



Análisis de las partículas contaminantes PM2,5 en Santa Cruz de Tenerife

Geografía y Ordenación del Territorio

Autor: Sergio Cabrera Encinosa

Tutor: Miguel Ángel Mejías Vera

ÍNDICE

	<i>Páginas</i>
RESUMEN/ABSTRACT	6
1. INTRODUCCIÓN	7
2. ANTECEDENTES	8
3. OBJETIVOS	21
4. FUENTES Y MÉTODO.....	22
5. RESULTADOS	25
5.1. PERIODO 2013-2020	26
5.1.1. Medias anuales	26
5.1.2. Medias mensuales	27
5.1.3. Medias estacionales	27
5.1.4. Valores Máximos Diarios	28
5.1.5. Valores Máximos Horarios	29
5.2. AÑO 2020	31
5.2.1. Medias mensuales	31
5.2.2. Medias estacionales	31
5.2.3. Valores Máximos Diarios	32
5.2.4. Valores Máximos Horarios	33
5.3. PERIODO DE CALIMA EN S/C DE TENERIF.....	34
5.3.1. Medias diarias (PM _{2,5})	34
5.3.2. Valores Máximos Diarios	36
5.4. ENCUESTA.....	39
6. DISCUSIÓN.....	43
7. CONCLUSIÓN	44

8. REFERENCIAS	46
9. BIBLIOGRAFÍA	49

ÍNDICE TABLAS

Páginas

Tabla 1. VLE Normativa Europea y OMS para PM10 y PM2,5.....	13
Tabla 2. Estaciones de Calidad del Aire (Santa Cruz de Tenerife) que miden las PM2,5.....	25
Tabla 3. Medias Estacionales de PM2,5 de la Estación Piscina Municipal 2013-2020.....	28
Tabla 4. Medias Estacionales de PM2,5 de la Estación Piscina Municipal 2020.....	31
Tabla 5. Medias Diarias de PM2,5 en las estaciones de Santa Cruz de Tenerife (22-25 Febrero 2020)	34

ÍNDICE FIGURAS

Páginas

Figura 1. Formación de contaminantes.....	10
Figura 2. Comparación del tamaño de las partículas PM.....	11
Figura 3. Días (% anual) con influencia de polvo africano en el año 2019.....	14
Figura 4. Categorías para los 5 contaminantes principales según el Índice de Calidad del Aire (ICA)	17
Figura 5. Recomendaciones sanitarias según el Índice de Calidad del Aire (ICA)	18
Figura 6. Localización de las Estaciones de Calidad del Aire en Tenerife.....	24
Figura 7. Estaciones de Calidad del Aire en Santa Cruz de Tenerife que miden las PM2,5	25
Figura 8. Resultados de la comparación de múltiples modelos de predicción de concentración de polvo.....	36
Figura 9. Suspensión Carnaval S/C de Tenerife 22 de Febrero de 2020.....	37
Figura 10. Se retoma el Carnaval S/C de Tenerife 23 de Febrero de 2020.....	38

Figura 11. Nota de prensa. Ayuntamiento S/C de Tenerife retoma el Carnaval.....	44
---	----

ÍNDICE GRÁFICOS

Páginas

Gráfico 1. Medias Anuales de PM2,5 de la Estación Piscina Municipal 2013-2020	26
Gráfico 2. Medias Mensuales de PM2,5 de la Estación Piscina Municipal 2013- 2020.....	27
Gráfico 3. Valores máximos diarios de PM2,5 de la Estación Piscina Municipal 2013- 2020.....	29
Gráfico 4. Valores máximos horarios de PM2,5 de la Estación Piscina Municipal 2013- 2020.....	30
Gráfico 5. Medias Mensuales de PM2,5 de la Estación Piscina Municipal 2020.....	31
Gráfico 6. Medias Estacionales de PM2,5 de la Estación Piscina Municipal 2020.....	32
Gráfico 7. Valores máximos diarios por mes de PM2,5 en la Estación Piscina Municipal 2020.....	32
Gráfico 8. Valores máximos horarios por mes de PM2,5 de la Estación Piscina Municipal 2020.....	33
Gráfico 9. Valores horarios de PM2,5 en la Estación de Tío Pino el 23 de Febrero de 2020.....	35
Gráfico 10. Valores horarios de PM2,5 de la Estación Piscina Municipal (22-25 Febrero 2020).....	37
Gráfico 11. Comparativa entre el Valor límite Diario (OMS), Valor diario del 23/02/2020 en la estación Piscina Municipal, y el Valor máximo horario a las 18:00 del 23/02/2020 en la estación Piscina Municipal.....	39

Gráfico 12. Pregunta 1: ¿Cuánto te afecta la calima?.....	40
Gráfico 13. P3: ¿Conoces los efectos adversos que provoca la calima en la salud?.....	40
Gráfico 14. P10: ¿Qué efectos negativos crees que puede provocar la calima en nuestra salud?.....	41
Gráfico 15. P7: ¿Sabes qué medidas tomar en caso de episodios de calima?.....	41
Gráfico 16. P6: ¿Sabías que en el episodio de calima que coincidió con fechas del Carnaval 2020, Tenerife tenía el aire más contaminado del mundo?.....	42
Gráfico 17. P9: ¿Crees que los organismos competentes (Ayuntamiento, Cabildo y Gobiernos) deberían tener un plan de emergencia cuando se sobrepasen los límites establecidos de contaminación por calima?.....	42

RESUMEN

La contaminación atmosférica es causante de un gran número de enfermedades y muertes en todo el mundo. En Canarias el principal foco de contaminación viene precedido por las partículas en suspensión a través de las advecciones saharianas, por lo que se considera esencial indagar más sobre este fenómeno que afecta tanto al archipiélago. En este estudio se pretende investigar sobre el material particulado del cielo canario, enfatizando en las partículas inferiores a 2,5 micras (PM_{2,5}), ya que se consideran las más perjudiciales para la salud. Para ello, se estudiará cómo han ido evolucionando los valores a través de medias anuales, estacionales, mensuales, diarias y horarias. Finalmente se resaltaré el episodio de calima que sufrió Canarias en Febrero de 2020, centrándose el estudio en los valores obtenidos de la estación de la Piscina Municipal, en Santa Cruz de Tenerife y analizando qué medidas tomaron las autoridades competentes, ya que los altos niveles de partículas contaminantes en esas fechas coincidió con actos del Carnaval.

PALABRAS CLAVE: material particulado; polvo en suspensión; pm_{2,5}; contaminación atmosférica.

ABSTRACT

Air pollution is the cause of a great number of illnesses and deaths around the world. In the Canary Islands, the main source of contamination is preceded by particles in suspension through the Saharan advections, so it is considered essential to investigate more about this phenomenon that affects the archipelago so much. This study aims to investigate the particulate matter in the Canarian sky, emphasizing particles smaller than 2.5 microns (PM_{2.5}), since they are considered the most harmful to health. To do this, we will study how the values have evolved through annual, seasonal, monthly, daily and hourly averages. Finally, the haze episode that the Canary Islands suffered in February 2020 will be highlighted, focusing the study on the values obtained from the Municipal Pool station, in Santa Cruz de Tenerife and analyzing what measures the competent authorities took, since the high levels of polluting particles on those dates coincided with Carnival events.

KEYWORDS: particulate matter; suspended dust; pm_{2.5}; air pollution, air quality.

1. INTRODUCCIÓN

Las partículas en suspensión son un elemento clave en la contaminación atmosférica, de hecho, en los últimos años se ha centrado el estudio en estas partículas sobre todo en las partículas finas, conocidas como PM_{2,5} (diámetro inferior a 2,5 micras). Cuanto más pequeñas son las partículas, más perjudiciales, debido a que pueden atravesar la barrera pulmonar y entrar en el sistema sanguíneo. Una alta exposición contribuye al riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como cáncer de pulmón. Estas partículas provienen tanto de fuentes naturales como de fuentes antropogénicas.

En Canarias los niveles de PM_{2,5} por fuentes antropogénicas suelen cumplir los valores límites establecidos por la Normativa Europea y la Organización Mundial de la Salud (OMS). El problema, en este sentido, del archipiélago canario es que su fuente natural de partículas proviene principalmente del polvo en suspensión procedente de advecciones de aire sahariano, una de las situaciones atmosféricas más recurrentes en las islas. La normativa europea no sanciona si se demuestra que los niveles de contaminación han sido superados por causas naturales (*Real Decreto 102/2011 artículo 22.2*). Sin embargo, analizaremos qué medidas llevan a cabo las administraciones locales cuando aparece un episodio de calima.

La mayoría de los estudios de PM_{2,5} en el mundo, están asociados a la combustión de vehículos, actividades del sector industrial...etc. Pero, Canarias no debe seguir esos modelos, ya que en ese sentido sus niveles de contaminación por partículas cumplen la normativa. Por lo tanto, las medidas que debe tomar Canarias para afrontar el riesgo de convivir con altos niveles de PM_{2,5} debe ser diferente a las medidas que toman otras ciudades.

Según AEMET, la calidad del aire es la «presencia en mayor o menor medida de contaminantes en la atmósfera que puedan ser nocivos para la salud humana, para el medio ambiente en su conjunto y para otros bienes de cualquier naturaleza».

Uno de los problemas significativos que se ha encontrado al desarrollar este trabajo es que la serie temporal desde que se recogen datos de PM_{2,5} en Tenerife es corta, concretamente desde 2013 y muchas estaciones contienen bastantes días con valores nulos, incluso meses, es decir no existen datos durante muchos días. Además, se ha demostrado que en episodios de calima extremo como el ocurrido en febrero de 2020, varias estaciones a partir de un valor determinado (diferente en cada estación) de PM_{2,5} dejaban de recoger datos. Estas cuestiones nos hacen reflexionar, por un lado, que se debe invertir para mejorar la calidad de los datos, implantando más estaciones y con un mejor sistema de recogida de

datos; y por otro lado, demuestran que es imposible hacer un estudio totalmente fiable y con exactitud para entender cómo afectan los niveles de PM_{2,5} debido a esta mala calidad de los datos. «En los servicios de urgencias de Canarias, es sobradamente conocido que durante los días en que se presenta la calima, hay un aumento de admisión de pacientes con síntomas respiratorios» (García, 2001).

2. ANTECEDENTES

En las décadas de 1930, 40 y 50 del siglo XX, varios episodios de contaminación atmosférica extrema llamaron la atención sobre el potencial de efectos adversos para la salud provocados por la contaminación del aire. De estos episodios extremos, los más destacados fueron: el que tuvo lugar en el valle del Mosa, Bélgica, en diciembre de 1930, se caracteriza a este episodio como la primera catástrofe sanitaria atribuida a la contaminación atmosférica. «El desastre de la niebla del Mosa proporcionó evidencia incontrovertible de que la contaminación del aire podía matar y, por lo tanto, atrajo una atención considerable por parte de la comunidad científica» (Nemery, B, 2001). El siguiente episodio que conmovió a la comunidad científica fue el ocurrido en Donora, Pensilvania en 1948. De los 14.000 habitantes, la mitad enfermaron, y murieron 70 personas. Y, por último, los episodios de contaminación atmosférica que causaron más relevancia fueron los acontecidos en Londres en diferentes años. Destacando el de diciembre de 1952 conocido como «La Gran Niebla de 1952». Las investigaciones más recientes estiman la cifra de muertes entre 10.000 y 12.000 (Stone, R, 2002). El gobierno británico siempre había negado la relación entre contaminación y muertes, pero este mortal episodio llevó al gobierno británico a aprobar la primera Ley de Aire Limpio del mundo en 1956. En estos tres episodios de contaminación atmosférica existen dos coincidencias fundamentales que han ayudado a la comunidad científica a estudiar la relación entre contaminación atmosférica, salud y clima. Y es que en las tres ciudades predominaba una alta actividad del sector industrial, lo que conlleva a una emisión de contaminantes considerable. Pero además, lo que agravó la situación en las tres ciudades fue la presencia de una inversión térmica en capas bajas altitudinales, lo que dificultó la dispersión de estos contaminantes y provocó que la población respirara aire tóxico durante un intervalo de tiempo determinado en cada ciudad.

En la década de 1970, se demostró que existía una buena relación entre las enfermedades respiratorias y la contaminación del aire por partículas, pero aún había desacuerdos al determinar qué nivel de contaminación afectaría significativamente la salud

humana. Precisamente en este año, se crea la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) destacando la aparición de estándares de calidad del aire.

A mediados de la década de 1980, los estudios de la deposición y depuración de partículas en el sistema respiratorio, junto con los estudios de física y química atmosférica, sugirieron que las partículas más pequeñas podrían ser una parte mayor de la amenaza para la salud, y que las estrategias de control deberían enfocarse en partículas más pequeñas. Las partículas inhalables se definieron como partículas de menos de 10 μm de diámetro aerodinámico (PM10). En la década de 1990, la evidencia comenzó a desarrollarse sugiriendo que incluso partículas más pequeñas, es decir, aquellas de menos de 2.5 μm (PM2.5), podían penetrar en las regiones de intercambio de gases alveolares de los pulmones y pueden estar específicamente relacionadas con la salud (Dockery, D., Pope, A. 1994).

La EPA estableció la PM2,5 como un nuevo indicador de PM fina (EPA, 1997). Hasta 1997 sólo se establecían indicadores para las PM10.

El material particulado o partículas en suspensión son una mezcla de partículas sólidas y gotas líquidas suspendidas en el aire durante un tiempo determinado tanto de origen natural como de origen antropogénico. Engloba una gran variedad de compuestos que varían ampliamente tanto en sus características físico-químicas, como en su origen y vías de formación, y por tanto en sus efectos sobre la salud y el medio ambiente

En cuanto a mecanismo de formación se refiere, estas partículas se pueden clasificar en:

- Primarias: Vertidas directamente a la atmósfera desde la fuente de emisión ya sea de origen natural (erupciones volcánicas, incendios, polvo en suspensión, centrales industriales, etc.) o de origen antropogénico (ejemplo: monóxido de carbono procedente de vehículos)
- Secundarias: Se originan a partir de la interacción de los contaminantes primarios una vez en la atmósfera.

