

## CONTAMINACIÓN POR MATERIAL PARTICULADO, ESTRÉS OXIDATIVO E INFLAMACIÓN

*Rosa I. Rodríguez-Cotto, Ph.D.<sup>1,2</sup>*

Recibido 21 de junio de 2015; aceptado 21 de septiembre de 2015

Resumen – La contaminación por partículas surge de las actividades antropogénicas y por eventos naturales tales como: incendios forestales, las cenizas volcánicas y las tormentas de polvo. El material particulado entra en el sistema respiratorio y puede causar alergias, inflamación pulmonar y enfermedades cardiovasculares. La isla de Puerto Rico, que se encuentra en el Caribe, recibe cenizas del volcán Soufriere y partículas de las tormentas de polvo africano y producto de los incendios forestales locales y distantes (Venezuela). Los datos recogidos en la Isla muestran un aumento de tres veces de partículas  $\leq 10$  micrones (PM<sub>10</sub>) y de cinco veces de partículas  $\leq 2,5$  micrones (PM<sub>2.5</sub>) a la llegada de estos fenómenos. Las células epiteliales bronquiales humanas expuestas a muestras ambientales recogidas en la Isla durante una tormenta de polvo africano demostraron una activación de moléculas relacionadas con respuestas antioxidantes e inflamatorias. Los puertorriqueños tienen casi tres veces la tasa de asma de la población hispana en general. Los funcionarios de salud de la Isla sospechan que los factores ambientales son en parte responsables de desencadenar esta enfermedad. Sin embargo, se necesita un sistema de información integrado de los cambios atmosféricos en Puerto Rico con el fin de identificar los componentes específicos que desempeñan un papel clave en el desarrollo de esta enfermedad respiratoria.

*Palabras clave: Material particulado, cenizas volcánicas, incendios forestales, polvo africano, estrés oxidativo, inflamación, células epiteliales bronquiales, asma*

Abstract – Particle pollution arises from anthropogenic activities and by natural events such as: forest fires, volcanic ash and dust storms. Particulate matter enters the respiratory system and can cause allergies, lung inflammation and cardiovascular diseases. The island of Puerto Rico, located in the Caribbean, receives volcanic ash from the Soufriere volcano and particulate matter from African dust storms and from local and distant (Venezuela) forest fires. Ground data collected on the Island shows a threefold increase for particulate matter  $\leq 10 \mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>) and a fivefold for particulate matter  $\leq 2.5 \mu\text{m}$  (PM<sub>2.5</sub>) upon the arrival of these phenomena. Human bronchial epithelial cells exposed to environmental samples collected in Puerto Rico during an African dust storm demonstrated molecules activation related to antioxidant and inflammatory responses. Puerto Ricans have almost three times the asthma rate of the overall Hispanic population of all of Latin America. Health officials on the island suspect that environmental factors are in part responsible for triggering this disease. However, an integrated information system on the atmospheric changes in Puerto Rico is needed in order to identify the specific components that play a key

<sup>1</sup> Center for Environmental and Toxicological Research, Universidad de Puerto Rico-Recinto de Ciencias Médicas, San Juan, PR 00935. Email: rosa.rodriguez5@upr.com

<sup>2</sup> Escuela de Ciencias de la Salud, Universidad Metropolitana, PO Box 278, Bayamón, PR 00960. Email: rodriguezr13@suagm.edu

role in the development of this respiratory disease.

