



Tecnociencia, Vol. 25, N°2: 188-208

Julio-Diciembre 2023

ISSN L 2415-0940

## **NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM SUSPENDIDO EN EL AIRE DURANTE 17 AÑOS DE MEDICIÓN, EN EL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**

**Omayra J. Pérez Castro**

Universidad de Panamá, Panamá. [omayra.perezc@up.ac.pa](mailto:omayra.perezc@up.ac.pa)  
<https://orcid.org/0000-0002-7080-5598>

**Luis A. Marín**

Universidad de Panamá, Panamá. [luis.marin-d@up.ac.pa](mailto:luis.marin-d@up.ac.pa)  
<https://orcid.org/0000-0001-8580-4128>

**Juan Rodríguez**

Universidad de Panamá, Panamá. [juan-m.rodriguez-c@up.ac.pa](mailto:juan-m.rodriguez-c@up.ac.pa)  
<https://orcid.org/0000-0002-2013-6752>

**Alejandro Arroyo**

Universidad de Panamá, Panamá. [alejandros@reserma.com](mailto:alejandros@reserma.com)  
<https://orcid.org/0009-0008-0593-444X>

**Carlos Dreyfus**

Universidad de Panamá, Panamá. [carlosdreyfus@gmail.com](mailto:carlosdreyfus@gmail.com)  
<https://orcid.org/0009-0006-0647-1913>

**Bernardo Fernández**

Universidad de Panamá, Panamá. [bernardo.fernandezg@up.ac.pa](mailto:bernardo.fernandezg@up.ac.pa)  
<https://orcid.org/0000-0002-7947-3147>

DOI <https://doi.org/10.48204/j.tecno.v25n2.a4072>

**Fecha de recepción:** 3 de marzo de 2023

**Fecha de aceptación:** 19 de mayo de 2023

## **RESUMEN**

Se analizaron las concentraciones diarias de material particulado en el aire (PM) en la azotea de la Rectoría de la Universidad de Panamá, con una aspiradora ubicada a 90 metros sobre el nivel del mar. Se recolectaron y analizaron muestras diarias desde enero de 2006 hasta diciembre de 2022, sumando un total de 6 209 datos. La curva de la concentración del material particulado (PM) versus el día del año es indicativa de una alta contaminación atmosférica diaria por partículas en suspensión. La concentración diaria de PM, influenciada por factores meteorológicos, sugiere una clasificación en cuatro etapas anuales con comportamiento estacional, aunque con variabilidad significativa. Estas etapas son, la estación seca con comportamiento alotrópico, la de transición con decrecimiento diario lineal, dos etapas lluviosas una moderada y la otra intensa, las cuales, juntas poseen una variación senoidal. Se encontró una alta correlación inversa de PM con la Humedad Relativa y con la precipitación y una correlación directa alta con la temperatura y la rapidez del viento y ningún tipo de correlación con la presión y la dirección del viento. Esas altas correlaciones entre PM y la meteorología son indicadoras que las PM contribuyen al cambio climático.

## **PALABRAS CLAVES**

Material particulado, contaminación atmosférica, Panamá.

## **MEASUREMENT OF POLLUTION BY PM FOR 17 YEARS IN THE CENTRAL CAMPUS OF THE UNIVERSITY OF PANAMA**

### **ABSTRACT**

The daily concentrations of PM in Panama City were studied from January 1, 2006, to December 31, 2022, which translates into many data: 6,209. The PM concentration curve versus day of year is indicative of high daily atmospheric pollution by Particulate Material (PM). Its variation allows us to suggest that we have four annual meteorological periods with a certain stable probabilistic behavior, but with great dispersion. These are the dry season with allotropic behavior, the transition season with linear decrease, the moderate rainy season, and the intense rainy season, both together with sinusoidal variation. A high inverse PM correlation was found with relative humidity and precipitation, a high direct correlation with temperature and wind speed, and no correlation with pressure and wind direction. That high correlation between PM and the meteorological variables, indicates that the PM pollution contributes to climate change.

## KEY WORDS

Particulate matter, air pollution, Panamá.

## INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2016), utilizando información obtenida vía satelital y de más de tres mil estaciones ubicadas a nivel global, ha analizado la calidad del aire, tanto en espacios cerrados como abiertos (dentro y fuera de los hogares), empleando modelos de análisis confiables. Lo que le ha permitido identificar, los factores que tienen una mayor incidencia en la salud humana:

- La inhalación de partículas suspendidas en el aire es responsable de causar la muerte prematura de 4,2 millones de personas cada año, ya que estas partículas provocan enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer.
- Los porcentajes de muertes, atribuibles al factor contaminación del aire por PM, en espacios cerrados, por ejemplo, en los hogares, en el 2016 fueron: 58% por cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares, 18% por las enfermedades pulmonares obstructivas crónicas e infecciones respiratorias agudas y 6% por cáncer de pulmón.
- El 91% de esas muertes se producen principalmente en Regiones de Asia Sudoriental y del Pacífico Occidental, en países de medianos y bajos ingresos.
- Unos 3 000 millones de personas, del total de la población mundial, cocinan y calientan sus hogares con combustibles contaminantes con PM como biomasa y carbón, lo que les permitió concluir que *“la contaminación del aire exterior con PM y el humo en interiores representa un grave riesgo para la salud de cerca del 40% de los habitantes del planeta”*.