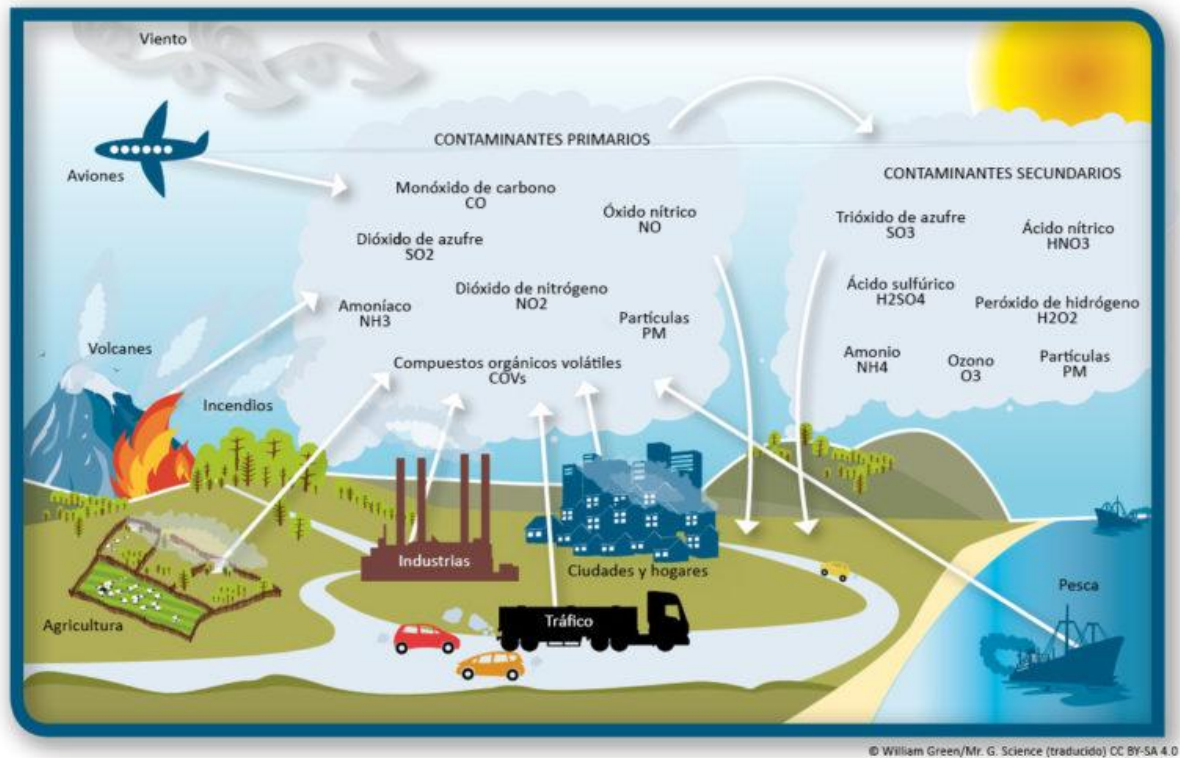


Figura 1. Formación de contaminantes. Fuente: William Green/Mr.G.Science

La unidad de medida que se utiliza para calcular y estudiar la presencia de estas partículas en el aire es el microgramo por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Las partículas en suspensión se clasifican según su diámetro aerodinámico:

- PM₁₀: Conocidas como partículas «gruesas». Las de mayor tamaño (su diámetro es igual o inferior a 10 micrómetros). Pueden penetrar y alojarse dentro de los pulmones.
- PM_{2,5}: Conocidas como partículas «finas». Las más dañinas para la salud (su diámetro es igual o inferior a 2,5 micrómetros). Pueden atravesar la barrera pulmonar y entrar en el sistema sanguíneo. Una alta exposición contribuye al riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como cáncer de pulmón, entre otros efectos.



Figura 2. Comparación del tamaño de las partículas PM. Fuente: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

La contaminación de partículas conlleva efectos sanitarios incluso con un nivel bajo de concentración. De hecho, no se ha podido identificar ningún umbral por debajo del cual no se hayan observado daños para la salud.

A parte de las fuentes de partículas mencionadas previamente (figura 1), hay que sumar otras partículas originadas por el desgaste de los frenos, los neumáticos o el embrague, la erosión del asfalto, así como la contaminación acústica que genera el tráfico, este tipo de fuentes está más relacionada a las PM 2,5.

La calidad del aire no solo depende de las emisiones contaminantes. También depende de los siguientes factores:

- La proximidad de la fuente y la altitud a la que se liberan los contaminantes. Cuanto más cerca se encuentre una población de la fuente de emisión de contaminantes, mayor es el riesgo de sufrir los efectos adversos. En cuanto a la altitud, si los contaminantes se emiten por encima de la capa de inversión, no afectan directamente a la salud de la población, por ello, muchas empresas relacionadas al sector industrial han situado las chimeneas a una altura considerable para que los contaminantes se emitan fuera de esta capa de inversión. Pero esto conlleva a otros efectos adversos como la predisposición a la formación de lluvia ácida.

- Las condiciones meteorológicas, como el viento, el calor, inversión térmica, etc.

Las condiciones meteorológicas tienen un papel fundamental en la dispersión de los contaminantes. La intensidad y dirección del viento son factores imprescindibles porque nos ayudan a averiguar hacia dónde se dirigen los contaminantes y con qué velocidad, pudiendo saber con antelación si esta masa de contaminación transcurrirá por zonas pobladas o no y si su paso será breve o no.

Las variaciones de temperatura en altura pueden ocasionar inversiones térmicas, este fenómeno puede causar una capa de inversión, lo que provoca que los contaminantes queden retenidos en un área determinada. En Canarias las inversiones térmicas son más frecuentes en invierno. El común denominador que tienen los episodios de contaminación atmosférica más grave que se conocen a nivel mundial, es que estuvieron influenciados por la inversión térmica.

- Las transformaciones químicas (reacciones a la luz solar y las interacciones de los contaminantes).

Este apartado estaría relacionado a los contaminantes secundarios: son el resultado de la interacción química entre los contaminantes primarios o entre componentes habituales de la atmósfera como por ejemplo el ácido sulfúrico, el ácido nítrico, el ozono... En este caso, los fenómenos más conocidos debido a transformaciones químicas en el aire son la lluvia ácida y el smog (niebla+contaminación).

- Las condiciones geográficas (topografía).

En zonas costeras y en las montañas y laderas, así como en fondos de valles, la circulación cerrada del viento limita la dispersión de los contaminantes. Por ello en Tenerife y Gran Canaria suelen haber valores más altos de PM_{2,5} que en Lanzarote y Fuerteventura, aunque estas están más cerca del Desierto del Sáhara, los contaminantes siguen su tránsito debido a la poca influencia del relieve.

Para evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente, los países de la Unión Europea establecieron unos valores límites en la *Directiva Europea 2008/50/CE*. Esta directiva fue transpuesta a la legislación española mediante el *Real Decreto 102/2011 de 28 de enero*, relativo a la mejora de la calidad del aire. Las directrices anteriores han sido recientemente modificadas por la *Directiva (UE) 2015/1480*.

En estas normativas se establecen valores límites anuales (VLA), y valores límites diarios (VLD) para las PM₁₀ y PM_{2.5}.

Tabla 1.

Valores límites establecidos Normativa Europea y OMS para PM10 y PM2,5

	Normativa Europea		OMS	
	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5
VLA	40 ug/m3	20 ug/m3	20 ug/m3	10 ug/m3
VLD	50 ug/m3	-	50 ug/m3	25 ug/m3

Fuente: Directiva (UE) 2015/1480. Elaboración Propia.

Las directrices de la OMS incluyen un valor a corto plazo para las PM2,5, inexistente en la Directiva Europea sobre la calidad del aire ambiente. Esto significa que la norma de la UE se basa únicamente en un promedio anual y las emisiones elevadas y nocivas de PM2,5 que suelen preceder en Canarias debido a advecciones de aire sahariano, más frecuentes en invierno, compensan con niveles más bajos en verano.

En el estudio de la Sociedad Americana del Cáncer (ACS) (Pope et al, 2002), el valor de 10 ug/m3 para las PM2,5 que establece la OMS, representa el extremo inferior de la gama en la que se observaron efectos significativos en la supervivencia.

Las superaciones del valor límite establecido para las partículas, tanto PM10 como PM2,5, ocasionadas por fuentes naturales no se contabilizan a efectos del cumplimiento de la normativa sobre calidad del aire. La legislación vigente establece un procedimiento para conocer en qué medida se ven afectados esos niveles por las fuentes naturales y cuál es el nivel de partículas ocasionado por actividades humanas, con la finalidad de no contabilizar (a efectos de cumplimiento de valores límite) las superaciones ocasionadas por dichas fuentes naturales, tal y como establecen el Real Decreto 102/2011 (en su artículo 22.2) y la Directiva 2008/50/CE (en su artículo 20).

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico publicó en Abril de 2020 el estudio de «Episodios Naturales de Partículas 2019». Una de las conclusiones que llevaron a cabo es que el año 2019 en Canarias ha registrado valores más bajos de PM y de afluencia de polvo sahariano de los últimos años, como se podrá comprobar más adelante, donde se presentan las medias anuales de la Estación de la Piscina Municipal de Santa Cruz de Tenerife desde 2013 a 2020 (gráfico 1). Aún así, el porcentaje de días del año que se ha visto influenciado en 2019 por intrusiones de polvo sahariano en Canarias fue del 41% (figura 3). Lo que significa que en uno de los años con menor afluencia de polvo sahariano, casi la

mitad de los días del año han sido caracterizados por la presencia de este fenómeno natural que atrae altos niveles de PM.



Figura 3. Días (% anual) con influencia de polvo africano en el año 2019. Fuente: *Episodios Naturales de Partículas 2019, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020.*

Respecto a las consecuencias que provoca la contaminación atmosférica, los contaminantes más graves de Europa, en términos de daño a la salud humana, son material particulado (PM), NO₂ y ozono a nivel del suelo (O₃) (Air Quality in Europe, EEA, 2020).

La contaminación del aire también tiene impactos económicos considerables, reduciendo la esperanza de vida, aumentando los costos médicos debido a los ingresos hospitalarios y como consecuencia reduciendo la productividad a través de días de trabajo perdidos en varios sectores económicos (Air Quality in Europe, EEA, 2020).

Los efectos de la contaminación por material particulado afecta considerablemente a la salud humana, el clima y los ecosistemas. Se ve afectada toda la población, pero la susceptibilidad a la contaminación puede variar debido a personas vulnerables como niños, ancianos o personas con patologías previas como enfermedades respiratorias o cardiovasculares.

Estudios epidemiológicos han demostrado que la contaminación por material particulado provoca efectos en la salud tanto en exposiciones breves como en exposiciones prolongadas. (OMS, 2006).

A continuación se comentarán los efectos de las partículas en suspensión en general, y más adelante, cuando se citen las PM_{2,5}, se comentarán los efectos de estas partículas en específico.

La exposición a estas partículas puede afectar tanto a los pulmones como al corazón. Múltiples estudios científicos vincularon la exposición a la contaminación por partículas a una variedad de problemas, que incluye: muerte prematura en personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, infartos de miocardio no mortales, latidos irregulares, asma agravada, función pulmonar reducida, síntomas respiratorios aumentados, como irritación en las vías respiratorias, tos o dificultad para respirar. (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) (2020).

En cuanto a efectos sobre el medioambiente y dependiendo de la composición química de las partículas: reducción de la visibilidad, los lagos y arroyos se vuelven ácidos, cambio en el balance nutricional de las aguas costeras y de las grandes cuencas fluviales, reducción de los nutrientes del suelo, daño en los bosques sensibles y cultivos agrícolas, efectos perjudiciales sobre la diversidad de ecosistemas, contribución a los efectos de la lluvia ácida.

En cuanto a efectos beneficiosos, los depósitos de polvo en la superficie pueden ser una fuente de micronutrientes tanto para el ecosistema continental como marino y así se cree que el polvo del Sahara fertiliza el bosque lluvioso del Amazonas y que el hierro y el fósforo que transporta favorecen la producción de biomasa marina en zonas de los océanos donde escasean esos elementos. También se ha demostrado que las partículas suministran nutrientes que contribuyen al desarrollo del plancton, los cuales a su vez actúan como fijadores de nitrógeno y carbono. (EPA, 2020)

En el año 2017 la Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA) puso en marcha un nuevo Índice de Calidad del Aire (ICA), cuyo objetivo era permitir que los ciudadanos pudieran comprobar la calidad del aire de cualquier ciudad o región de Europa. Las mediciones están disponibles para los cinco contaminantes considerados clave para la salud de las personas y el medio ambiente. Estos son:

- Partículas en suspensión (PM_{2,5} y PM₁₀)

- Ozono troposférico (O3)
- Dióxido de nitrógeno (NO2)
- Dióxido de azufre (SO2)

Las estaciones que recogen los datos se clasifican según la fuente de emisión predominante en dicha localización. Estos tipos de estaciones son:

- Estación de tráfico.
- Estación industrial.
- Estación de fondo.

Este Índice Nacional de Calidad del Aire se ha actualizado en España el 2 de Septiembre de 2020. En el que incluye un anexo con la metodología para el cálculo y visualización del Índice Nacional de Calidad del Aire. (*Resolución de 2 de septiembre de 2020, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se modifica el Anexo de la Orden TEC/351/2019, de 18 de marzo, por la que se aprueba el Índice Nacional de Calidad del Aire.*)

En el caso de las PM10 y PM2,5 se utiliza la media móvil de las concentraciones de las últimas 24 horas. El ICA se divide en 6 categorías de calidad del aire (figura 4):

- Buena
- Razonablemente buena
- Regular
- Desfavorable
- Muy desfavorable
- Extremadamente desfavorable

SO ₂		PM _{2,5}		PM ₁₀		O ₃		NO ₂		CATEGORÍA DEL ÍNDICE
0	100	0	10	0	20	0	50	0	40	BUENA
101	200	11	20	21	40	51	100	41	90	RAZONABLEMENTE BUENA
201	350	21	25	41	50	101	130	91	120	REGULAR
351	500	26	50	51	100	131	240	121	230	DESFAVORABLE
501	750	51	75	101	150	241	380	231	340	MUY DESFAVORABLE
751-1250		76-800		151-1200		381-800		341-1000		EXTREMADAMENTE DESFAVORABLE

Figura 4. Categorías para los 5 contaminantes principales según el Índice de Calidad del Aire (ICA). Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020.