*Keywords: Particulate matter, volcanic ash, forest fires, African dust, oxidative stress, inflammation, bronchial epithelial cells, asthma*

### Introducción

El material particulado (PM, por sus siglas en inglés), también conocido como contaminación por partículas, es una mezcla compleja de sólidos y gotas líquidas, ambos extremadamente pequeños. Estas partículas se acumulan en la atmósfera y están asociadas a una variedad de compuestos como: nitratos, sulfatos, químicos orgánicos, metales y tierra o polvo que se generan por actividades antropogénicas o por eventos naturales. El tamaño de las partículas está directamente asociado con su potencial para causar problemas de salud. Las partículas de diámetro menor o igual ( $\leq$ ) a 10 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) son de importancia médica por su habilidad para entrar y acceder al sistema respiratorio y cardiovascular de los humanos. Las partículas  $\leq 10 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) entran al sistema respiratorio superior y las partículas  $\leq 2.5 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ) penetran profundo hasta los alveolos donde sus componentes son liberados al torrente sanguíneo (Figura 1). En los vasos sanguíneos, el PM puede aumentar la presión arterial y la frecuencia cardiaca (Mannuci, 2013) contribuyendo al síndrome coronario agudo, arritmias y muerte súbita.

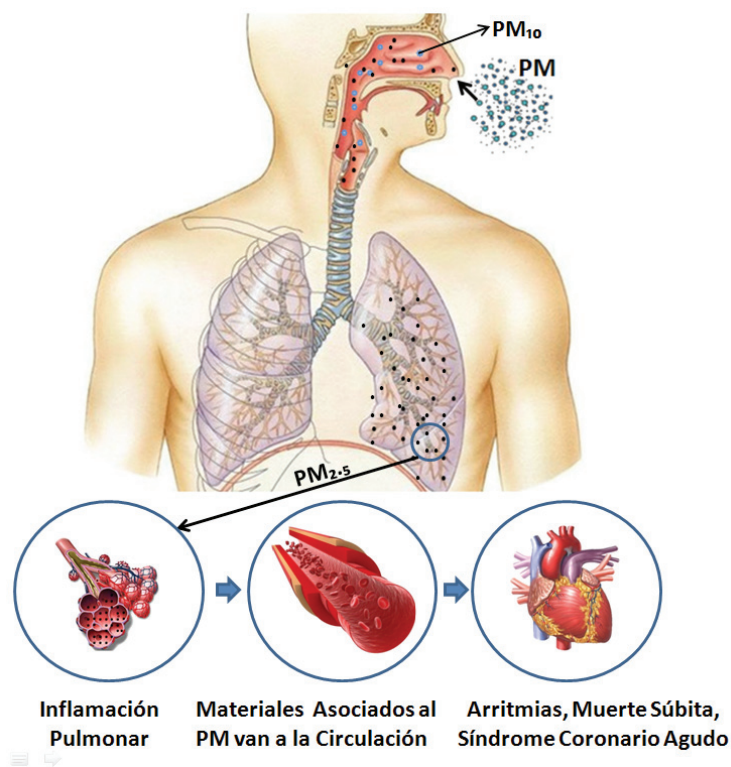


Figura 1. Inhalación del material particulado (PM)

La agencia federal de protección ambiental (USEPA, por sus siglas en inglés) ha establecido estándares que regulan la liberación de estas partículas al ambiente por actividades antropogénicas. Sin embargo, no podemos regular la concentración de material particulado generada por fenómenos naturales. Por lo que es importante entenderlos para llevar a cabo medidas de prevención dirigidas a proteger la salud de la población.

La concentración de  $PM_{2.5}$  y su relación con el cambio climático se ha estudiado en un modelo integrado que incluye el clima, la fase gaseosa de la troposfera y aerosoles (Racherla & Adams, 2006). De acuerdo a este modelo, se estima que se registrarán regiones con una disminución en  $PM_{2.5}$  y otras con un aumento. El aumento en  $PM_{2.5}$  estará determinado principalmente por una disminución en la precipitación de la región bajo estudio y un aumento en los eventos que generen este tipo de material particulado.

En este artículo, revisamos estudios y datos del clima y la presencia de particulado atmosférico en la Isla y su efecto oxidativo e inflamatorio sobre las células epiteliales bronquiales humanas.