En los últimos 20 años, las infecciones del sistema respiratorio inferior (gripe, bronquiolitis, bronquitis aguda, neumonía) están entre las cinco primeras causas mundiales de defunciones (OMS, 2020). En vista de tanta evidencia, a partir de 2005, la OMS regularmente publica y recientemente actualizó (2021), las “Directrices sobre la Calidad del

Aire”. Dichos lineamientos (guías) tienen el propósito de orientar a los Estados miembros en la elaboración de regulaciones locales o nacionales para controlar la contaminación del aire en sus respectivos territorios. Además, ofrece información general sobre los umbrales y límites máximos de la “contaminación atmosférica”, asociados a riesgos sanitarios graves para la salud.

La contaminación del aire que se respira es un problema que viene desde hace siglos, pero pasó a primer plano en la década de 1950, cuando en Londres, una niebla (tóxica) mostró valores muy altos en los contenidos de contaminantes atmosféricos y como resultado, cerca de 12,000 personas fallecieron. Con la finalidad de disminuir la contaminación del aire, Gran Bretaña promulgó la Ley de Aire Limpio (Nieuwenhuijzen, 2021), que prohibió el uso del carbón para la calefacción.

Los contaminantes atmosféricos no solamente tienen influencia directa en la salud de los Seres Humanos, sino que también contribuyen a los cambios climáticos y del ambiente (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2013). Se clasifican de acuerdo con varios criterios (Alejandrina, 2012) y entre los más relevantes están, por 1) su origen, en naturales y antropogénicos; 2) su reactividad química, en oxidantes o reductoras; y según 3) las fuentes emisoras, en móviles (medios de transporte) y fijas (las industrias).

Las partículas líquidas y sólidas, suspendidas en la atmósfera bajo forma de polvo, hollín, humo producido por los incendios, etc. (Viana Rodríguez, 2003), que de manera natural no forman parte del aire y lo contaminan, se les llama material particulado (PM por sus siglas en inglés). Las PM que se mantiene cierto tiempo suspendidas en el aire, se clasifican, según el tamaño de su diámetro aerodinámico (Arciniegas, 2012), en: 1) gruesas, partículas mayores de  $2,5 \mu m$ ; 2) finas, menores a  $2,5 \mu m$  y 3) ultrafinas, menores a  $0,10 \mu m$ . Pero de manera general las PM se clasifican en solo dos grupos: PM10 (gruesas) y PM2.5 (que agrupa finas y ultrafinas).

La pregunta que nace de manera natural es: ¿el aire de la urbe capitalina de Panamá está contaminado por PM? La respuesta debe basarse en evidencias científicas producto de mediciones. Primero es pertinente consultar las estadísticas panameñas sobre los efectos en la salud que

está en la morbilidad asociada a esta contaminación. El Ministerio de Salud (Estadísticas de salud, s.f.) indica que aumentaron las enfermedades: 1) de las vías respiratorias superiores e inferiores; 2) del sistema cardiovascular; 3) la diabetes mellitus; 4) las muertes por cáncer de pulmón. Con esta información, la respuesta a la pregunta al inicio de este párrafo requiere identificar las posibles fuentes de PM que estén afectando la calidad del aire, medir los niveles de contaminación por PM, analizar los resultados y verificar en qué proporción están contaminando.

Por las estadísticas de salud debe haber alta contaminación por PM en la urbe capitalina. Las potenciales causas de esa contaminación atmosférica pueden ser muchas, pero entre las de peculiar importancia están las quemadas de herbazales y los incendios forestales y el alto tráfico automotriz. La Contraloría General de la República (CGR) en su página WEB señala que, para la provincia de Panamá, las quemadas e incendios forestales, en un intervalo de 15 años que va de 2006 a 2020, se repartieron así: 94 en 2006, 348 en 2007, 109 en 2008, 140 en 2009, 42 en 2010, 58 en 2011, 32 en 2012, 50 en 2013, 2 en 2014, 636 en 2015, 715 en 2016, 87 en 2017, 178 en 2018, 239 en 2019, 70 en 2020, para un promedio de 187/año. Los eventos señalados por su influencia sobre la calidad del aire se pueden caracterizar como emblemáticos. En 2013, en Cerro Patacón un fuego tardó una semana en ser controlado. En 2018, alrededor del “Parque Nacional Camino de Cruces”, un incendio forestal consumió 15 hectáreas y otro, en Cerro Patacón, demoró varias horas en ser apagado. Últimamente, en Cerro Patacón hay varios fuegos durante el año.

Según las estadísticas de la CGR otras importantes y constantes fuentes de contaminación del aire por PM han tenido un aumento importante. Por ejemplo, el parque vehicular (que usa combustible fósil, altamente contaminante) y la actividad de la construcción (que produce mucho polvo). Lo anterior permite afirmar que el aire en la ciudad de Panamá contiene los elementos necesarios para explicar el aumento significativo de las enfermedades crónicas de las vías respiratorias, del corazón, la diabetes y el cáncer de pulmón. Por ejemplo, hay que destacar que según algunos autores (Bowe *et al.* 2018), la diabetes es una consecuencia “directa” de la baja calidad del aire en términos de material particulado.