El riesgo relativo de exposición a las PM_{2,5} se toma como referencia para determinar el valor del índice, concretamente el aumento del riesgo de mortalidad por cada 10 µg/m³ de aumento de la concentración media diaria de PM_{2,5} (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020). Según esta nueva resolución «las concentraciones que superen el valor del máximo mostrado en la categoría «extremadamente desfavorable» no se tienen en cuenta para el cálculo del índice, ya que se consideran datos erróneos». (MITECO, 2020).

El ICA también nos proporciona recomendaciones sanitarias para la población en general y para la población sensible, siguiendo la línea de las recomendaciones sanitarias que recoge el índice de calidad del aire europeo (figura 5). En cuanto a la población sensible, se refiere a las personas con enfermedades respiratorias y/o cardíacas.

Calidad del aire	Mensajes para la salud	Recomendaciones para la salud	
		Grupos de riesgo y personas sensibles	Población general
Buena	Calidad del aire satisfactoria	Disfruta de tus actividades al aire libre de manera normal.	Disfruta de tus actividades al aire libre de manera normal.
Razonablemente buena	Calidad del aire aceptable, la contaminación no supone un riesgo para la salud.	Disfruta de tus actividades al aire libre de manera normal.	Disfruta de tus actividades al aire libre de manera normal.
Regular	La calidad del aire probablemente no afecte a la población general pero puede presentar un riesgo moderado para los <i>grupos de riesgo</i> .	Considera reducir las actividades prolongadas y enérgicas al aire libre. Las <i>personas con asma o enfermedades respiratorias</i> deben seguir cuidadosamente su plan de medicación. Las <i>personas con problemas del corazón</i> pueden experimentar palpitaciones, dificultad en la respiración o fatiga inusual.	Disfruta de tus actividades al aire libre de manera normal. Sin embargo, vigila la aparición de síntomas como tos, irritación de garganta, falta de aire, fatiga excesiva o palpitaciones.
Desfavorable	<i>Toda la población</i> puede experimentar efectos negativos sobre la salud y los <i>grupos de riesgo</i> efectos mucho más serios.	Considera reducir las actividades al aire libre, y realizarlas en el interior o posponerlas para cuando la calidad del aire sea buena o razonablemente buena. Sigue el plan de tratamiento médico meticulosamente.	Considera reducir las actividades prolongadas y enérgicas al aire libre, especialmente si experimentas tos, falta de aire o irritación de garganta.
Muy desfavorable	Condiciones de emergencia para la salud pública, la población entera puede verse seriamente afectada.	Reduce toda actividad al aire libre, y considera realizar las actividades en el interior o posponerlas para cuando la calidad del aire sea buena o razonablemente buena. Sigue el plan de tratamiento médico meticulosamente.	Considera reducir las actividades al aire libre, y realizarlas en el interior o posponerlas para cuando la calidad del aire sea buena o razonablemente buena.
Extremadamente desfavorable	Condiciones de emergencia para la salud pública, la población entera puede verse gravemente afectada.	Evita la estancia prolongada al aire libre. Sigue el plan de tratamiento médico, en su caso, meticulosamente, y acude a un servicio de urgencias si tu estado de salud empeora.	Reduce toda actividad al aire libre y considera realizar las actividades en el interior o posponerlas para cuando la calidad del aire sea buena o razonablemente buena. Utiliza la protección adecuada para los trabajos que deban ser realizados al aire libre.

Figura 5. Recomendaciones sanitarias según el Índice de Calidad del Aire (ICA). Fuente: MITECO, 2020.

A partir de aquí, el estudio enfatizará en las PM_{2,5}. Las Directrices de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud de 2006 recomendaron hacer hincapié en el estudio de las PM_{2,5} en lugar de PM₁₀ (partículas con un diámetro aerodinámico menor de 10 (µm) como indicador de contaminación por partículas del aire, que se ha convertido cada vez más en una preocupación pública en todo el mundo (OMS, 2006). No obstante, en las estaciones de Tenerife no se empiezan a recoger datos de estas partículas hasta 2008 (Estación de Los Gladiolos), pero en años posteriores se recogen muchos datos nulos, impidiendo así que se pueda hacer un estudio fiable. Por lo tanto, el inconveniente de las investigaciones de estas partículas en Canarias es que tienen una corta serie temporal y en algunas zonas existen datos insuficientes o nulos.

Según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, «las PM_{2,5} suelen estar compuesta por partículas secundarias formadas en la atmósfera a partir de un precursor gaseoso (NO₂, SO₂, COV, NH₃, etc.) mediante procesos químicos o por reacciones en fase líquida». Sobre todo suelen estar asociadas a procesos de combustión.

En los países en vías de desarrollo hay grandes poblaciones expuestas a niveles elevados de estas partículas debido a la combustión procedente de estufas y fogones interiores.

Anteriormente se comentaban los efectos que pueden provocar las partículas en general. Ahora se centrará en los posibles efectos enfatizando en las PM2,5.

Las PM2.5 no solo pueden penetrar en la región de intercambio de gases del pulmón (Pinkerton et al., 2000), sino que también atraviesan la barrera respiratoria y entran al sistema circulatorio y, por lo tanto, se extienden a todo el cuerpo (Xu et al., 2008 ,Wang et al., 2013).

Varios estudios han demostrado que las PM2.5 todavía representan un riesgo significativo para la salud pública incluso a niveles muy bajos y muy por debajo de los estándares nacionales (Franklin et al., 2007 , Fann et al.,2012 , Elliott y Copes, 2011).

Los efectos en la salud de PM2,5 ambiental son:

- Daños en las vías respiratorias:

Como sitio inicial del depósito de PM2.5, el pulmón es uno de los principales objetivos de su toxicidad.

- Inflamación de las vías respiratorias
- Disminución de la función pulmonar
- Incidencia y exacerbación del asma y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)
- Enfermedades infecciosas en el pulmón, incluso cáncer de pulmón.

- Deficiencias cardiovasculares:

Enfermedades cardiovasculares como cardiopatías isquémicas (infartos de miocardio) pero también, en población con enfermedades cardiacas previas, los episodios de alta contaminación pueden hacer que las enfermedades se descompensen, provocando además consultas al médico, visitas a urgencias, y reingresos hospitalarios.

- Inducción / exacerbación de la diabetes mellitus:

La exposición crónica a PM 2.5 promueve el desarrollo de diabetes mellitus (DM), induciendo múltiples anomalías asociadas con la patogénesis de la diabetes mellitus tipo 2 (T2DM). La exposición, incluso a niveles bajos de PM_{2,5}, también se ha identificado como un mayor riesgo de mortalidad atribuible a la DM (Zanobetti et al., 2014 , Brook et al., 2013).

- Efectos adversos en la infancia:

Aparte de las consecuencias inmediatas en la infancia, el bajo peso al nacer y el parto prematuro atribuibles a la exposición a PM 2.5 afectarán la salud durante la niñez y la edad adulta. Se ha observado que la exposición prenatal a PM 2.5 aumenta la susceptibilidad a infecciones respiratorias (broncopulmonares) y programa la morbilidad respiratoria en la primera infancia (Jedrychowski et al., 2013).

En cuanto al riesgo y la incidencia a los efectos de la contaminación por PM_{2,5}, el principal problema es que todo el mundo está expuesto, independientemente de niveles socioeconómicos. Incluso personas con una dieta saludable y una práctica regular de ejercicio están expuestas a este factor de riesgo inevitable.

Últimamente, se ha demostrado que además de afectar al sistema cardiovascular y pulmonar, también afecta al cerebro. Esta afirmación la ha llevado a cabo la española María Neira, médico y directora del departamento de Salud Pública y Medio Ambiente de la OMS. También se ha enfatizado en que estas partículas incluso traspasan la placenta en mujeres embarazadas, es decir, hay niños que ya nacen con problemas debido a la contaminación. En este aspecto María Neira ha dicho este 2020 que «La contaminación está poniendo en riesgo nuestra inteligencia» (Entrevista a María Neira en BBVA: Aprendemos juntos 2020).

Lo expuesto en cuanto a consecuencias en los efectos de la salud debería suscitar preocupación para los responsables de la formulación de políticas en las decisiones relativas a nuevas reducciones en los niveles permitidos de emisiones de PM_{2,5} y planificación de sistemas de prevención y mitigación de los efectos negativos.

Como síntesis de este problema podemos concluir que:

1. La Organización Mundial de la Salud (OMS) sitúa la contaminación atmosférica como el mayor riesgo medioambiental para la salud en Europa. (OMS, 2016).

2. La AEMA informó que, en 2014, las partículas finas (PM_{2,5}) provocaron alrededor de 400.000 muertes prematuras entre los ciudadanos de la UE, mientras que el NO₂ fue la causa de 75.000 y el O₃ de 13.600. (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2017)
3. La AEMA advierte de que la contaminación atmosférica afecta a las personas a diario y que, a pesar de que los picos de contaminación son su efecto más visible, la exposición a largo plazo en más pequeñas dosis plantea una mayor amenaza para la salud humana. (AEMA, 2017)
4. La contaminación ambiental causa más muertes prematuras al año que el tabaco, que la Organización Mundial de la Salud (OMS) estimó responsable de 7,2 millones de muertes en 2015. (Lelieveld, J, et al, 2019)
5. Se calcula que 600.000 muertes al año pueden atribuirse a ataques relacionados con la exposición a las partículas (PM_{2.5}) que proceden del uso de combustibles fósiles. (GreenPeace, 2020)
6. Las infecciones de las vías respiratorias inferiores continúan siendo la enfermedad transmisible más letal; en 2016 causaron tres millones de defunciones en todo el mundo (OMS, 2020)
7. En 2016 en España murieron 24.100 personas asociadas a muertes prematuras atribuidas a PM_{2,5} (AEMA, 2019).
8. La contaminación atmosférica causa 10.000 muertes al año en España, muchas más que las 1.700 por accidentes de tráfico (Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica, 2019).
9. Anualmente mueren en el mundo 8,8 millones de personas por Contaminación Atmosférica. (Lelieveld, J, et al, 2020).

4. OBJETIVOS

Actualmente, el estudio de las PM_{2,5} en Canarias es muy escaso. Se ha estudiado las advecciones de aire sahariano y sus consecuencias en la salud y en los ecosistemas, pero consideramos fundamental interiorizar y profundizar el papel que desempeñan estas partículas, por un lado porque tenemos a escasos kilómetros la mayor fuente de aire continental tropical, el desierto del Sáhara, que transporta estas partículas a las islas durante todo el año, y por otro lado tanto la OMS como la Agencia Europea de Medio Ambiente, las han catalogado como el contaminante atmosférico más perjudicial. Principalmente por estos dos motivos considero esencial que se invierta en estudiar la dinámica de estas partículas.

Garantizar una buena calidad del aire es una asignatura pendiente para todos los países. La línea de investigación respecto a temas de contaminación atmosférica, cambio climático, contaminación marina etc. está en auge, pero aún estamos en el proceso de aprendizaje.

En este contexto, este estudio tiene como objetivo principal profundizar en la relación que tienen las advecciones saharianas, el polvo en suspensión, las partículas PM_{2,5} y los efectos en la salud de la población canaria, en este caso centrado en Santa Cruz de Tenerife. Como objetivos paralelos: 1. Se estudiará la dinámica de estos procesos, cuáles son los efectos perjudiciales de respirar altos valores de estos contaminantes y cómo han variado los niveles anualmente (tabla 3; gráfico 1); 2. Cómo varían los niveles según épocas del año (tablas 3 y 4; gráficos 2 y 6); 3. Cuáles y cuándo han sido registrados los valores diarios y horarios más altos (gráficos 3, 4, 7 y 8); 4. Qué condicionantes meteorológicos favorecen la presencia de contaminantes; 5. Y finalmente el estudio de un caso, donde entraremos en detalle en el episodio de calima que sufrió el archipiélago canario en el periodo del 22, 23, 24 y 25 de Febrero de 2020, valorando cómo afectó según zonas, días y horas (tabla 5; gráficos 9, 10 y 11). Y cómo actuaron los medios, en este caso el Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife, al coincidir este evento meteorológico con días de celebración del Carnaval de dicho municipio (figuras 9, 10 y 11).

Además, se realizará una encuesta con el objetivo principal de comprobar el nivel de conciencia que tiene la población sobre la calima y los efectos que pueden producir altos niveles de partículas contaminantes. Dicha encuesta también facilitará saber la opinión de la sociedad en cuanto a planes de emergencia ante niveles altos de contaminación.

5. FUENTES Y MÉTODO

Para cumplir los objetivos del estudio, la investigación se ha basado en la recopilación de datos publicados por la Red de Control y Vigilancia de la Calidad del Aire en Canarias por el Gobierno de Canarias. Las estaciones meteorológicas que se han estudiado para el estudio del fenómeno de calima entre el 22-25 de Febrero de 2020 son las de Santa Cruz de Tenerife y especialmente para la serie histórica se ha elegido la estación de la Piscina Municipal Acidalio Lorenzo, ya que era la estación que más datos fiables contenía, puesto que otras tenían muchos valores nulos. El periodo de tiempo que se ha escogido es desde 2013 a 2020, ya que no existen datos con anterioridad de las PM_{2,5} o existen en alguna estación, pero como se ha dicho recientemente, en estas predominan demasiados valores nulos como para

obtener un resultado fiable de ellos. Los datos se presentan en valores diarios y horarios, a partir de ahí, se han podido estudiar variables anuales, estacionales, mensuales, diarias, y horarias. Se necesitan guías tanto de la exposición breve (24 horas) como de la prolongada (media anual) para los dos indicadores de la contaminación por MP (OMS 2006).

