costarricense de Petróleo, la Municipalidad de San José, la Municipalidad de Belén, la Municipalidad de Escazú, Municipalidad de Desamparados y la Universidad Nacional. Este último, a través del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, brinda el soporte técnico en las mediciones ejecutadas, incluyendo el aseguramiento de la calidad de los datos y elaboración de los informes técnicos.

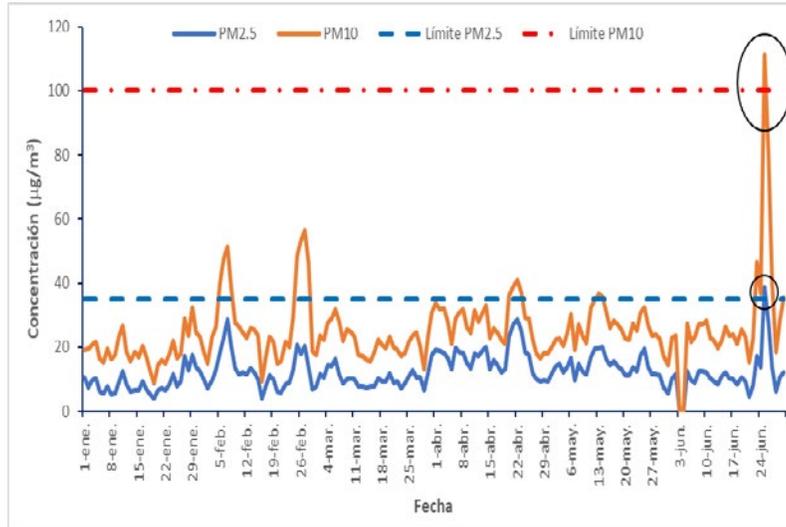


Figura 1. Concentraciones diarias de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en Desamparados para el 2020.

A continuación, se muestran las variaciones observadas en las concentraciones de partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ en algunas de las estaciones de monitoreo de partículas ubicadas en la GAM, tanto de la red automática (tiempo real) como manual (muestreros integrados de 24 horas).

La **Figura 1** muestra el comportamiento promedio diario, tanto de partículas PM_{10} como $PM_{2.5}$, observado en la

estación automática ubicada en Desamparados, para el período comprendido entre el 1° de enero al 30 de junio del presente año.

Los resultados indican la presencia de un pico considerable de partículas el jueves 25 de junio. Para ese día el máximo de PM_{10} y $PM_{2.5}$ estuvo en $111.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $38.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. De acuerdo con las imágenes de satélite, ese día se dio la afectación más importante por parte de la

nube de polvo proveniente del Desierto del Sahara. Como consecuencia, los niveles de partículas superaron los límites establecidos en nuestra legislación: $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $PM_{2.5}$ (Decreto Ejecutivo No. 39951-S). Al analizar los datos horarios para la semana específica en la que se dio el evento (22 al 26 de junio), se pudo observar claramente que se dieron tres picos horarios: 23, 25 y 26 de junio (**Figura 2**). Evidentemente

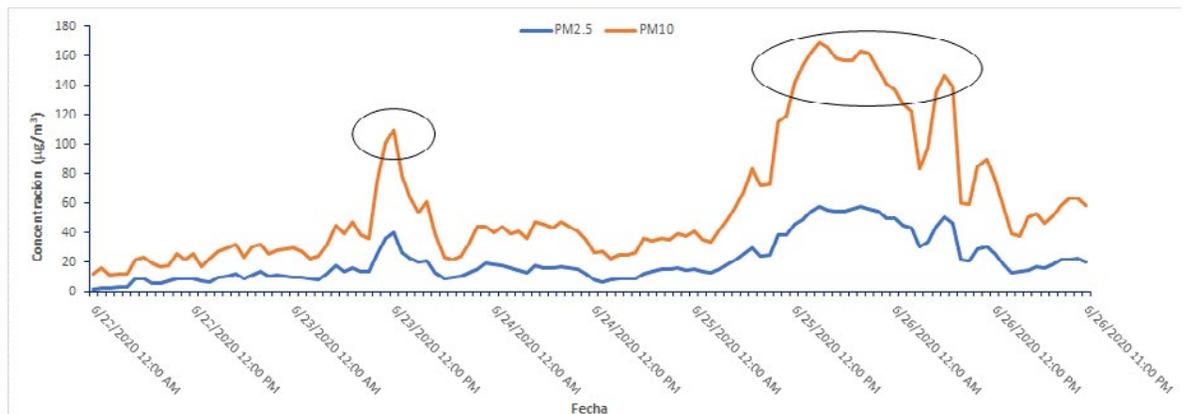


Figura 2. Concentraciones horarias de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en Desamparados, del 22 al 26 de junio del 2020.