La siguiente pregunta que cabe, de manera lógica, es: ¿se tiene información cuantitativa sobre PM en la ciudad de Panamá? La estación PAP50 ha llevado a cabo mediciones de PM de alta confianza y robustez con la finalidad de detectar material radiactivo adherido a las partículas suspendidas en el aire PM. Para medir de manera significativa el PM de manera diaria, se utiliza un sistema de alto flujo, costoso y fijo basado en gravimetría, el cual se encuentra ubicado en un lugar alto para colectar principalmente las partículas que demoran en depositarse, específicamente en la azotea del “edificio de la colina” de la Universidad de Panamá, a 90 m sobre el nivel del mar, haciendo de este sitio un lugar representativo del centro de la urbe capitalina. En este estudio se analiza la información recopilada de PM entre los años 2006 y 2022.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El campus central de la Universidad de Panamá (UP) alberga la estación RN50 que forma parte de la red mundial que vigila el cumplimiento del Tratado de Prohibición Completa de los “Ensayos Nucleares”, CTBT. La red cuenta con cuatro tecnologías y un sistema de comunicación global. Una de esas tecnologías es de radionucleidos (RN) que tiene dos subredes, una formada por 80 estaciones para la detección de partículas radiactivas suspendidas en el aire (P). A Panamá (PA) se le asignó, la subestación PAP50 (PA por Panamá, P por Partículas y es la número 50) que recolecta durante 23,75 horas (promedio diario), el material particulado PM, con una aspiradora de alto flujo, Senya (SNOW WHITE, SW, modelo JL-900, High Volume Air Sampler, mostrada en la figura 1). Los equipos, materiales y métodos utilizados son los descritos en la metodología descritos en el Manual de Operaciones de las estaciones de radionucleidos del CTBTO (<https://www.ctbto.org/>) y tenemos la certificación internacional obtenida en el año 2005. La SW es una aspiradora de alta potencia que tiene un flujo continuo y constante de 970 m<sup>3</sup>/h y aspira diariamente un promedio de 23 000 m<sup>3</sup> de aire, durante los 365 días al año. Además de ser calibrado, el flujo es medido cada 10 minutos (in situ) en tiempo real, utilizando las variables presión

y temperatura de entrada y salida y por software se hace la corrección, con los valores de la temperatura y presión. La cúpula, por su forma semiesférica, es homogeneizadora del flujo de entrada y evita que el filtro: 1) recoja partículas que no permanecen mucho tiempo suspendidas en el aire; 2) se moje en su interior (por la lluvia); 3) tenga turbulencias; 4) reciba ráfagas de aire. En su interior se coloca el filtro 3M (certificado) colector de partículas que tiene un área efectiva de  $(53,0 \times 42,0) \text{ cm}^2$ , sobre un enrejillado aluminizado especial que ayuda a preservar la geometría e integridad del filtro ante el alto flujo.



Fig.1. Vista de la aspiradora SNOW WHITE, SW, modelo JL-900 en la azotea del edificio de la rectoría.

Los filtros 3M (certificados) son hidrofóbicos, resistentes a la aspiración con alta presión y su eficiencia en función del flujo (presión, etc. y el tamaño de las partículas) fue estudiada (Valmari & Moring, 2000) dando excelentes resultados. La aspiradora se ajusta al funcionamiento óptimo del filtro 3M para las PM. La masa inicial de los filtros es de 5,500 g (masa real de trabajo). Diariamente, a las 11:00 UTC, se realiza, en el laboratorio 110 del edificio Los Gemelos, según un protocolo estandarizado, con controles de limpieza, temperatura y de humedad relativa, el proceso de pesado previo del filtro limpio, se cambia el filtro saliente, con partículas PM, esto incluye el método de doblado, prensado y pesado, etc. (Fernández García & Pérez Castro, 2016) del dicho filtro. Se mide la cantidad de material particulado PM por un método analítico

cuantitativo (gravimétrico con balanza calibrada), cumpliendo con los Principios de Medición de la Calidad del Aire (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático INECC, 2019). Se usa una balanza Ohaus calibrada, con trazabilidad y con una precisión de 0,001 g.

La calidad de los procesos de medición llevados a cabo por la estación RN50 (entre ellos la cantidad de muestra) son controlados con el intercambio de muestras, cada seis meses, con uno de los 16 laboratorios primarios (Lab. Primario) mundiales de la red. Los últimos resultados de la Inter comparación (adjuntos) indican un excelente resultado, que ha sido la norma en la Estación (Tabla 1).

Tabla 1. Inter comparaciones con laboratorios primarios del año 2022 y 2023.

Lab. Primario	Fecha	Núm. de muestra	RN50 ( $Bq/m^3$ )	Lab. Prim. ( $Bq/m^3$ )	Dif. en %
FIL07	2022-10-28	50202209301 111	7,384 1 $\times 10^{-4}$	7,016 3 $\times 10^{-4}$	5,20
ILL09	2023-01-14	50202301141 111	2,826 1 $\times 10^{-3}$	2,873 6 $\times 10^{-3}$	1,68

### Herramientas estadísticas para el análisis de los datos recopilados por la aspiradora SW

- ANOVA de una vía, según Stames, Yates y Moore (2010), permite comparar la media de tres o más grupos en una sola variable independiente. Se utiliza cuando se tiene una variable independiente y se necesita determinar si dicha variable tiene un efecto significativo sobre la variable dependiente (Fiel, 2013). De acuerdo con Gravetter y Wallnau (2017), es una prueba global de la hipótesis nula de que todas las medias son iguales y se utiliza para determinar si al menos un grupo es significativamente diferente de los demás. Si ANOVA muestra una diferencia significativa entre los grupos (hipótesis alternativa), entonces se utiliza una prueba post-hoc para

identificar entre qué grupos existen diferencias significativas (Howell, 2012).