En cuanto a los valores de la estación de la Piscina Municipal entre 2013 y 2020, se han calculado medias anuales, medias mensuales por estaciones, máximos diarios, y máximos horarios. Y para recalcar la peligrosidad de los fenómenos de calima se ha elegido el episodio que tuvo lugar entre el 22 y 25 de Febrero de 2020, que además coincidió con fechas del Carnaval de Santa Cruz de Tenerife, lo que supuso un mayor riesgo para la salud de la población al haber tanta gente expuesta. Respecto a este episodio, se calcularon las medias diarias de los días (22, 23, 24 y 25 de Febrero de 2020) de las estaciones de Santa Cruz de Tenerife para tener un mayor detalle de cómo se distribuían estas partículas en la capital tinerfeña. Y para la estación de la Piscina Municipal, también se representan los valores horarios de dichas fechas, con los que podemos comprobar que horas del día fueron en las que había una mayor presencia de las PM_{2,5}, y, por lo tanto, una mayor exposición para la población.

Finalmente, se realizó una encuesta que se compartió vía online, para comprobar el nivel de consciencia de la población de Santa Cruz de Tenerife sobre la calima y los efectos que pueden producir un alto nivel de partículas contaminantes. Esta encuesta fue contestada por 234 participantes, de los encuestados la única particularidad que se buscaba es que vivieran en Santa Cruz de Tenerife. La encuesta consta de 10 preguntas, las cuales son:

1. ¿Cuánto te afecta la calima?
2. ¿Presentas enfermedades respiratorias o cardiovasculares?
3. ¿Conoces los efectos adversos que provoca la calima en la salud?
4. ¿Qué efectos sueles tener cuando hay presencia de calima?
5. ¿En qué estación del año crees que son más frecuentes los episodios de calima?
6. ¿Sabías que en el episodio de calima que coincidió con fechas del Carnaval 2020, Tenerife tenía el aire más contaminado del mundo?
7. ¿Sabes qué medidas tomar en caso de episodios de calima?
8. ¿Crees que los organismos competentes (Ayuntamientos, Cabildos y Gobiernos) toman medidas para mitigar los efectos de la calima?

9. ¿Crees que los organismos competentes (Ayuntamientos, Cabildos y Gobiernos) deberían tener un plan de emergencia cuando se sobrepasen los límites establecidos de contaminación por calima?
10. ¿Qué efectos negativos crees que puede provocar la calima en nuestra salud?

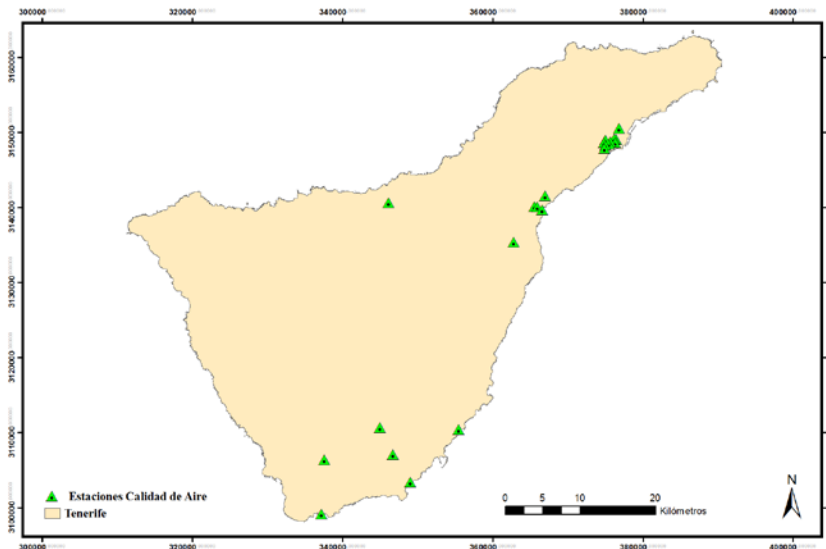


Figura 6. Localización de las Estaciones de Calidad del Aire en Tenerife. Fuente: Red de Control y Vigilancia de la Calidad del Aire en Canarias. Elaboración propia.

Por la localización geográfica en la que se encuentran las estaciones para medir la calidad del aire de Santa Cruz de Tenerife (figura 7), se puede comprobar que han sido ubicadas en la zona norte de la refinería de dicho municipio. Este hecho nos indica que el motivo de la ubicación de las estaciones inicialmente fue para medir los niveles de contaminación procedentes de la instalación industrial y no para medir los contaminantes procedentes de otras fuentes, como por ejemplo de las partículas contaminantes que transportan las advecciones saharianas.

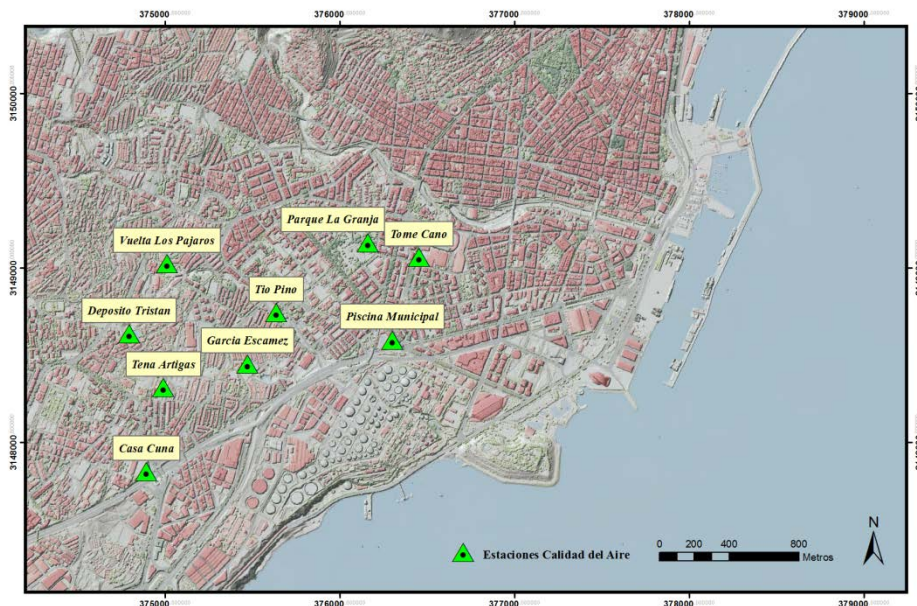


Figura 7. Estaciones de Calidad del Aire en Santa Cruz de Tenerife que miden las PM_{2,5}.
 Fuente: Red de Control y Vigilancia de la Calidad del Aire en Canarias. Elaboración propia.

Tabla 2.

Estaciones de Calidad del Aire (Santa Cruz de Tenerife) que miden las PM_{2,5}.

Estaciones	Z (m)
Tome Cano	67
Parque de La Granja	78,87
Piscina Municipal	69,09
Tio Pino	104,6
García Escámez	121,94
V. Los Pájaros	156,02
Depósito Tristán	198,72
Tena Artigas	171,62
Casa Cuna	178,54

Fuente: Red de Control y Vigilancia de la Calidad del Aire de Canarias. Elaboración propia.

5. RESULTADOS

En este apartado centraremos el estudio en tres periodos de tiempo. El primero corresponde a los datos recogidos de la Estación de la Piscina Municipal entre el 2013 y 2020. Donde a través de los datos horarios y diarios, se representarán: medias anuales (gráfico 1), medias mensuales (gráfico 2), medias estacionales (tabla 3), valores máximos diarios (gráfico 3) y valores máximos horarios (gráfico 4).

El segundo periodo se centra en el año 2020 donde se representarán los valores medios mensuales (gráfico 5), medias estacionales (tabla 4, gráfico 6), y valores máximos diarios (gráfico 7) y horarios (gráfico 8) que obtuvo cada mes del 2020. Y en el tercer periodo, se hará hincapié en el episodio de calima que afectó a las islas y en este caso, recogiendo datos de algunas de las estaciones situadas en Santa Cruz de Tenerife entre el 22 y 25 de Febrero de dicho año. En este episodio se destacarán las medias diarias de las estaciones de Santa Cruz de Tenerife en dicho periodo (tabla 5) y los valores horarios que obtuvo la Estación de la Piscina Municipal en este episodio de calima (gráfico 10).

Finalmente se comentarán los resultados obtenidos de las preguntas realizadas en la encuesta. De las 10 preguntas que constituyen dicha encuesta, se destacarán las respuestas que se han considerado con mayor relevancia para el análisis (gráficos 12, 13, 14, 15, 16 y 17).

5.1. PERIODO 2013 - 2020

5.1.1 MEDIAS ANUALES

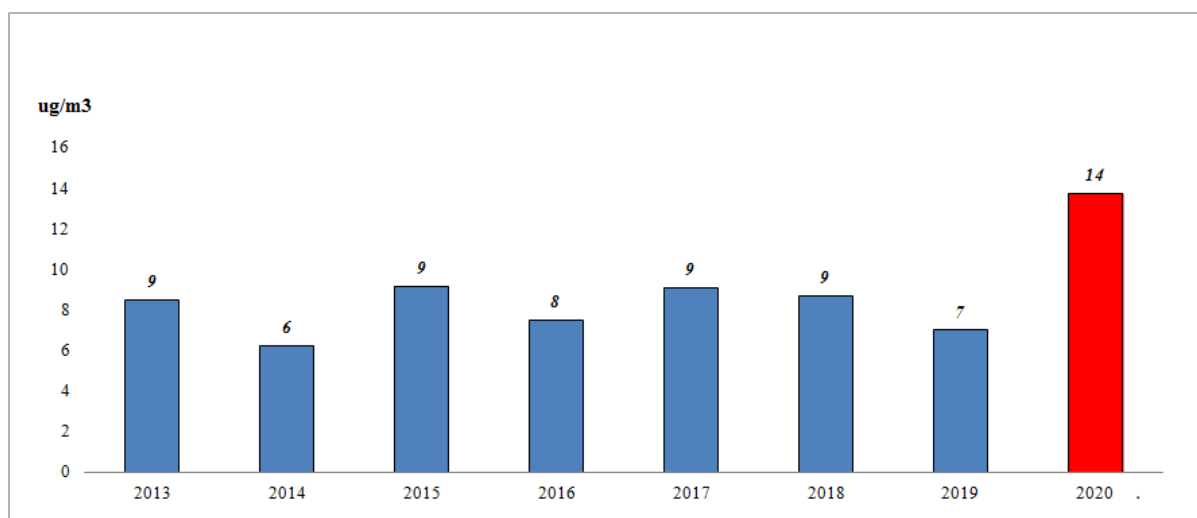


Gráfico 1. Medias Anuales de PM2,5 de la Estación Piscina Municipal 2013-2020. Elaboración propia.

En cuanto a las medias anuales de PM2,5, se puede observar que el valor del 2020 (14 ug/m3) representa el valor medio anual máximo que se ha registrado y que además supera los 10 ug/m3 que establece la OMS como valor límite anual. En este caso, 2020 es el único año de la serie que sobrepasa este valor límite, aunque los años 2013, 2015, 2017 y 2018 tuvieron una media anual de PM2,5 de 9 ug/m3, valores por debajo del límite establecido pero muy

cerca de sobrepasarlos. Hasta ahora no se aprecia ningún patrón claro en la tendencia que sigue el gráfico, por ello se tiene la incertidumbre de si nos encontramos ante una tendencia ascendente puesto que en 2020 la media anual (14ug/m³) fue el doble que la media anual del 2019 (7 ug/m³) (gráfico 1). Hay que seguir estudiando la serie para comprobar y verificar la tendencia.

5.1.2. MEDIAS MENSUALES

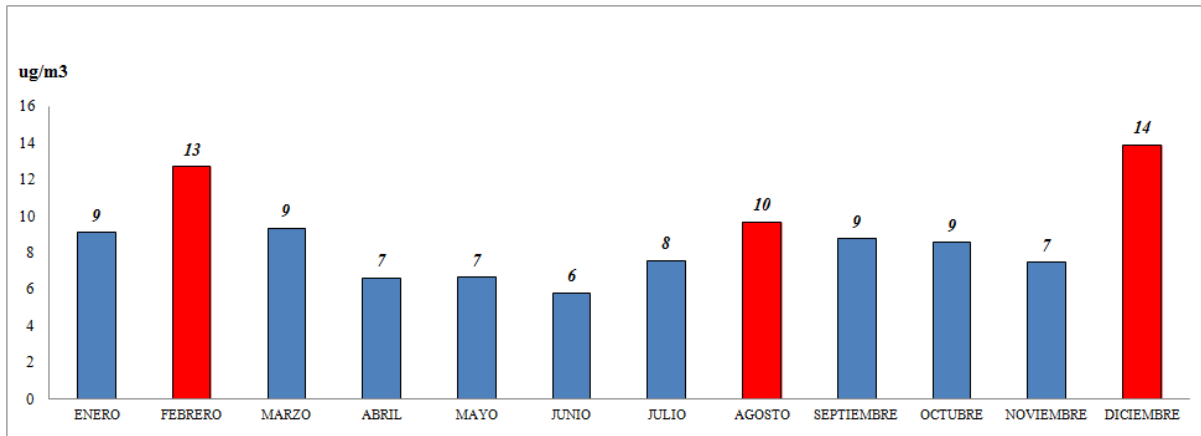


Gráfico 2. Medias Mensuales de PM_{2,5} de la Estación Piscina Municipal 2013-2020. Elaboración propia

Para llevar a cabo este gráfico, se calcularon las medias mensuales desde 2013 hasta 2020 de la estación de la Piscina Municipal, y luego se calculó la media que representa cada mes en ese intervalo (2013-2020).

Se observan en rojo los meses que tienen una media igual o superior a los 10 ug/m³ (valor límite establecido por la OMS para el periodo anual). Estos meses corresponden a Febrero (13 ug/m³), Agosto (10 ug/m³) y Diciembre (14 ug/m³) (gráfico 2).

El valor mínimo se encuentra en Junio (6 ug/m³). Se puede comprobar que no existe una tendencia homogénea, pero se observa que los valores mínimos se encuentran entre la primavera y el verano (exceptuando agosto). Y los valores máximos en invierno con los dos valores máximos registrados en diciembre y febrero (gráfico 2).