### **Observaciones en Puerto Rico**

Un estudio sobre los patrones de precipitación de Puerto Rico utilizó los datos de estaciones meteorológicas para el periodo de 1948 y 2007. De los resultados obtenidos no se encontraron tendencias claras en los totales de precipitación para la Isla (Consejo de Cambio Climático de Puerto Rico, 2013). No obstante, se encontraron tendencias de aumento de precipitación anual para la región Sur y de disminución para las regiones Oeste y Norte. Por lo tanto, se podría predecir un aumento significativo de  $PM_{2.5}$  en el área local si se observa un periodo de escasa precipitación o sequía en combinación con eventos naturales que aporte a la atmósfera este material particulado.

En Puerto Rico, la concentración de material particulado aumenta con el advenimiento de eventos naturales como incendios forestales, presencia de cenizas volcánicas y polvo proveniente de desiertos ubicados en el continente africano. Anualmente, ocurre un gran número de incendios forestales que, por lo general, se inician por rayos que impactan los árboles. Hay un porcentaje muy bajo que se inicia por combustión espontánea, pues requiere alcanzar altas temperaturas que oscilan entre 375 y 510° Fahrenheit para encender la madera (Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, 2006). Los incendios causados por actividades antropogénicas se generan por diversas razones: colillas de cigarrillos, cocinas al aire libre, la quema de basura, entre otras. Este último corresponde al porcentaje más alto de incendios forestales en la Isla. El Cuerpo de Bomberos de Puerto Rico ha zonificado la Isla en varios distritos donde se encuentran sus estaciones. En los meses de enero a julio de 2014, se registraron 3,510 incendios forestales que consumieron

16,117.20 cuerdas (Cuerpo de Bomberos PR, 2014; Méndez Tejada et al., 2014). El distrito de Ponce se distinguió por poseer el número más alto de incendios.

No solo los incendios forestales locales incrementan la concentración de PM en la atmósfera. En marzo de 2010 se observó una bruma densa sobre la Isla (NotiUno, 2010). Las autoridades locales informaron que el fenómeno se debía a incendios forestales en Venezuela cuyo material particulado había llegado hasta Puerto Rico. La concentración de  $PM_{10}$ , reportada por la red de monitoreo de aire de la Junta de Calidad Ambiental (JCA) de Puerto Rico, se triplicó durante la presencia de esta bruma. Los datos reportados corresponden a las estaciones ubicadas en: Fajardo, Guayama, Cataño y Guaynabo. No se reportaron datos para  $PM_{2.5}$ .

Puerto Rico no posee volcanes, pero observamos la presencia de cenizas volcánicas en la Isla. Estos eventos son de interés para la población, por lo cual se reseñan en la prensa local, televisiva y escrita. Las cenizas son nocivas a la salud, sobre todo en personas susceptibles que sufren de rinitis alérgica (inflamación de la mucosa de la nariz), asma bronquial y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Las cenizas llegan de lugares distantes como Indonesia en donde se encuentra el volcán Merapi. También pueden llegar cenizas desde los volcanes Soufriere Hills en Montserrat, el más conocido del Caribe, y el de Pacaya en Guatemala. En la tercera semana de marzo de 2007, el Observatorio Volcanológico de Montserrat reportó una erupción volcánica del Soufriere Hills que afectó el tránsito aéreo hacia y desde Puerto Rico (Del Valle, 2007). La nube de ceniza alcanzó los 240 metros de altura. La concentración de  $PM_{10}$  reportada, por la JCA, se triplicó en las estaciones de Fajardo, Ponce, Cataño, Guaynabo y San Juan. La concentración de  $PM_{2.5}$  para las estaciones de Fajardo, Guaynabo y San Juan se quintuplicó.

Las tormentas de polvo que se generan en el continente africano viajan miles de kilómetros llegando finalmente al área del Caribe. En un evento de polvo sobre Puerto Rico, la isla queda cubierta por este material particulado, el cual es inhalado por los habitantes. Este evento es uno cíclico que ocurre durante los meses de primavera y verano, aunque se ha reportado bruma en otras épocas del año (Rodríguez et al., 2013). Los eventos de bruma disminuyen la visibilidad y aumentan el material particulado. Es interesante señalar que la bruma sobre el Caribe, incluyendo a Puerto Rico, se ha intensificado en los últimos 45 años (Wittig et al., 2007). Las tormentas han sido más frecuentes y de mayor duración. Esto se atribuye a periodos de sequía en las regiones del Sahara y Sahel en África, debido a cambios en la distribución global de la temperatura en la superficie del océano. Durante su trayectoria, las nubes de polvo recogen y transportan diferentes tipos de compuestos químicos incluyendo metales.