- TUKEY es una prueba post-hoc (Sullivan y Artino, 2013) que busca identificar qué grupos difieren significativamente entre sí después de que se haya demostrado una diferencia significativa en los resultados de la prueba ANOVA. TUKEY se centra en hacer comparaciones múltiples entre todos los pares de grupos y determinar si hay diferencias significativas en las medias y determinar continuidad (Fiel, 2013).
  
- EL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON permite cuantificar una correlación lineal entre las muestras cuantitativas (los datos), obtenidos con dos instrumentos de medición. El rango de valores que puede tomar el coeficiente de Pearson (Triola, 2006) está entre 1 y -1 y se clasifica con los siguientes criterios: 1) un valor de -1 indica una correlación lineal negativa perfecta; 2) un valor de 0 indica ausencia total de correlación lineal entre las dos variables; 3) un valor de 1 indica una correlación lineal positiva perfecta. Los valores intermedios entre -1 y 0 indican “cierta” correlación lineal negativa, mientras que los valores entre 0 y 1 “cierta” correlación lineal positiva. Cuanto más cercano a 1 sea el valor absoluto de ese coeficiente, más fuerte será la relación lineal entre las dos variables.
- HISTOGRAMAS. Para digitalizar los datos recopilados con ambos instrumentos se construyen histogramas y se ajustan para identificar el tipo de distribución. Una de las aplicaciones más comunes de los histogramas en el análisis de datos experimentales, es la identificación del modelo probabilístico que se ajusta a los datos (Makridakis *et al.* 2008).

Por último, es necesario señalar que se usa el programa OriginPro 2021 académico para el análisis y tratamiento de los datos de este trabajo. Se cuenta con la licencia correspondiente.

## **RESULTADOS Y ANÁLISIS**

PAP50 envía una muestra de PM cada 6 meses, a uno de los 16 laboratorios primarios mundiales de radiactividad para evaluar su desempeño, lo que permite garantizar que las muestras y la información sobre radiactividad por concentración másica (C) obtenida con esas muestras de PM, es fiable, de alta calidad e Inter comparable. En consecuencia, C de las muestras de PM (Figura 2) es fiable y de alta calidad. O sea que la información, usando la concentración del material particulado PM atmosférico, obtenida por PAP50, en el área del Campus Central de la Universidad de Panamá es robusta y confiable.

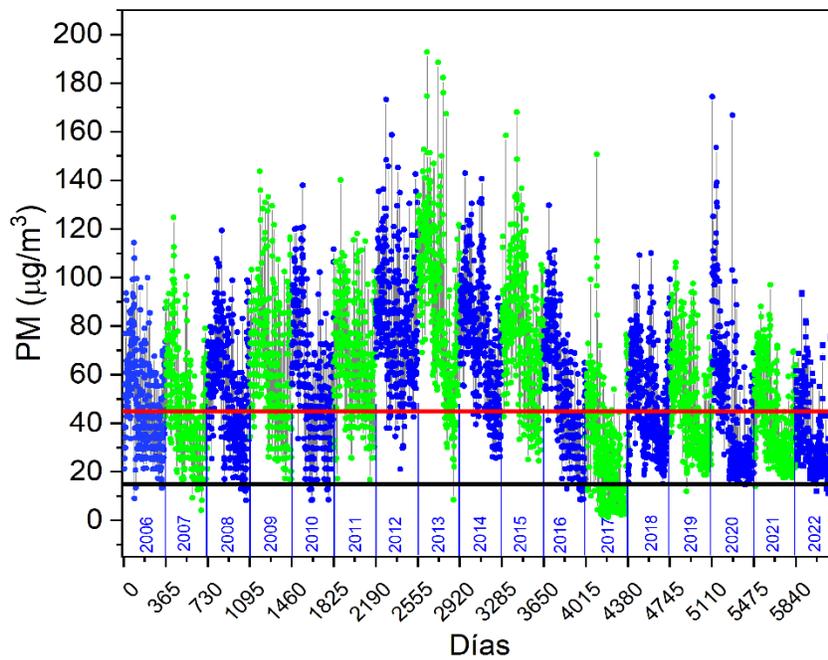


Fig.2. Valores diarios de la concentración de PM, de enero de 2006 a diciembre de 2022.

En la Figura 2 se muestran los valores diarios de C ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de PM desde el primero de enero del año 2006 hasta 31 de diciembre de 2022 (6 209 datos, es un gran número). Se observa un comportamiento colectivo que muestra una tendencia del valor promedio, a la subida de 2006 a 2013 (año con valores más altos de PM). A partir del 2013 se inicia una bajada de esos valores hasta el 2017. Del 2017 al 2022, el comportamiento cambia y se asemeja a una pequeña oscilación. Según la OMS (2021) la media anual de PM debe mantenerse por debajo de un

máximo de  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (línea en color negro) y esto no se cumple, y la media diaria debe estar por debajo de  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (línea en rojo) y tampoco se cumple, indicando alta contaminación. Además, la data muestra alta dispersión con respecto a la media.

De lo anterior surge una pregunta natural ¿hay diferencias estadísticamente significativas entre años consecutivos? Eso requiere aplicar la prueba ANOVA de una vía (y su complemento TUKEY) a todos los datos anuales de PM del 2006 al 2022. Hay que tener presente que la hipótesis nula es que los promedios de todos los años son iguales y la hipótesis alternativa es que son diferentes y de ser así, solo habría 5% de probabilidad de que la diferencia observada sea el resultado del azar o de un error de muestreo (figura 3). Los resultados indican que las medias son diferentes.