5.1.3. MEDIAS ESTACIONALES

Una vez recopilado los datos desde 2013 a 2020, y a partir de las medias mensuales, se obtienen las medias según las estaciones del año (primavera, verano, otoño e invierno) con el fin de conocer el predominio y la estacionalidad de las PM_{2,5} en Canarias. Las medias de

primavera, verano y otoño contienen el mismo valor (8 ug/m³). El invierno es el que contiene el valor más alto (12 ug/m³), lo que significa que en estos meses la cantidad de partículas en suspensión es mayor (tabla 3). Una de las explicaciones más claras para entender que el invierno sea el mes con más cantidad de PM_{2,5} es que coincide con la etapa del año en la que es más frecuente las advecciones de aire sahariano (Dorta, 2005), comúnmente conocido como calima. Sabemos que la calima transporta grandes cantidades de partículas entre ellas las PM_{2,5}. No se refleja una tendencia significativa en los valores según transcurren los años, lo que se aprecia con claridad es que, en el 2020, excepto el verano, el resto de estaciones del año ha obtenido su mayor valor medio de PM_{2,5} desde que se recogen datos. Por lo tanto, habrá que seguir estudiando la serie para determinar si estamos ante una tendencia ascendente.

Tabla 3.

Medias Estacionales de PM_{2,5} de la Estación Piscina Municipal 2013-2020.

Medias Estacionales (ug/m³)	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
2013	7	11	7	11
2014	6	5	6	8
2015	10	7	7	12
2016	4	10	7	9
2017	7	9	11	9
2018	8	7	9	10
2019	6	5	8	10
2020	11	8	11	25
Media de la Serie	8	8	8	12

Fuente: Elaboración propia.

5.1.4. VALORES MÁXIMOS DIARIOS

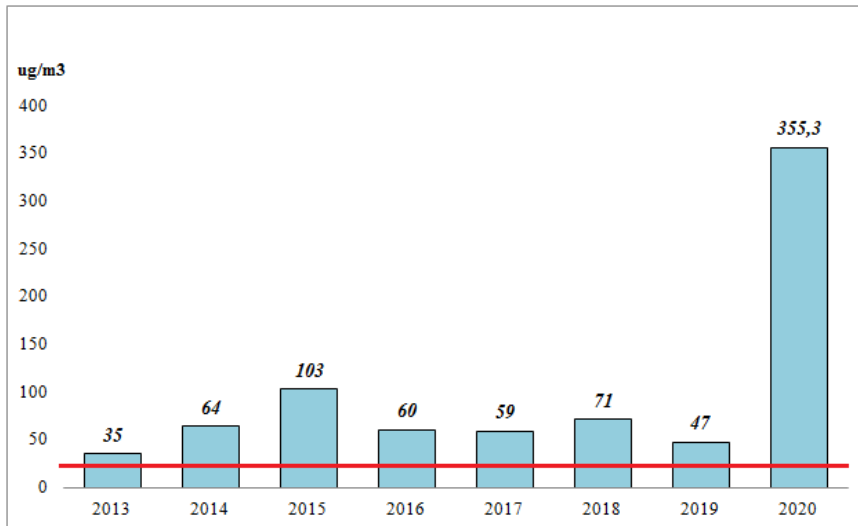


Gráfico 3. Valores máximos diarios de PM2,5 de la Estación Piscina Municipal 2013-2020. Elaboración propia.

La línea roja representa el valor límite diario que establece la OMS, situado en 25 ug/m3 (gráfico 3). Observamos que en los valores no hay ninguna tendencia ni ascendente ni descendente. Se recomienda que los países con zonas en las que no se cumplen los valores guía de 24 horas adopten medidas inmediatas para alcanzar estos niveles lo más pronto posible (OMS, 2006).

Una concentración de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dará lugar a un incremento aproximado de la mortalidad diaria del 5%, efecto que sería motivo de gran preocupación y para el cual se recomiendan medidas correctoras inmediatas (OMS, 2006).

El máximo valor diario de la serie (2013-2020) corresponde al 2020, debido al fuerte episodio de calima que sufrió el archipiélago canario en febrero de ese año. El valor diario de PM2,5 que se alcanzó el día 23 de febrero de 2020 fue de 355,3 ug/m3 (gráfico 3). Este valor es 14 veces superior al valor límite antes mencionado (25 ug/m3). A este episodio hay que sumarle que ese día coincidía con un día de Carnaval, lo que supuso un enorme riesgo para la población.

5.1.5. VALORES MÁXIMOS HORARIOS

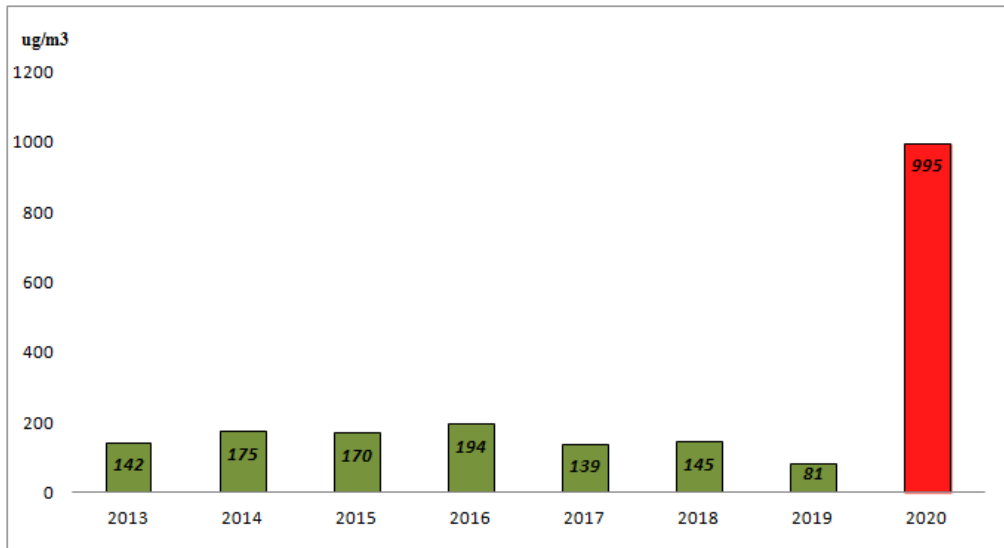


Gráfico 4. Valores máximos horarios de PM_{2,5} de la Estación Piscina Municipal 2013-2020. Elaboración propia.

No hay un valor límite horario establecido ni por parte de la OMS ni por la Normativa Europea. Pero teniendo en cuenta que el valor límite diario establecido por la OMS es de 25 ug/m³, podemos deducir que tener un valor horario de 995 ug/m³ atenta gravemente contra la salud pública.

Se puede observar que desde el 2013 hasta el 2018 los valores máximos horarios oscilan entre los 100 y 200 ug/m³. Encontramos el valor mínimo de la serie en 2019 con un valor máximo horario de 81 ug/m³. Y el valor máximo horario corresponde al 2020, y como hemos citado anteriormente corresponde al 23 de Febrero de 2020, cuyo valor es de 995 ug/m³ (gráfico 4). Un valor sin precedentes, desde que se recogen datos, y no solo es que sea el valor máximo sino que hay una diferencia considerable entre los valores máximos de los años restantes de la serie.

Tanto el valor máximo diario (gráfico 3), como el valor máximo horario (gráfico 4), corresponden al mismo día: 23 de Febrero de 2020. Es decir, ese día se alcanzó la mayor cantidad de PM_{2,5} por día y por hora, desde que hay registros. Y como se ha mencionado anteriormente, coincidió con un día de Carnaval de S/C de Tenerife, por lo que un mayor número de población estuvo expuesta, ya que no se suspendieron los actos del Carnaval ese día.

Se debería estudiar los ingresos hospitalarios o posibles defunciones que hubo durante las fechas próximas al episodio de calima, para tener una mayor comprensión del daño directo

que ocasionan niveles tan altos de PM_{2,5}, que se podrán repetir en un futuro. Actualmente en la fecha que se está haciendo este trabajo, no se puede acceder a los datos de ingresos hospitalarios y defunciones de esas fechas.

5.2. AÑO 2020

El año 2020, como se ha visto anteriormente, ha sido el peor año en cuanto a presencia de partículas en suspensión (PM_{2,5}) con una media anual de 14 ug/m³ (gráfico 1). Además este año se ha visto influenciado por una de los episodios de calima más graves que se recuerden. Por ello, se ha querido profundizar el estudio en este año.

5.2.1. MEDIAS MENSUALES

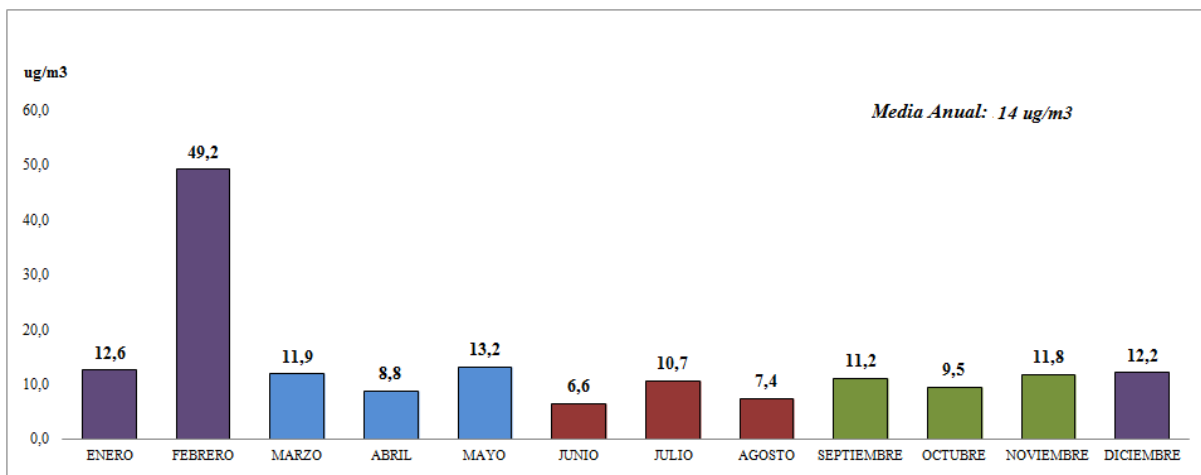


Gráfico 5. Medias Mensuales de PM_{2,5} de la Estación Piscina Municipal 2020. Elaboración propia.

Solamente 4 de los 12 meses del año tienen un valor inferior a los 10 ug/m³ (valor límite anual que establece la OMS). Lo que significa que, en el año 2020, Santa Cruz de Tenerife ha incumplido con los valores límites de la OMS en 8 meses (gráfico 5).

5.2.2. MEDIAS ESTACIONALES

Tabla 4.

Medias Estacionales de PM_{2,5} de la Estación Piscina Municipal 2020.

2020	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Medias Estacionales (ug/m³)	11,3	8,2	10,8	24,7

Fuente: Elaboración propia.

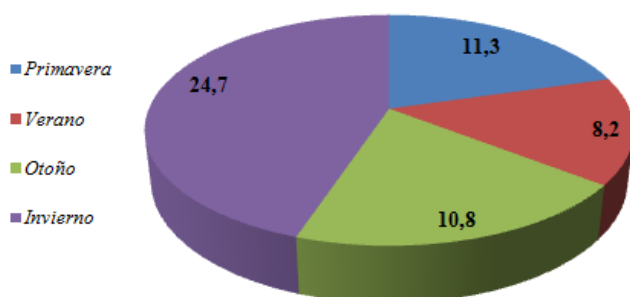


Gráfico 6. Medias Estacionales de PM2,5 de la Estación Piscina Municipal 2020. Elaboración propia.

En el año 2020, el invierno fue la estación del año que tuvo una mayor presencia de las PM2,5, (gráfico 6). Pero al solo tener los datos fiables al 100% del 2020 no podemos dar una valoración con exactitud sobre la predominancia, estacionalidad y tendencia de PM2,5 en una serie histórica, se necesitarán series temporales más amplias.

5.2.3. VALORES MÁXIMOS DIARIOS

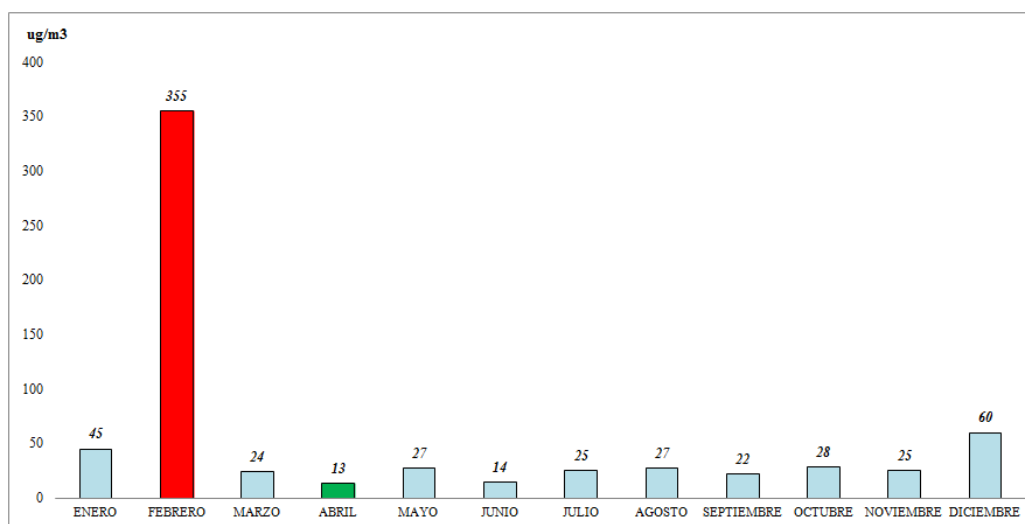


Gráfico 7. Valores máximos diarios por mes de PM2,5 en la Estación Piscina Municipal 2020. Elaboración propia.

Se puede apreciar que el valor rojo febrero) representa el mes en el que se alcanzó el valor máximo diario más alto: 335 ug/m³. El valor verde (abril) representa el mes en el que se alcanzó el valor máximo horario más bajo: 13 ug/m³ (gráfico 7).