Los metales unidos a  $PM_{2.5}$  están asociados a la activación de trayectos metabólicos para las respuestas oxidante y proinflamatoria (Rodríguez et al., 2015). La respuesta antioxidante se inicia para prevenir la oxidación de moléculas. Las

reacciones de oxidación producen radicales libres que generan reacciones en cadena que dañan las células. Por lo general, la respuesta antioxidante antecede la respuesta inflamatoria. La inflamación es una reacción adaptativa generada por diferentes causas y es una característica de condiciones respiratorias como el asma.

Entre los hispanos, los puertorriqueños exhiben la mayor prevalencia de asma en todas las edades, pero principalmente entre los 5-9 años (Ortiz-Martínez et al., 2010). Aunque se han realizado estudios durante décadas, todavía no está claro por qué los puertorriqueños sufren tanto de asma. Los resultados de las investigaciones apuntan a factores ambientales y características genéticas.

Con el propósito de identificar el efecto del polvo africano en células del pulmón, Rodríguez et al. (2013) obtuvieron muestras ambientales de  $PM_{2.5}$  y de  $PM_{10}$  colectadas por la JCA en períodos de bruma sobre la Isla para exponerlas a células de epitelio bronquial humano con el propósito de identificar el efecto del polvo africano en estas células. Los resultados obtenidos demostraron un aumento en las especies reactivas de oxígeno (ROS) y una disminución en su capacidad antioxidativa, generando estrés oxidativo (Rodríguez et al., 2015). Se observó además, un aumento en la actividad del factor de transcripción Nrf2, proteína que regula el flujo de información de genes asociados a la respuesta antioxidante, y un aumento en la síntesis de los mensajeros; glutatión-S-transferasa (GST1) y hemo oxigenasa 1 (HMOX1) para la producción de proteínas antioxidantes. Maf, Jun, PMF1 y ATF4 son factores de transcripción que pueden formar dímeros con Nrf2 y unirse a la región ARE (*antioxidant response element*) del ADN para realizar el proceso de transcripción (Figura 2). Las células expuestas a ambos,  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ , mostraron un aumento en las citoquinas pro-inflamatorias (IL-6, IL-8). Además, las células expuestas a  $PM_{2.5}$  también tuvieron un aumento en el mensajero que codifica para IL-8. La Figura 2 resume la activación de moléculas relacionadas a las respuestas antioxidante e inflamatoria en células epiteliales bronquiales expuestas a material particulado de polvo africano en Puerto Rico. Nrf2, AP1, C/EBP  $\beta$ , son factores de transcripción que pudieran participar en la síntesis del mensajero para IL-8. Estos factores se unen a la región RE (*response element*) del ADN. Estudios como este son particularmente importantes para el sector de la población con condiciones respiratorias, quienes reportan episodios de asma y alergias durante la temporada de polvo africano sobre Puerto Rico.