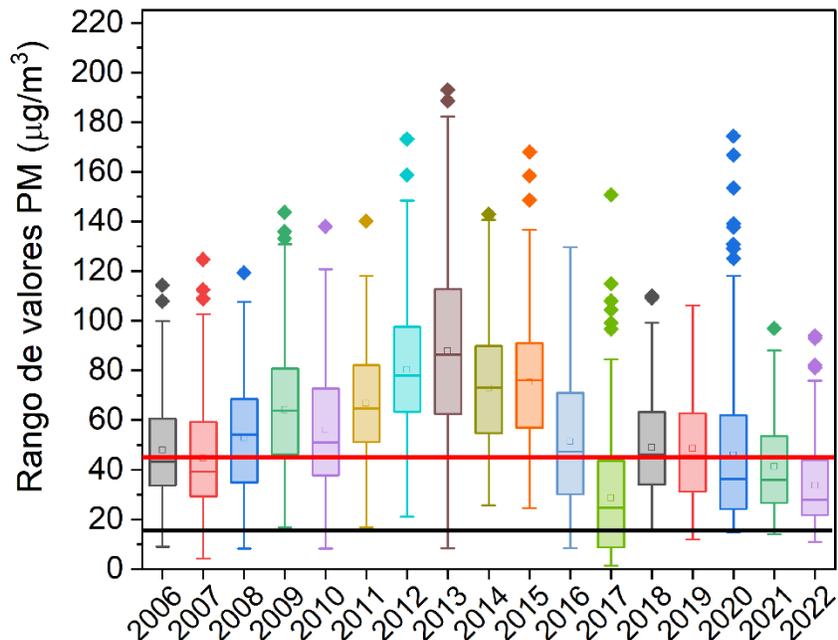


Fig.3. Representación gráfica de los valores de la media de PM, por año, del 2006 al 2022.

Se puede afirmar que hay una tendencia a una fluctuación de los valores, con un periodo de alrededor de 11 años y cuyo pico fue el año 2013 (figura 3). Estas tendencias son similares al comportamiento de los promedios de la concentración de  $^7\text{Be}$ , en función de los años que ya

fueron observadas con la detección, sobre la superficie terrestre, de este elemento (Pérez y Fernández, 2019). Lo que indica una posible relación con el Clima y la Geografía, así como con el comportamiento del astro Sol. Por otro lado, la similitud en los promedios de los años 2018, 2019 y 2020 (según la prueba TUKEY) presentados bajo forma de tabla, Figura 4, corresponden a una inflexión de la curva de la figura 3 por lo que esta prueba permite suponer que realmente si hay variaciones (ascenso o descenso de los promedios anuales).

Como se trata de cierto tipo de “big data” (6 209 datos con comportamiento complejo y con mucha dispersión anual) se deben también analizar las tendencias de los datos en función del día del año para ver sus ascensos o descensos, y sus posibles causas. Se tiene data de 17 años lo que permite trabajar con los promedios diarios de 17 años. Para ello se elaboró la representación gráfica en la figura 5a corregida con la 5b (para seguir las tendencias) con los PM de los 365 días del año (valor promedio por día del año con los promedios de los valores de 17 años).

Año	Media	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
2007	44,69								×	×	
2008	52,88					×	×				
2009	64,90				×						
2010	56,11					×					
2011	66,62				×						
2012	80,31		×								
2013	87,92	×									
2014	72,97			×							
2015	75,29		×	×							
2016	51,29					×	×	×			
2017	28,72										×
2018	48,85						×	×	×		
2019	48,52						×	×	×		
2020	45,96							×	×	×	
2021	41,31									×	
2022	33,68										×

Fig.4. Tabla de los resultados de los agrupamientos del promedio de PM por año, del 2006 al 2022 obtenidos con la prueba TUKEY.

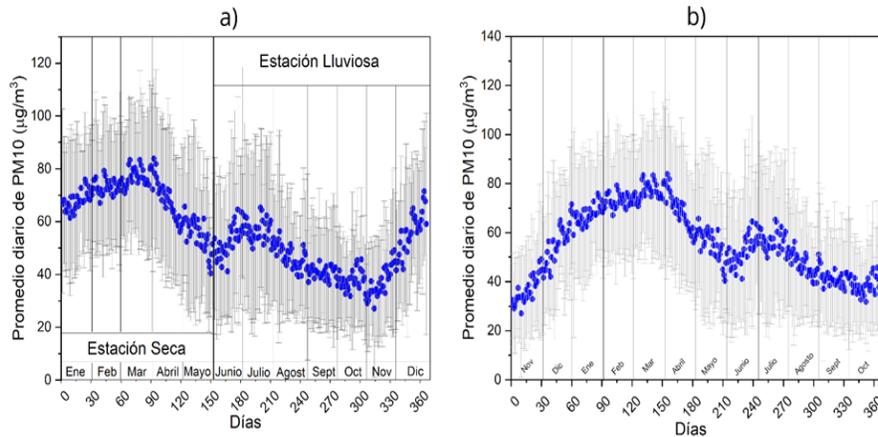


Fig. 5a y 5b. Promedio diario (por ejemplo, de todos los primeros de enero de los años 2006 al 2022).