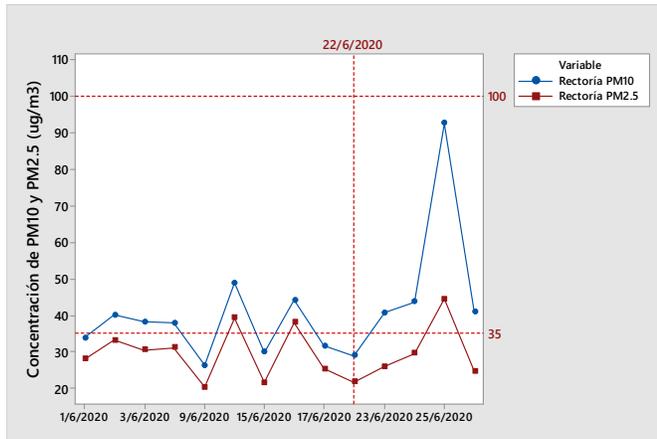


Figura 3. Concentraciones diarias de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en Heredia, para junio 2020.

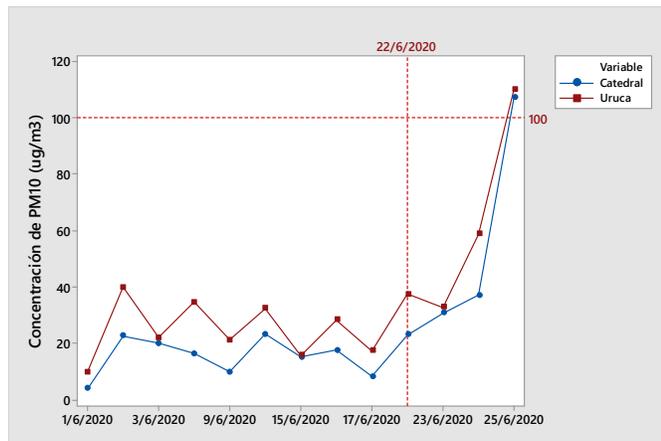


Figura 4. Concentraciones diarias de PM_{10} en Catedral y Uruca, para junio 2020.

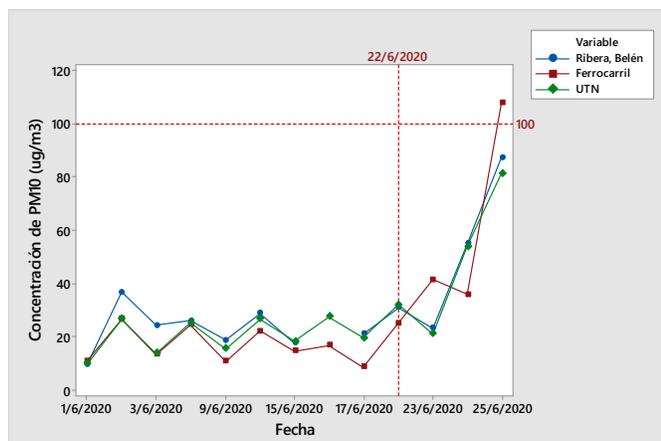


Figura 5. Concentraciones diarias de PM_{10} en Belén, Cartago y UTN, para junio 2020.

el pico del 25 de junio es el más importante en magnitud y duración lo que demuestra que la afectación se dio prácticamente en todo el día.

En la **Figura 3** se observan las concentraciones promedio diarias en el mes de junio en Rectoría-UNA (Heredia); además se marca con una línea vertical el inicio de la semana bajo la influencia de la SAL, y con líneas horizontales indicando los límites máximos de exposición. Los valores fueron en aumento conforme se fue acercando la masa de partículas al país, y se alcanzó el máximo entre jueves y viernes, con 92.3 y $41.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y $PM_{2.5}$, respectivamente; superando la norma para este último.