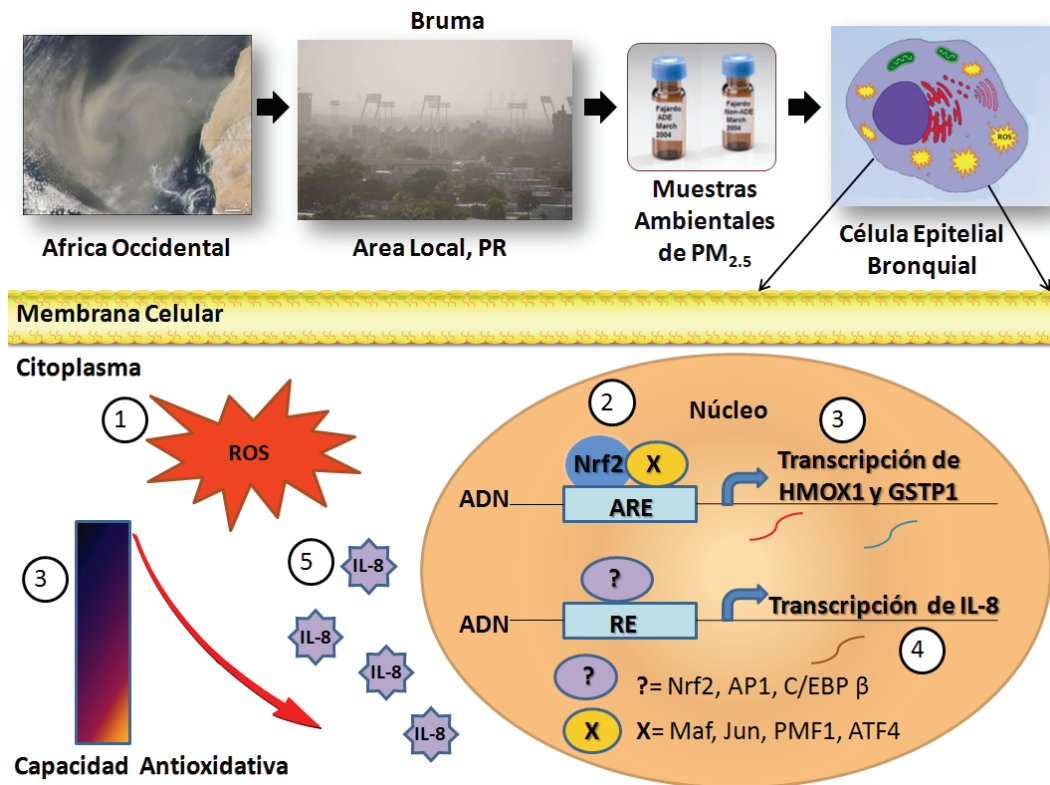


Figura 2. Efecto del polvo africano en la respuesta celular.

Los incendios forestales, cenizas volcánicas y polvo africano se han presentado de manera individual; sin embargo, estos eventos pueden ocurrir al unísono. La presencia de cenizas volcánicas en conjunto con el polvo africano ha sido documentada por el Servicio Nacional de Meteorología y por la JCA. La concentración de material particulado de estos fenómenos se refleja en la red de monitoreo de aire de la JCA en combinación con la Agencia de Protección Ambiental. Sin embargo, en ocasiones los datos son incompletos. En eventos donde se observa una gran cantidad de material particulado, la estación de monitoreo no reporta parte o todo el evento. Cuando se identifica un aumento significativo del material particulado, no se informa la causa. En estos casos, hay que realizar estudios retrospectivos utilizando los satélites, la prensa y los observatorios de fenómenos naturales, entre otros. La causa del incremento del material particulado es importante, pues los componentes asociados a este varían según la fuente. La información relacionada a los incendios forestales en la Isla se difunde principalmente a través de la prensa que cubre el evento o por petición directa al Cuerpo de Bomberos.

### **Implicaciones futuras**

Las agencias pertinentes necesitan integrar los sistemas de información donde se recopilan datos de los diferentes eventos que impactan el ambiente local. Estos sistemas de información deben ser integrados de forma tal que los datos generados de diferentes fuentes y concernientes a la composición atmosférica estén disponibles. Un sistema de información integrado es importante pues permite obtener mayor cantidad de datos en menos tiempo y avanzar los conocimientos que relacionan el ambiente con las condiciones respiratorias y cardiovasculares. El efecto del polvo africano en células del pulmón se ha estudiado en la respuesta antioxidante y pro-inflamatoria, pero falta mucho por recorrer. Apenas comienza el estudio del efecto de las cenizas volcánicas o de la combinación de todos estos eventos en nuestra atmósfera y su impacto en la salud de la población.