Se debe tener en cuenta que el valor límite diario establecido por la OMS, citado anteriormente, es de 25 ug/m³. Los meses que tienen días con un valor igual o superior a este límite son enero, febrero, mayo, julio, agosto, octubre, noviembre y diciembre (gráfico 7).

5.2.4. VALORES MÁXIMOS HORARIOS

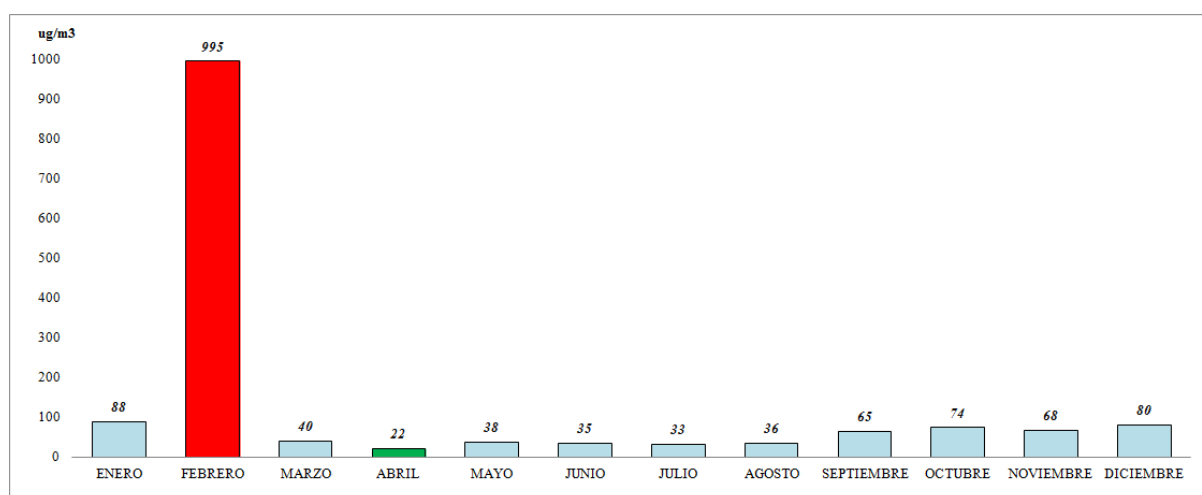


Gráfico 8. Valores máximos horarios por mes de PM_{2,5} de la Estación Piscina Municipal 2020. Elaboración propia.

En cuanto a los registros máximos que se han registrado por hora, se observan los valores máximos horarios que ha experimentado cada mes de 2020, recogidos por la estación de la Piscina Municipal.

El valor rojo (febrero) representa el mes en el que se alcanzó el valor máximo horario más alto: 995 ug/m³. El valor verde (abril) representa el mes en el que se alcanzó el valor máximo horario más bajo: 22 ug/m³ (gráfico 8).

La coincidencia entre el mes con el valor máximo diario y el mes con el valor máximo horario (gráficos 7 y 8) se explica debido al episodio de calima extremo que aconteció a finales de dicho mes. Además a principios de mes también hubo un episodio de calima pero con una menor gravedad.

En el caso de los valores mínimos, que corresponde al mes de abril (gráficos 7 y 8), se puede explicar debido a que no hubo presencia de episodios de calima y además fue el mes en el que hubo el confinamiento total. Por lo tanto, no hubo presencia de partículas

contaminantes procedentes de advecciones saharianas y se redujo el nivel de partículas contaminantes debido a la menor circulación de vehículos.

5.3. PERIODO DE CALIMA S/C DE TENERIFE (22-25 FEBRERO 2020)

En este apartado se enfatizará en un episodio de calima extremo que sufrió Canarias en el periodo 22-25 de Febrero de 2020, uno de los episodios de calima más graves que se recuerda. El mes de febrero de 2020 en Canarias, estuvo bajo la influencia de las advecciones de polvo del Sáhara en 25 de sus 29 días (Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2021). En este caso, se centrará el estudio en los niveles de PM_{2,5} que se alcanzaron en Santa Cruz de Tenerife, con el agravante de que esas fechas coincidió con celebraciones de actos del Carnaval, por lo tanto, el nivel de riesgo de este fenómeno atmosférico fue mayor debido a un aumento de la población expuesta.

5.3.1. MEDIAS DIARIAS (PM_{2.5})

Tabla 5.

Medias Diarias de PM_{2,5} en las estaciones de Santa Cruz de Tenerife (22-25 febrero 2020).

MEDIAS DIARIAS (ug/m3)	22 F	23 F	24 F	25 F
García Escámez	49	117	125	38
CasaCuna	42	112	136	41
Piscina Municipal	58	355	206	45
Tena Artigas	59	335	191	48
Dep. Tristán	38	104	74	21
Vuelta Los Pájaros	46	121	134	42
Tío Pino	61	369	210	45
Parque La Granja	62	123	130	49
Tome Cano	70	363	188	49
Media de la Serie	54	222	155	42

Fuente: Elaboración propia.

Uno de los problemas principales que comprobamos al visualizar los datos recogidos en las estaciones de Santa Cruz de Tenerife para las fechas 22, 23, 24 y 25 de Febrero de 2020 es que en el apartado de datos horarios, que luego repercute en el valor de las medias diarias, algunas estaciones dejaron de recopilar datos a partir de una determinada cantidad de $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por ejemplo, en la estación de Tío Pino, los valores horarios de $\text{PM}_{2,5}$ que obtuvo para las 17:00, 18:00 y 19:00 fue de 1.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que representa que a partir de 1.000 no pudo recoger datos superiores (gráfico 9).

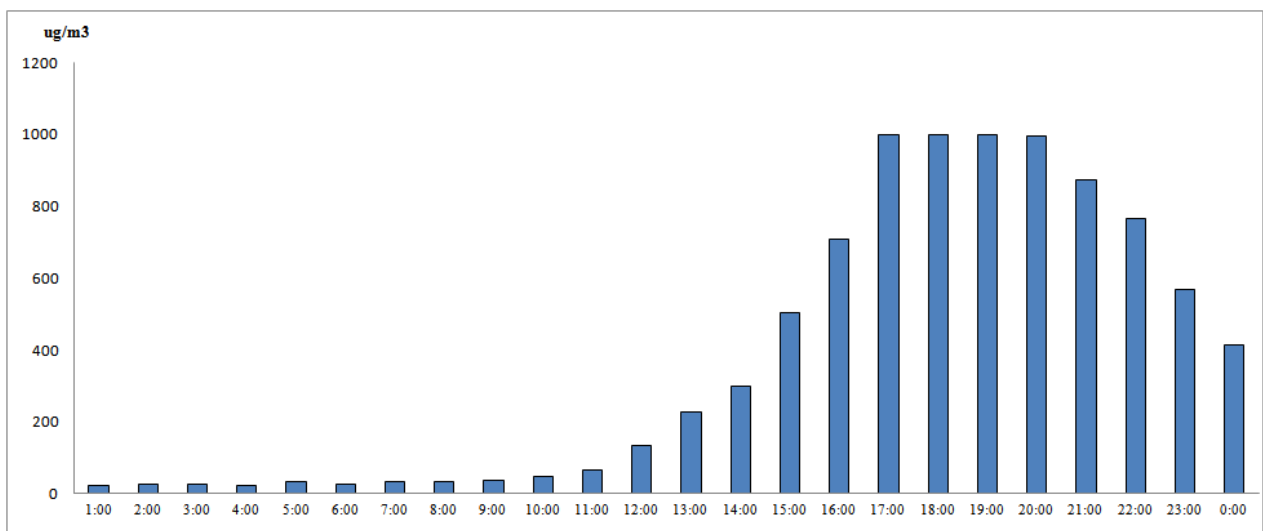


Gráfico 9. Valores horarios de $\text{PM}_{2,5}$ en la Estación de Tío Pino el 23 de febrero de 2020. Elaboración propia.

Esto nos demuestra la poca eficiencia y obsolescencia de los sistemas de recogida de datos actuales y la necesidad de mejorarlos y actualizarlos, ya que en caso de que vuelva a ocurrir un episodio de calima extremo, dificultará la elaboración de futuros estudios. Sobre todo porque nos interesaría saber qué niveles extremos se alcanzan, ya que son los que más afectan a la salud de la población. Esta incertidumbre de los datos se debe a que los medidores de las islas para $\text{PM}_{2,5}$ están diseñados según los métodos de referencia de la Unión Europea, que trabajan en un rango entre 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Valores muy por debajo de los 1.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ observados en este episodio (OMM, 2021).

Además, una de las diferencias fundamentales que se debe llevar a cabo es calcular no solo el tamaño de la partícula sino también su composición química, ya que es un factor fundamental del que depende el daño que producen estas partículas debido a su nivel de toxicidad. Por ejemplo en Canarias, el polvo en suspensión procedente del Sáhara tiene

diferentes orígenes, entre otras fuentes de origen, sería recomendable saber qué porcentaje de ese material particulado es natural (polvo) y qué porcentaje de ese material particulado llega procedente de centrales químicas, nucleares, térmicas, petroquímicas, etc, de países como Marruecos, Argelia y en menor medida, Túnez.

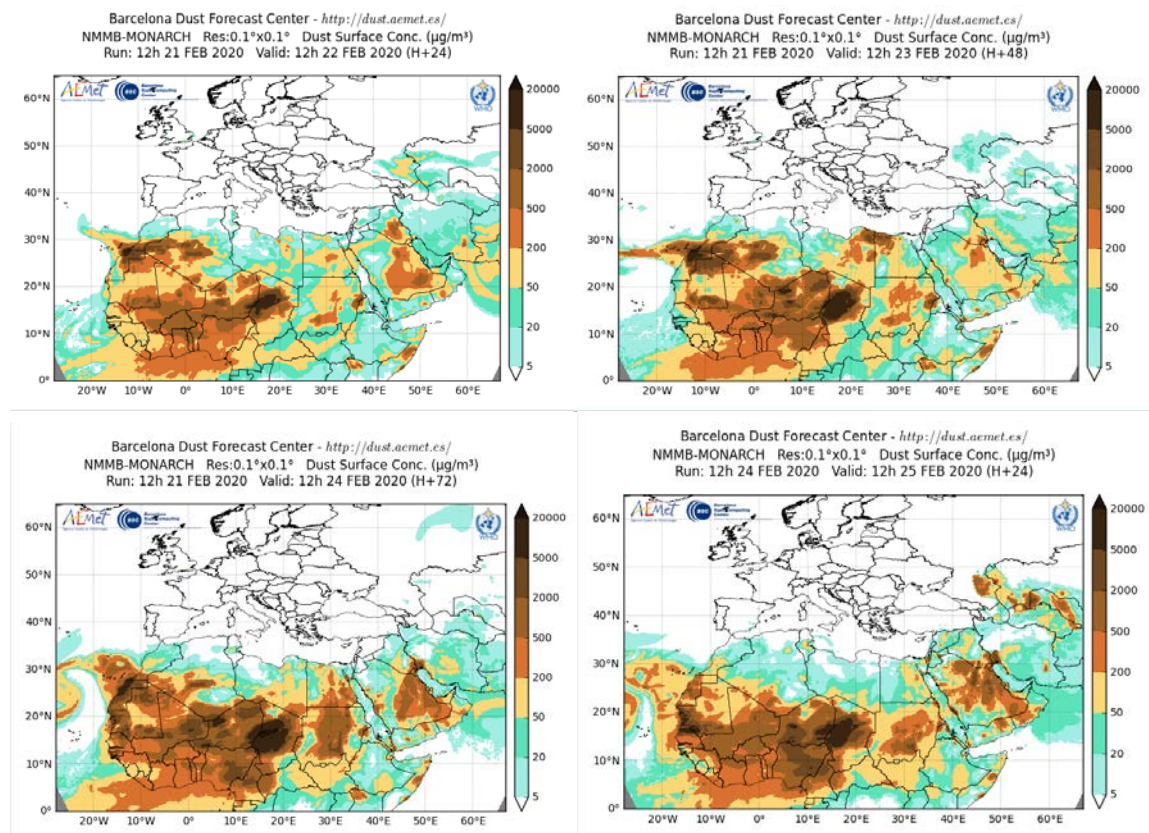


Figura 8. Resultados de la comparación de múltiples modelos de predicción de concentración de polvo (Media en µg/m³) para el periodo 22-25 de Febrero de 2020 a las 12h UTC. ©OMM Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System Regional Center for Northern Africa, Middle East and Europe, centro gestionado conjuntamente por AEMET y el Barcelona Supercomputing Center.

5.3.2. VALORES HORARIOS

Se pueden apreciar tres picos de altos valores de PM_{2,5}. Estos tres picos se sitúan en los días 22, 23 y 24. El día 22 de febrero alcanzó el valor máximo horario de PM_{2,5} de 375 ug/m³ a las 20:00. El día 23 de febrero alcanzó el valor máximo horario de PM_{2,5} de 995 ug/m³ a las 18:00. El día 24 de febrero alcanzó el valor máximo horario de PM_{2,5} de 537 ug/m³ a las 10:00. En el día 25 de febrero no se observa ningún pico ya que comienza a

descender progresivamente el nivel de PM2,5 con la desaparición de la calima, aún así este día presenta su valor máximo horario a las 10:00 con un nivel de 75 ug/m3 (gráfico 10).