En las figuras 5 se observan tendencias a mostrar mayores valores de contaminación (C) durante la estación seca que se inicia los primeros días de noviembre. Finaliza al llegar a un máximo a finales de marzo y con las lluvias los valores de PM tienden a disminuir generando una etapa de transición que va de abril hasta finales de mayo. En la estación lluviosa hay tendencia de la concentración de PM a fluctuar (subidas y bajadas) entre junio y julio. Es lo que se denomina el veranillo de San Juan, con dos máximos: el 24 de junio y otro hacia el 20 de julio. La tendencia siguiente es al descenso de las PM por las intensas lluvias en agosto, septiembre y octubre, que son meses más lluviosos.

El comportamiento anterior justifica el rehacer la curva 5a para ponerla bajo la forma 5b. Ello debido a que de la figura 5a se puede extraer que la tendencia al aumento de PM apreciable en enero, febrero y marzo (máximos en marzo), realmente comienza a finales de octubre del año anterior (fig. 5b). Las variaciones de la curva de la figura 5b reclasifica el comportamiento anual conocido como estaciones clásicas (seca y lluviosa) en cuatro etapas, un poco como en los hemisferios norte y sur

donde se muestran cuatro estaciones clásicas (verano, primavera, otoño e invierno). Esta clasificación está respaldada por los histogramas de los valores promedios y de las dispersiones que se ajustan muy bien con curvas de comportamiento normal (gaussianas), que le dan la estructura matemática (figura 6).

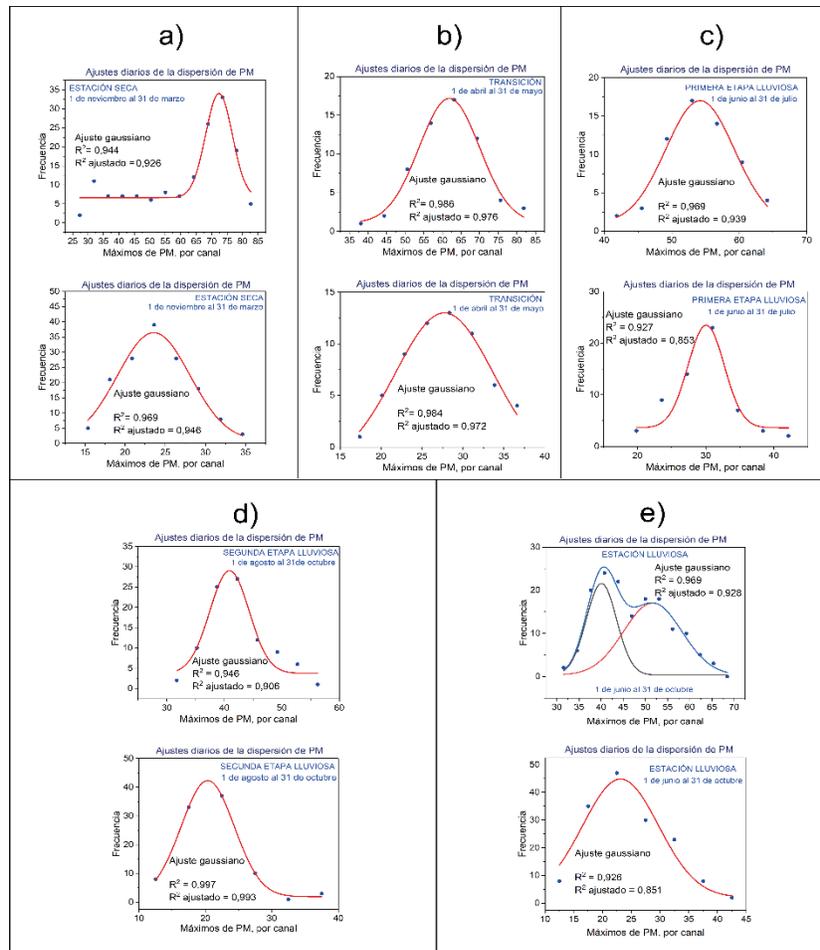


Fig. 6. Histogramas ajustados con gaussianas de los promedios y de la dispersión de los valores promedios de la estación seca, de la transición y de las (2) etapas de la estación lluviosa.

En la figura 6 se observa:

1. una estación seca (1 de nov a 31 de marzo, Fig. 6a);

2. una etapa de transición (1 de abril al 31 de mayo, Fig. 6b);
3. una estación lluviosa (Fig. 6e) con dos etapas;
  - 3.a. estación lluviosa - primera etapa (1 de junio al 31 de julio, Fig. 6c);
  - 3.b. estación lluviosa - segunda etapa (1 de agosto al 31 de octubre, Fig. 6d).

Entre las dos etapas de la estación de lluvias se observa el veranillo de San Juan o sea al final de la primera etapa e inicio de la segunda etapa lluviosa.

En este punto es necesario comentar un poco más la información que proporcionan las figuras 5 y 6. Se procedió a ajustar los datos de las estaciones seca, transición y lluviosa. Los ajustes muestran que las variaciones siguen crecimientos y descensos de la contaminación representados con combinaciones de funciones potenciales u ondulatorias de tipo senoidal. Eso incluye exponentes enteros y fraccionarios y de ambos signos. Por ejemplo, un ajuste de la estación seca conduce a un crecimiento del tipo “alométrico”  $y = Ax^p$  donde  $A = 17$  y  $p = 1/3$  o sea  $f(x) = 17x^{1/3}$ , figura 7a. La transición es lineal decreciente, figura 7b. El de la estación lluviosa se ajusta con una oscilación senoidal (figuras 7c y 7d).