En el centro de la capital, donde se ubica la Catedral Metropolitana, se tiene una estación de medición PM_{10} , en donde también se observó el aumento en la concentración de partículas (**Figura 4**). Igualmente, el valor máximo se alcanzó entre jueves a viernes, con $107.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual triplicó las concentraciones de días anteriores. En la estación de PM_{10} , ubicada en La Uruca, el valor máximo obtenido fue $110.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que denota un incremento similar al anterior. Ambos sitios sobrepasaron la norma.

En la **Figura 5** se muestra el comportamiento en 3 sitios de monitoreo de la GAM: La Ribera de

Belén en Heredia; la Estación del Ferrocarril en Cartago y la Sede Central de la Universidad Técnica Nacional en Alajuela. En todos estos sitios, el aumento de las concentraciones entre jueves y viernes fueron de 50 a 200 % mayores que las del día anterior (23 de junio). Sin embargo, solo en Cartago se dio un incumplimiento de la norma.

A partir de estos resultados podemos concluir que este evento natural generó condiciones momentáneas de disminución en la calidad del aire, principalmente el día 25 de junio del 2020. Desde el punto de vista de afectación a la salud, estos aumentos en las concentraciones de partículas respirables pudieron ocasionar problemas respiratorios a la población vulnerable. Tomando este fenómeno como ejemplo, es importante que las instituciones competentes fortalezcan la red de monitoreo de calidad del aire y promuevan el establecimiento de alertas y medidas de prevención, con el fin de proteger la salud de la población. En un futuro cercano se debe contar con información epidemiológica para hacer asociaciones del incremento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares con la calidad del aire. Finalmente, el impacto de este último fenómeno pudo ser menor, considerando que las medidas sanitarias de confinamiento por la Covid-19, posiblemente ayudaron a disminuir la exposición de la población a las partículas durante este evento.

Referencias

- Evan, A., Flamant, C., Gaetani, M., & Guichard, F. (2016). The past, present and future of African dust. *Nature*, 531, 493-496. <https://doi.org/10.1038/nature17149>
- Gutro, R. (2020). NASA-NOAA's Suomi NPP Satellite Analyzes Saharan Dust Aerosol Blanket. NASA's Goddard Space Flight Center: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2020/nasa-noaa-s-suomi-npp-satellite-analyzes-saharan-dust-aerosol-blanket>
- Kabatas, B., Unal, A., Pierce, R., Kindap, T., & Pozzoli, L. (2014). The contribution of Saharan dust in PM10 concentration levels in Anatolian Peninsula of Turkey. *Science of the Total Environment*, 488-489, 413-421.
- Mojena, E., Pérez, R., Ortíz, P., Ortega, A., & Rivero, A. (2006). Tormentas de Polvo del Sahara. Su impacto en el Atlántico, Mar Caribe, y el Golfo de México. *Tecnologías Espaciales, Desastres y Agricultura en Iberoamérica*, 88-93.
- NOAA. (2020). The Saharan Air Layer. NOAA's Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory: <https://www.aoml.noaa.gov/saharan-air-layer/>
- Poleo, D., & Briceño, J. (2014). La intrusión de polvo del Sahara y del Sahel en la capa límite atmosférica del Mar Caribe: episodio agosto 2013. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 68-89.
- Querol, X., Tobías, A., Pérez, N., Karanasiou, A., Amato, F., Stafoggia, M., . . . Alastuey, A. (2019). Monitoring the impact of desert dust outbreaks for air quality for health studies. *Environmental International*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.05.061>
- Rizzolo, J., Baboza, C., Borillo, G., Godoi, A., Souza, R., Andreoli, R., . . . Taylor, P. (2016). Mineral nutrients in Saharan dust and their potential impact on Amazon. *Atmospheric, Chemistry and Physics Discussions*, 1-43. <https://doi.org/10.5194/acp-2016-557>
- Sandstrom, T., & Forsberg, B. (2008). Desert Dust: An unrecognized source of dangerous air pollution? *Epidemiology*, 19(6), 808-9.
- Van der Does, M., Korte, L., Munday, C., Brummer, G., & Stuut, J. (2016). Particle size traces modern Saharan dust transport and deposition across the equatorial North Atlantic. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*. <https://doi.org/10.5194/acp-2016-344>