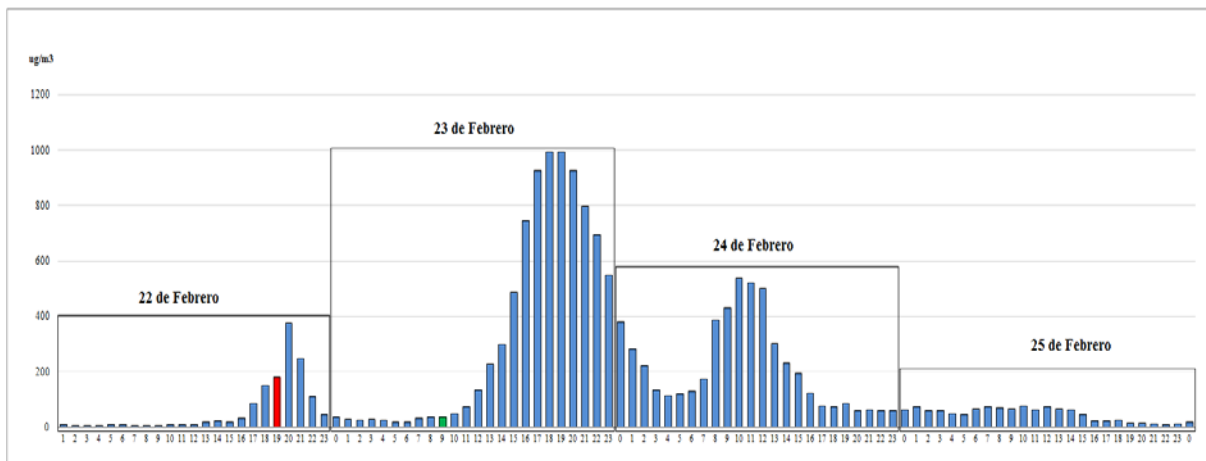


Gráfico 10. Valores horarios de PM2,5 de la Estación Piscina Municipal (22-25 febrero 2020). Elaboración propia.

El valor rojo representa la hora en la que el Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife anunció la suspensión de los actos del Carnaval por vientos: 22 de Febrero a las 19:00. Y el valor verde representa la hora en la que el Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife reanuda la celebración de los actos del Carnaval: 23 de Febrero a las 09:00 (gráfico 10).



Figura 9. Suspensión Carnaval S/C de Tenerife 22 de Febrero de 2020. Fuente: Twitter del Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife.



Figura 10. Se retoma el Carnaval S/C de Tenerife 23 de Febrero de 2020. Fuente: Twitter del Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife.

A las 18:00 de ese mismo día (23 de Febrero), en plena celebración del Carnaval de día, como se ha citado anteriormente se alcanza el valor máximo, que además coincide con el valor máximo registrado en la estación de la Piscina Municipal en la historia desde que hay registros (2013), con un valor de 995 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$. Recordemos que a partir de una exposición mayor de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ comienzan a haber efectos perjudiciales para la salud.

Para que se pueda entender mejor las graves consecuencias de los valores altos que se han representado recientemente, se han comparado con los valores de la ciudad más contaminada del mundo en 2018. Esta ciudad es Gurgaon, La India. Que tuvo un valor medio anual de $\text{PM}_{2,5}$ de 135,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (IQAir, 2019). En la ciudad de Gurgaon los valores son altos durante todo el año, y en Santa Cruz se alcanzaron esos valores extremos en unos días, aún así los efectos en la salud son extremadamente peligrosos y aún más en este caso, permitiendo celebrar las fiestas del Carnaval con miles de personas en la calle.

Otra manera de comprender las graves consecuencias de respirar un alto nivel de $\text{PM}_{2,5}$ es comparando el valor límite diario que establece la OMS (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), con el máximo valor diario y horario que se obtuvo en el episodio de calima (gráfico 11).

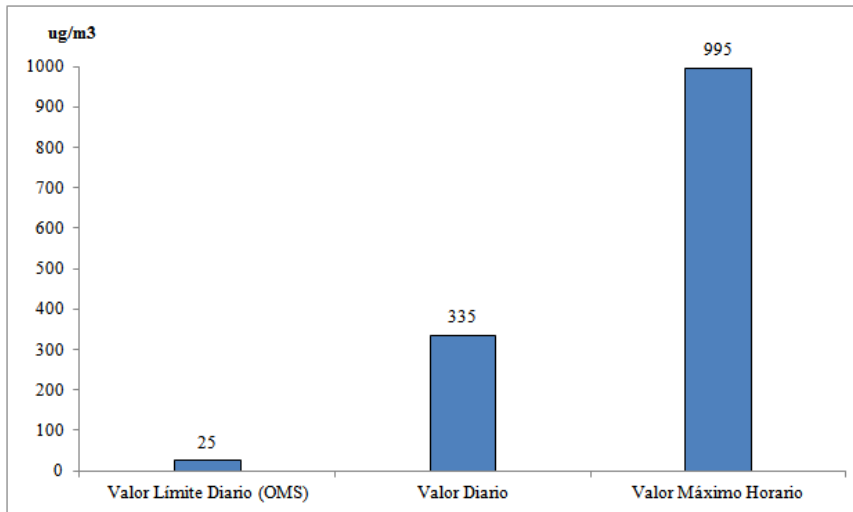


Gráfico 11. Comparativa entre el Valor límite Diario (OMS), Valor diario del 23/02/2020 en la estación Piscina Municipal, y el Valor máximo horario a las 18:00 del 23/02/2020 en la estación Piscina Municipal. Elaboración propia.

5.4. ENCUESTA

De las 10 preguntas realizadas en la encuesta, se comentarán 6. Ya que tras los resultados obtenidos, se considera que estas preguntas aportan una mayor relevancia en cuanto a los objetivos del estudio. Estos 6 gráficos se han organizado en cuanto al tema de estudio.

En primer lugar, se comentarán los resultados obtenidos en relación a los efectos de la calima (gráfico 12, 13 y 14).

En este sentido, se comprueba que solo al 4,3% de los encuestados la calima no le afecta nada. El 18,4 % ha respondido que le afecta poco. El 32,5% de los encuestados afirman que los episodios de calima les afecta algo. Al 29,5% la calima le afecta bastante. Y por último al 15,4% le afecta mucho (gráfico 12).

También se puede observar que el 66,76% de los encuestados afirma que conoce los efectos adversos que provoca la calima en la salud, y el 33,3% restante admite que no conoce cuáles son los posibles efectos (gráfico 13).

Y por último, en este apartado sobre las preguntas relacionadas a los efectos de calima, se pregunta qué efectos negativos creen que puede causar la calima. En esta pregunta se permite seleccionar más de una respuesta correcta. Hay que tener en cuenta que todas las respuestas (exceptuando la respuesta: ninguno) son efectos que se han demostrado que provocan las PM2,5, y a partir de ahí se busca cuáles de esos efectos son los que conoce la

población. Solo el 1% de los encuestados cree que la calima no tiene ningún efecto en la salud. El 39,3% cree que el cáncer de pulmón es uno de los efectos que puede causar la calima. El 23,5% afirma que uno de los efectos negativos puede ser infarto de miocardio. El 95,3% cree que el aumento de la gravedad del asma es uno de los efectos negativos de la calima. Solo el 0,9% cree que la calima puede causar desarrollo de diabetes tipo 2. Y un 19,7% cree que la calima podría causar una aceleración del envejecimiento cerebral (gráfico 14).

¿Cuánto te afecta la calima?
234 respuestas

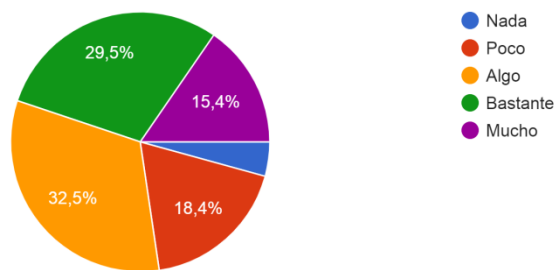


Gráfico 12. Pregunta 1: ¿Cuánto te afecta la calima?

¿Conoces los efectos adversos que provoca la calima en la salud?
234 respuestas

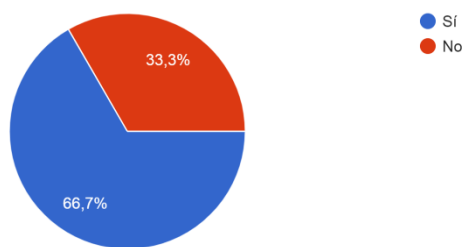


Gráfico 13. Pregunta 3: ¿Conoces los efectos adversos que provoca la calima en la salud?

¿Qué efectos negativos crees que puede provocar la calima en nuestra salud?. Puedes seleccionar más de una.
234 respuestas

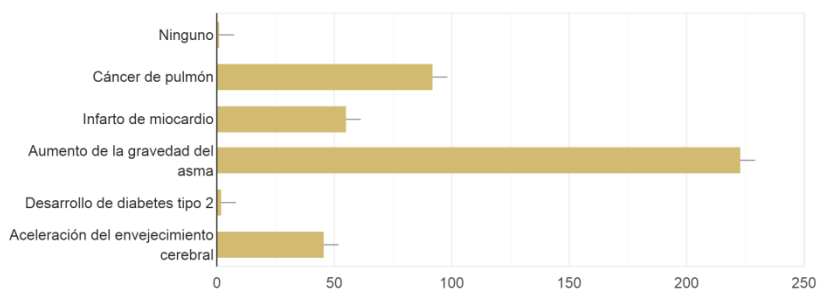


Gráfico 14. Pregunta 10: ¿Qué efectos negativos crees que puede provocar la calima en nuestra salud?

En segundo lugar, se agrupan las respuestas que corresponden a la conciencia de la población respecto a situaciones de calima (gráficos 15 y 16).

En este sentido, se puede observar que el 55,1% de las personas que realizaron la encuesta sabe qué medidas tomar en caso de episodios de calima. Y por el contrario, el 44,9% afirma que no sabe qué medidas tomar (gráfico 15).

Por otro lado, se pregunta si conocían que Tenerife tenía el aire más contaminado del mundo en las fechas del episodio de calima aquí estudiado que coincidió con actos del Carnaval. Ante esta pregunta, el 72,6% de los encuestados afirma que sí conocía el alto nivel de contaminación en el aire de la isla. Por el contrario, el 27,4% restante, admite que no tenía constancia de ese dato (gráfico 16).

¿Sabes qué medidas tomar en caso de episodios de calima?
234 respuestas

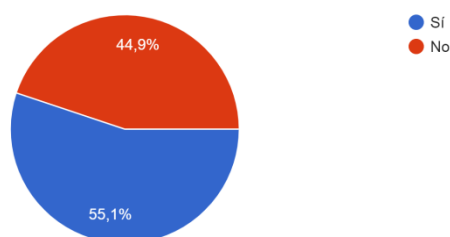


Gráfico 15. Pregunta 7: ¿Sabes qué medidas tomar en caso de episodios de calima?

¿Sabías que en el episodio de calima que coincidió con fechas del Carnaval 2020, Tenerife tenía el aire más contaminado del mundo?
234 respuestas

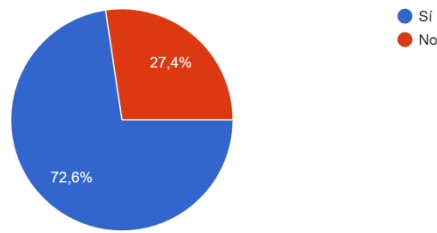


Gráfico 16. Pregunta 6: ¿Sabías que en el episodio de calima que coincidió con fechas del Carnaval 2020, Tenerife tenía el aire más contaminado del mundo?

Por último, se destaca la pregunta relacionada a la opinión pública sobre medidas a tomar por parte de las instituciones. En este caso se pregunta si se debería planificar un plan de emergencias cuando se sobrepasen los límites establecidos de contaminación (tabla 1) en episodios de calima. El 95,7% de las personas que realizaron la encuesta creen que sí se debería llevar a cabo este plan de emergencias. Por el contrario, el 4,3% restante, cree que no se debería llevar a cabo (gráfico 17).

¿Crees que los organismos competentes (Ayuntamientos, Cabildos y Gobiernos) deberían tener un plan de emergencia cuando se sobrepasen los límites establecidos de contaminación por calima?
234 respuestas

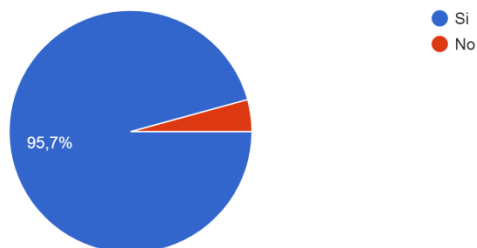


Gráfico 17. Pregunta 9: ¿Crees que los organismos competentes (Ayuntamiento, Cabildo y Gobiernos) deberían tener un plan de emergencia cuando se sobrepasen los límites establecidos de contaminación por calima?

6. DISCUSIÓN

Tras los resultados obtenidos se puede afirmar que los altos niveles de contaminación atmosférica por PM_{2,5} en Canarias corresponden a episodios de advecciones saharianas. Estos niveles alcanzan valores excesivamente altos, situando algunos días al archipiélago con niveles equivalentes al de las ciudades más contaminadas del mundo. Y sabiendo que los episodios de advecciones saharianas son frecuentes en las islas, es necesario concienciar a la población sobre los posibles efectos adversos que pueden causar altos niveles de estas partículas. En cuanto al nivel de concienciación previamente mencionado de la población, se comprueba que la sociedad no conoce los efectos adversos que puede provocar la calima, esto se observa por ejemplo, cuando el 33,3% de los encuestados afirman que no conocen los efectos adversos de la calima (gráfico 13), y el 44,9% admiten que no saben qué medidas tomar en caso de episodios de calima (gráfico 15).

Uno de los temas fundamentales es las medidas que se llevan o se podrían llevar a cabo en consecuencia a presentar altos niveles de partículas contaminantes. Ante este debate, el 95,7% de los encuestados creen que debería haber un plan de emergencias en caso de sobrepasar los límites establecidos por contaminación (tabla 1), en episodios de calima (gráfico 17). Para entender qué procedimiento llevan a cabo las autoridades competentes, se explicará cómo actuó el Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife ante un episodio grave de calima en época de Carnaval, lo que aumenta el riesgo de sufrir los efectos adversos de dicho episodio al haber más personas de lo normal expuestas a la amenaza, que además representó valores récord en cuanto a niveles de PM_{2,5},

El 22 de febrero 2020, la AEMET notifica al Gobierno de Canarias sobre la llegada de un fuerte episodio de calima, por lo que el Gobierno de Canarias declara el estado de alerta y el Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife suspende los actos de Carnaval de la noche de dicho día. Al día siguiente, 23 de febrero 2020, el Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife publicó a las 08:00 que se había reunido la comisión política y técnica del Ayuntamiento y tomaron la decisión de desactivar el Plan de Emergencias Municipal (PEMU), que había sido implantado el día anterior por la tarde, en base a alerta por vientos (y no por alerta por calima). Por lo que reanudaron los actos del Carnaval, afirmando que «esta decisión se sustenta tras la evaluación de las predicciones meteorológicas para el día de hoy, que indican que no existen riesgos generales para la población».