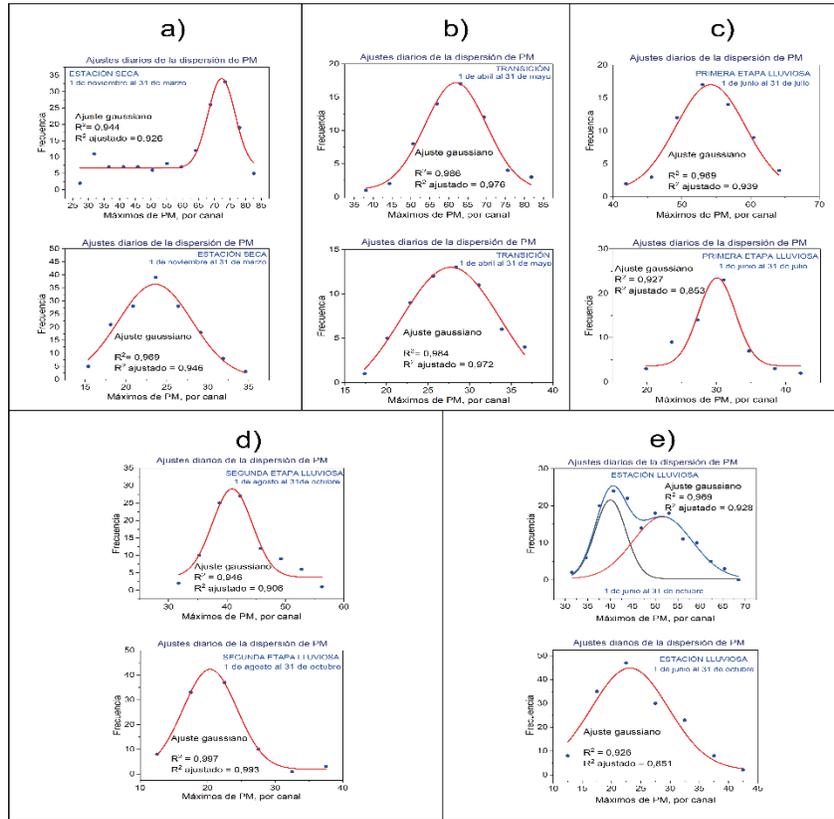


Fig. 7. Ajuste de los datos de PM para las distintas etapas.

Esos comportamientos sugieren relaciones con la meteorología, o sea que las concentraciones de PM están fuertemente correlacionadas con la meteorología.

Todo lo señalado hasta el momento orienta a la búsqueda de una correlación con las variables meteorológicas, entre otras con las variables clásicas como la precipitación y la temperatura. En consecuencia, se procede a identificar si existe algún tipo de correlación entre los valores promedios (de 2006 a 2022), por mes, normalizados, de las PM con seis variables meteorológicas básicas (precipitación, humedad relativa, presión atmosférica, temperatura, dirección y rapidez del viento). Los resultados que se describen a continuación se ven apoyados por la información de la figura 8:

1. Correlación inversa alta: de PM con la Humedad relativa (-0,897) y la precipitación (-0,851). Ver figura 8a (pero con menor dispersión de la Humedad Relativa).
2. Correlación directa alta: de PM con la Temperatura (0,826) y la rapidez del viento (0,895). Ver figura 8b (pero con menor dispersión de la Temperatura).
3. No se encontró ningún tipo de correlación de PM con la presión y la dirección del viento.

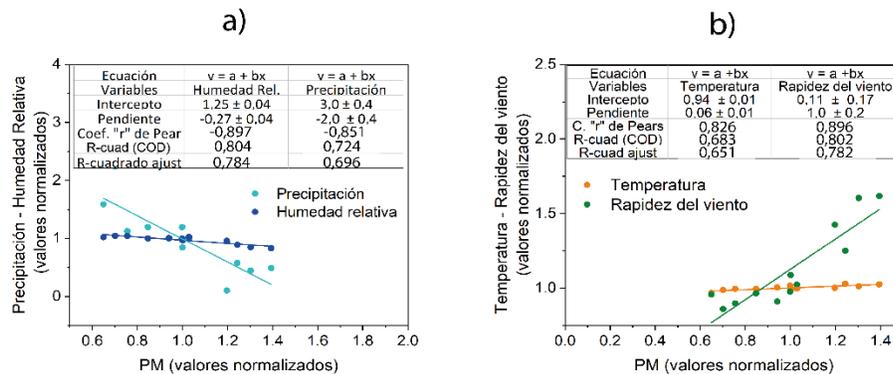


Fig. 8. Ajuste lineal entre los valores normalizados de PM con a) Precipitación y Humedad Relativa. b) Temperatura y Rapidez del viento.

Esos resultados sugieren que las concentraciones de PM son influenciadas fuertemente por las variables meteorológicas y que las altas concentraciones de PM influyen sobre varias variables meteorológicas (Figuras 8a y 8b), lo que implica que la contaminación puede generar un cambio climático en vista de la fuerte correlación entre meteorología y cambio climático. Esto lleva a la reflexión de que hay que evitar la contaminación atmosférica por PM.