### **Literatura citada**

- Consejo de Cambio Climático de Puerto Rico. (2013). *Estado del clima de Puerto Rico 2010-2013*. Resumen Ejecutivo: Evaluación de vulnerabilidades socio-ecológicas en un clima cambiante. Recuperado de: [http://www.drna.gobierno.pr/oficinas/arn/recursosvivos/costasreservasrefugios/pmzc/prccc/prccc-2013/CCCPR\\_ResumenEjecutivo.pdf](http://www.drna.gobierno.pr/oficinas/arn/recursosvivos/costasreservasrefugios/pmzc/prccc/prccc-2013/CCCPR_ResumenEjecutivo.pdf)
- Cuerpo de Bomberos de Puerto Rico. (2014). *Estadísticas fuegos forestales 2013-2014*. [PDF]. Recuperado de: <http://www.oslpr.org/2013-2016/ponencias/B2YOVZQG.pdf>
- Del Valle, L.Y. (20 de marzo de 2007). Dañino el “rugido” de los volcanes. *El Nuevo Día*, [endi.com]. Recuperado de: <http://www.cienciapr.org/es/external-news/danino-el-rugido-de-los-volcanes>
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (2006). *Incendios forestales en Puerto Rico*. Recuperado de: <http://www.drna.gobierno.pr/biblioteca/publicaciones/hojas-de-nuestro-ambiente/1-%20Incendios%20Forestales.pdf>
- Mannucci, P. (2013). Airborne pollution and cardiovascular disease: Burden and causes of an epidemic. *European Heart Journal*, 34(17), 1251-1253. doi:10.1093/eurheartj/eh045
- Méndez Tejada, R., Santos Corrada, M., Ortiz Morales, S., & Claudio Vargas, O. (2014). Incendios forestales en Puerto Rico: naturales o antropogénicos? *VI Reunión Cumbre Sobre Cambio Climático*, Consejo de Cambio Climático de Puerto Rico, San Juan PR.
- NotiUno (1 de marzo de 2010). Fuegos forestales en Venezuela afectan cielos de Puerto Rico. Recuperado de: <http://www.notiuno.com/fuegos-forestales-en-venezuela-afectan-cielos-de-puerto-rico/>

- Ortiz-Martínez, M., Rivera-Ramírez, E., Mendez-Torres, L., & Jiménez-Vélez, B. D. (2010). Role of chemical and biological constituents of PM10 from Saharan dust in the exacerbation of asthma in Puerto Rico. *Biodiversity science for humanity*. Athens Institute for Education and Research, Athens, Greece, 101-118.
- Racherla, P. N., & Adams P. J. (2006). Sensitivity of global tropospheric ozone and fine particulate matter concentrations to climate change. *Journal Geophysical Research*, 111, D24103, doi:10.1029/2005JD006939.
- Rodríguez-Cotto, R., Ortiz-Martínez, M., Rivera-Ramírez, E., Méndez, L., Dávila, J. & Jiménez-Vélez, B. (2013). African dust storms reaching Puerto Rican coast stimulate the secretion of IL-6 and IL-8 and cause cytotoxicity to human bronchial epithelial cells (BEAS-2B). *Health*, 5, 14-28. doi: 10.4236/health.2013.510A2003.
- Rodríguez-Cotto, R. I., Ortiz-Martínez, M. G., & Jiménez-Vélez, B. D. (2015). Organic Extracts from African Dust Storms Stimulate Oxidative Stress and Induce Inflammatory Responses in human lung cells through Nrf2 but not NF-kB. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 39(2), 845-856. doi:10.1016/j.etap.2015.02.015.
- Wittig, R., König, K., Schmidt, M., & Szarzynski, J. (2007). A study of climate change and anthropogenic impacts in West Africa. *Environmental Science and Pollution Research*, 14, 182-9. doi.10.1065/espr2007.02.388.