Ese mismo día, 23 de febrero 2020, el Gobierno de Canarias tras los avisos de la AEMET mantiene el estado de alerta por calima. Por lo tanto, mientras el Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife decía que «según las predicciones meteorológicas, no existen riesgos

para la población”, el Gobierno de Canarias mantenía el estado de alerta tras las predicciones meteorológicas y avisos de la AEMET.

Ese día que «no existían riesgos para la población», se alcanzaron los valores máximos registrados desde que se recogen datos de PM_{2,5}, situando a S/C de Tenerife con el peor aire respirable del mundo, permitiendo, con la celebración de los actos del Carnaval, que miles de personas estuvieran expuestas a los posibles efectos adversos de respirar niveles tan altos de PM_{2,5}.



Figura 11. Nota de prensa, Santa Cruz de Tenerife retomando el Carnaval y desactivando el PEMU. Fuente: Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife.

7. CONCLUSIÓN

En este trabajo de investigación se ha podido comprobar que, actualmente Santa Cruz de Tenerife no está capacitada para llevar a cabo un buen análisis de los efectos de las partículas contaminantes que mayoritariamente provienen del polvo en suspensión que atraen las advecciones saharianas. En cuanto a las estaciones que miden estos contaminantes (PM_{2,5}), se han reconocido varios problemas: en primer lugar, la serie histórica de datos es reciente (desde 2013); en segundo lugar, en algunas estaciones, muchos días y meses se han representado con valores nulos; y, por último, en caso de episodios de calima extrema las estaciones quedan obsoletas, ya que a partir de un número determinado de ug/m³ dejan de recoger datos. Estos tres inconvenientes fundamentales dificultan la elaboración de un buen análisis detallado que ayude a comprender la actividad de estas partículas, que se considera fundamental, ya que no es solo el contaminante atmosférico más perjudicial para la salud sino que en Canarias es el que más influencia tiene debido a la constante predominancia de polvo en suspensión a través de advecciones saharianas.

Seguir esta línea de investigación sería crucial, ya que un detalle analítico histórico es fundamental para obtener conclusiones eficientes ante la presencia de un fenómeno meteorológico extremo, en este caso los episodios de advecciones saharianas y la influencia del material particulado que trae consigo, especialmente las PM_{2,5}. También, se deberá investigar qué grado de influencia tiene el cambio climático sobre este fenómeno para prevenir eventos futuros y elaborar mejores planes de emergencia que ayuden a mitigar los efectos perjudiciales en la salud pública.

El problema que tiene Canarias respecto a ciudades europeas, es que su fuente de emisión principal de partículas contaminantes no proviene de los vehículos, ni de su actividad industrial. En ese caso sería viable implantar medidas vinculadas al tránsito de vehículos para mitigar los efectos. Pero en Canarias, la fuente de emisión de contaminantes principal proviene del Desierto del Sáhara, tras las advecciones saharianas y su transporte de partículas contaminantes, por lo tanto, se deben implantar medidas diferentes que en ciudades como por ejemplo Madrid, que su fuente principal de PM_{2,5} es por el tráfico, actividades industriales...etc.

8. REFERENCIAS

AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE ESTADOS UNIDOS (EPA), (1997): Estándares nacionales de calidad del aire ambiental para partículas en suspensión. *Research Triangle Park*, págs. 38651 - 38701.

AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE ESTADOS UNIDOS (EPA), (2020): Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente. Recuperado de: <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>

AIR QUALITY IN EUROPE (2017): Informe EEA n.o 13/2017 AEMA (Agencia Europea de Medio Ambiente).

AIR QUALITY IN EUROPE (2019): Informe EEA n.o 10/2019. AEMA (Agencia Europea de Medio Ambiente).

AIR QUALITY IN EUROPE (2020): Informe EEA n.o 9/2020. AEMA (Agencia Europea de Medio Ambiente).

BROOK RD, et al. (2013). Exposición a largo plazo a partículas finas y mortalidad por diabetes en Canadá. *Cuidado de la diabetes*, 36. Pp 3313-3320.

DOCKERY, D., POPE, A. (1994). Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Annual Review of Public Health*. Vol 15, Ed 1, pp 107-132.

DORTA, P., GELADO, M^a.D., HERNÁNDEZ, J.J., CARDONA, P., COLLADO, C., MENDOZA, S., RODRÍGUEZ, M^a.J., SIRUELA, V., TORRES, M^a.E. (2005). Frecuencia, estacionalidad y tendencias de las advecciones de aire sahariano en Canarias (1976-2003). *Investigaciones Geográficas (España)*, N^o 38, pp. 23-46.

ELLIOT, CT. COPES, R. (2011). Carga de mortalidad debida a la contaminación del aire por partículas finas (PM2.5) en el interior y el norte de Columbia Británica. *Poder. J. Salud pública* , 102, pp. 390 - 393

FANN et al. (2012). Estimación de la carga de salud pública nacional asociada con la exposición al ozono y PM2.5 ambiental. *Riesgo Anal.* 32 (1), pp. 81 - 95

FRANKLIN, M. ZEKA, A. SCHWARTZ, J. (2007). Asociación entre PM2.5 y mortalidad por todas las causas y por causas específicas en 27 comunidades de EE. UU. *J. Expo. Sci. Reinar. Epidemiol* 17. pp. 279 - 287.

GARCÍA, J., HERNÁNDEZ, A., BLASCO, A., RODRÍGUEZ, B., RANCAÑO, E., NÚÑEZ, S. (2001). Invasión de viento sahariano y su impacto en la sanitaria urgente. *Emergencias*, n° 13, pp. 372-386.

GREENPEACE (2020): Aire Tóxico: El precio de los combustibles fósiles. *Greenpeace Southeast Asia*. Recuperado de <https://es.greenpeace.org/es>

IQAIR (2019): 2018 World Air Quality Report. Recuperado de: <https://eldiariosolidario.com/wp-content/uploads/2019/04/world-air-quality-report-2018-en.pdf>

JEDRYCHOWSKI, WA et al. (2013). Relación dependiente de la dosis entre la exposición prenatal a partículas finas y el monóxido de carbono exhalado en niños no asmáticos. Un estudio de cohorte de nacimiento basado en la población. *Revista internacional de medicina ocupacional y salud ambiental*. Vol 26. Pp 73-82.

LELIEVELD, J, et al. (2019): La carga de enfermedades cardiovasculares derivada de la contaminación del aire ambiental en Europa. *European Heart Journal*, volumen 40, número 20, pp 1590–1596.

LELIEVELD, J, et al. (2020): Loss of life expectancy from air pollution compared to other risk factors: a worldwide perspective. *Cardiovascular Research*, vol 116, número 11, pp 1910-1917.

MITECO (2020): Índice Nacional de Calidad del Aire. Recuperado de: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/resolucion_02092020_modificacion_ica_tcm30-511596.pdf

NEMERY, B., HOET, P., NEMMAR, A. (2001). The Meuse Valley fog of 1930: an air pollution disaster. *The Lancet (British edition)*, Vol.357, pp.704-708.

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (2021). Desert dust outbreak in the Canary Islands (February 2020): assessment and impacts. WAG Report, No. 259. Recuperado de: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10542.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, (2006): Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Recuperado de: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf?sequence=1

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, (2016). Ambient Air Pollution: A global assessment of exposure and burden of disease. Recuperado de: <https://www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en/>

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, (2020): La OMS revela las principales causas de muerte y discapacidad en el mundo: 2000-2019. [Comunicado de Prensa]. Recuperado de <https://www.who.int/es/news/item/09-12-2020-who-reveals-leading-causes-of-death-and-disability-worldwide-2000-2019>.

PINKERTON, K. et al. (2000). Distribución de material particulado y remodelación tisular en el pulmón humano. *Reinar. Perspectiva de salud*. 108, pp. 1063 - 1069.

POPE, C. BURNETT, R. THUN, M. (2002). Cáncer de pulmón, mortalidad cardiopulmonar y exposición prolongada a la contaminación del aire por partículas finas. *Sociedad Americana del Cáncer*, 287, pp. 1132 - 1141.

POPE, C., BURNETT, R, COLEMAN, N, POND, Z (2020). Fine particulate air pollution and human mortality: 25+ years of cohort studies. *Environmental research*, Vol.183.

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE NEUMOLOGÍA Y CIRUGÍA TORÁCICA, (2019): La contaminación del aire causa 10.000 muertes al año en España, muchas más que las 1.700 por accidentes de tráfico. [Comunicado de Prensa]. Recuperado de:

<https://www.separ.es/node/1505#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20del%20aire%20causa,la%20celebraci%C3%B3n%20del%20pr%C3%B3ximo%20D%C3%ADa>

STONE, R. (2002). Counting the cost of London's killer smog. *Science*, Vol. 298, Ed 5601, pp. 2106-2107.

XU, D et al. (2008). Estudio de PM2.5 ambiental sobre la influencia de la lesión por inflamación y la función inmune de ratas con exposición subcrónica. *Wei Sheng Yan Jiu* , 37, pp. 423 - 428.

WANG, G et al. (2013). Efectos del ozono y las partículas finas (PM (2.5) sobre la inflamación del sistema de ratas y la función cardíaca. *Toxicol, Letón*, 217, pp. 23 - 33.

ZANOBETTI, A et al. (2014). Un análisis nacional de casos cruzados del efecto a corto plazo de PM2.5 sobre las hospitalizaciones y la mortalidad en sujetos con diabetes y trastornos neurológicos. *Reinar, Salud* 13, pp. 38

9. BIBLIOGRAFÍA

ALONSO PÉREZ, S. (2007). *Caracterización de las intrusiones de polvo africano en Canarias*. (tesis doctoral). Universidad de La Laguna, España. Recuperado de: http://izana.aemet.es/publications/TESIS_SILVIA_ALONSO_PEREZ.pdf

DORTA, P. (1990): Estado de la atmósfera en las olas de calor estivales en Canarias. *Ería: Revista cuatrimestral de geografía*, ISSN 0211-0563, N° 23, 1990, págs. 205-212.

DORTA, P. (1996): Inversiones térmicas en Canarias. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, núm. 15, pp. 109-124.

DORTA, P. (2002): Algunas consideraciones sobre la importancia del polvo de origen sahariano en el clima del archipiélago canario y su aporte a las aguas superficiales oceánicas: el episodio de abril de 2002. Guijarro Pastor, J.A. (Ed.). *El agua y el clima*. España: Publicaciones de la Sociedad Española de Climatología, p. 13-24.

DORTA, P. (2007). Catálogo de riesgos climáticos en Canarias: amenazas y vulnerabilidad, *Geographicalia*, nº 51, pp 133-160.

DORTA, P., BETHENCOURT, J. (2010): Episodios históricos de advecciones de polvo sahariano en la Región de Canarias. VIIº Congreso de la Asociación Española de Climatología.

ECOLOGISTAS EN ACCIÓN (2008): ¿Qué son las PM2,5 y cómo afectan a nuestra salud? Recuperado de: <https://www.ecologistasenaccion.org/17842/que-son-las-pm25-y-como-afectan-a-nuestra-salud/#:~:text=En%20el%20caso%20de%20las,de%20las%20intrusiones%20de%20viento>

GELADO, M. (2002): Caracterización del aerosol sahariano en Gran Canaria. *Encuentro sobre Meteorología y Atmósfera de Canarias*, pp. 155-157.

GOBIERNO DE CANARIAS (2009). Plan de calidad del aire en Canarias. Recuperado de: http://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/piac/descargas/Atmosfera/Planes-aire-canarias/plan_actuacion_c_a.pdf

IQAIR (2021). El costo de la contaminación del aire. Recuperado de: <https://www.iqair.com/blog/air-quality/cost-of-air-pollution>

LI, T., HU, R. (2018): Fine Particulate Matter PM (2,5): The culprit for chronic lung diseases in China. *Chronic Diseases and Translational Medicine* pp. 176-186.

LINARES, C., DÍAZ, J. (2009): Efecto de las partículas de diámetro inferior a 2,5 micras (PM2,5) sobre los ingresos hospitalarios en niños menores de 10 años en Madrid. *Gac Sanit* vol.23 no.3 Barcelona may./jun.

LÓPEZ, E. (2008): Caracterización del ambiente atmosférico en Las Palmas de Gran Canaria y Santa Cruz de Tenerife. 2000 a 2004". *Rev. Esp. Salud Publica* vol.82 no.5 Madrid sep./oct.

MATUS, P., OYARZÚN, M. (2018). Impacto del Material Particulado aéreo (MP 2,5) sobre las hospitalizaciones por enfermedades respiratorias en niños: estudio caso-control alterno. *Rev. chil. pediatría*. vol.90 no.2

MITECO (2020). Plan Nacional de Calidad del AIRE 2017-2019 (Plan Aire II). Recuperado de: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/planaire2017-2019_tcm30-436347.pdf

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, (2014). Quema de combustibles en los hogares. Recuperado de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/144310/WHO_FWC_IHE_14.01_spa.pdf?ua=1

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (2018). Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. Recuperado de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

QUEROL, X., ALASTUEY, J., CASTILLO, S (2008). Impacto de las emisiones desérticas de polvo africano sobre la calidad del aire en España. *Macla: revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, ISSN 1885-7264, Nº. 8, pp. 22-27.

SCOTT, M., LINDSEY, R. (2016). ¿Qué emite más dióxido de carbono? ¿Los volcanes o la actividad humana? NOAA. Recuperado de: <https://www.climate.gov/news-features/climate-qa/%C2%BFqu%C3%A9-emite-m%C3%A1s-di%C3%B3xido-de-carbono-%C2%BFlos-volcanes-o-la-actividad-humana>

SHALONG, F., DAN, G., FEN, L., FURONG, Z., XINMING, W. (2016). The health effects of ambient PM_{2,5} and potential mechanisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol. 128. Pp 67-74.

SIBER (2019). Partículas PM_{2.5}, ¿las más contaminantes del aire? Recuperado de <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/particulas-pm25/>