## CONCLUSIONES

La Meteorología junto con la Climatología estudian la atmósfera terrestre y sus fenómenos y para ello combina elementos de determinismo, probabilidad y caos. Se basa en la física de la atmósfera y trata de predecir el comportamiento futuro de los sistemas meteorológicos utilizando modelos matemáticos. Por otro lado, siempre

hay un grado de incertidumbre en las predicciones meteorológicas. Esto se debe a que la atmósfera es un sistema complejo y no lineal, y en consecuencia, las pequeñas variaciones en las condiciones iniciales pueden impactar significativamente su comportamiento a largo plazo. Además, la Física también es una ciencia que estudia los sistemas caóticos que son altamente sensibles a las condiciones iniciales y pueden ser impredecibles a largo plazo. La concentración de PM es dependiente de la Meteorología y de la actividad humana, de allí su alta dispersión. La alta circulación vehicular y el manejo inadecuado de las reglas para el control de la contaminación, como las quemadas, etc., generan alta concentración de PM. La medición muestra tendencias y relaciones con la pluviometría lo que permiten sacar conclusiones. Por ejemplo, es simplista decir que tenemos dos estaciones anuales: seca y lluviosa. En 17 años vemos tendencias que dibujan cuatro etapas anuales con cierto comportamiento probabilista estable, pero con alta dispersión. El comportamiento anual refleja influencias externas al planeta como la del astro Sol.

## REFERENCIAS

Alejandrina, G. P., Anselmo, G. F. I., Benjamín, S. G., Pilar, F. H., María, G. M. R., Carlos, B. Y. J., ... & Senén, D. A. J. (2012). Contaminación atmosférica (Vol. 6101305). Editorial UNED.

Arciniegas Suarez, C. A. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. *Luna Azul*, (34), 195-213.

Agencia Europea de Medio Ambiente. (2013). Cada vez que respiramos. Mejorar la calidad del aire en Europa. Copenhague. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. <https://www.eea.europa.eu/es/publications/senales-2013-cada-vez-que-respiramos>

Bowe, B., Xie, Y., Li, T., Yan, Y., Xian, H., & Al-Aly, Z. (2018). The 2016 global and national burden of diabetes mellitus attributable to PM2.5 air pollution. *The Lancet Planetary Health*, 2(7), e301-e312.

Estadísticas de Salud. (s.f.) Ministerio de Salud, Panamá.  
<https://www.minsa.gob.pa/informacion-salud/estadisticas-de-salud>

Estadísticas CGR. (s.f.). Contraloría General de la República, Panamá.  
<https://www.contraloria.gob.pa/estadisticas-cgr.html>

Fernández García, B., & Pérez Castro, O. (2016). Monitoreo de las partículas suspendidas en el aire en la Estación RN50. Cuaderno 4. Recuperado el 10 de febrero de 2019, de <https://www.estacionrn50.org/cuaderno-4/>

Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. sage.

Gravetter, F. J., & Wallnau, L. B. (2017). Estadística para las ciencias del comportamiento (10.<sup>a</sup> ed.). Cengage Learning.

Howell, D. C. (2012). *Statistical methods for psychology* (8th ed.). Wadsworth.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio climático (INECC). (2019). Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA). Manual Principios de Medición de la Calidad del Aire. Recuperado el 11 de marzo de 2019, de <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/1-%>

Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (2008). *Forecasting methods and applications*. John wiley & sons.

Nieuwenhuijzen, M. (2021). Contaminación atmosférica y la salud pública. *Investigación y Ciencias. Temas 104. Contaminación Medioambiente y Salud.*

Organización Mundial de la Salud. (2016). La OMS publica estimaciones nacionales sobre la exposición a la contaminación del aire y sus repercusiones para la salud. <https://www.who.int/es/news-room/detail/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact>

Organización Mundial de la Salud: <https://www.who.int/es/news-room/detail/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact>

Organización Mundial de la Salud. (2020). Las 10 principales causas de defunción. Recuperado de: <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/the-top-10-causes-of-death>

Organización Mundial de la Salud. (2021). Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire: partículas en suspensión (PM2.5 y PM10), ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono. Resumen. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Organización Mundial de la Salud. (22 de septiembre de 2021). Las nuevas Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire tienen como objetivo evitar millones de muertes debidas a la contaminación del aire. <https://www.who.int/es/news/item/22-09-2021-new-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>

Pérez, O., & Fernández, B. (2019). Trazadores atmosféricos BE-7, K-40 Y PB-210 en la ciudad de Panamá. *Scientia*, 29(1), 44-67.

Sullivan, G. M., & Artino, A. R. (2013). Analyzing and interpreting data from Likert-type scales. *Journal of graduate medical education*, 5(4), 541-542.

Starnes, D. S., Yates, D., & Moore, D. S. (2010). *The practice of statistics*. Macmillan.

Triola, M. F., Goodman, W. M., Law, R., & Labute, G. (2006). *Elementary statistics* (p. 794). Reading: Pearson/Addison-Wesley.

Valmari, T. & Moring, M. (2000). Testing of different types of flat filtering media for IMS radionuclide stations. Contract 02/1/20/025 Testing Services. STUK-Radiation and Nuclear Safety Authority.

Research and Environmental Surveillance, Airborne Radioactivity, Finland.

Viana Rodríguez, M. (2003). Niveles, composición y origen del material particulado atmosférico en los sectores Norte y Este de la Península Ibérica y Canarias. [Tesis de Doctorado, Universitat de Barcelona.]. Dipòsit Digital de la Universitat de Barcelona.