



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS

Tesis Doctoral

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE
EN LA PROVINCIA DE LAS PALMAS**

Norberto Angulo Rodríguez

Gran Canaria, Octubre 2009



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA

INGENIERÍA AMBIENTAL Y DESALINIZACIÓN
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS

Tesis Doctoral

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE
EN LA PROVINCIA DE LAS PALMAS**

Director

Directora

Fdo. Dr. Antonio J. Vera Castellano

Fdo. Dra. M^a de la Concepción F. Ling Ling

Autor

Fdo. Norberto Angulo Rodríguez

Gran Canaria, Octubre 2009

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento al Dr. D. Antonio Vera Castellano y a la Dra. Dña. Concepción Ling Ling, directores de esta Tesis, y, verdaderos artífices e impulsores de la misma. Gracias, por la paciencia mostrada, por sus consejos, por la ayuda prestada y por compartir sus conocimientos conmigo. Ha sido un placer el haber tenido la oportunidad de trabajar con ellos.

Mi reconocimiento a Néstor Florido y Javier Gómez de la Vega, por la ayuda prestada y realizada de forma desinteresada.

Mi gratitud a la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial del Gobierno de Canarias por la aportación de los registros de los contaminantes y a la Agencia Estatal de Meteorología por la cesión de los datos y mapas meteorológicos.

Mi gratitud a la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria por las facilidades concedidas para la realización de la Tesis.

Agradezco a los compañeros del Dpto. de Ingeniería Eléctrica el interés y el ánimo prestado, en todo momento.

Por último, quiero finalizar con mi familia, que ha estado siempre apoyándome en las tristezas y en las alegrías, sin cuyo concurso el camino habría sido mucho más largo.

A Lourdes

A Carla y Aridane

A mis Padres

ÍNDICE

Índice

Capítulo 0

<i>Resumen de la Tesis</i>	3
----------------------------------	---

Capítulo 1

<i>Introducción</i>	7
1.1 Contaminación atmosférica	7
1.1.1 Contaminantes atmosféricos	11
1.2 Procesos químicos en la atmósfera urbana	13
1.2.1 Óxidos de nitrógeno y ozono	13
1.2.2 Óxidos de azufre	15
1.3 Materia particulada.....	16
1.3.1 Fuentes de la materia particulada	17
1.4 Sinergia entre los contaminantes atmosféricos.....	18
1.5 Contaminantes atmosféricos y salud	20
1.6 Legislación sobre la calidad del aire en España y en Europa	22
1.6.1 Programa CAFE y estrategia sobre contaminación atmosférica.....	25
1.6.2 Estado actual y peculiaridades de España	25
1.6.3 Estrategia española de calidad de aire	27

Capítulo 2

<i>Zona de estudio</i>	31
2.1 Localización	31
2.2 El clima de Canarias.....	31
2.2.1 Factores que gobiernan el clima.....	31
2.2.2 Elementos climatológicos	35
2.2.3 Tipos de tiempo	37

2.3 Población de Canarias	42
2.4 Contaminación	42

Capítulo 3

<i>Objetivos, herramientas de análisis y características de las estaciones de medida</i>	47
3.1 Objetivos.....	47
3.2 Herramientas empleadas para el análisis y tratamiento de datos	47
3.3 Estaciones de medida de las Islas Canarias	48

Capítulo 4

<i>Resultados y discusión</i>	59
4.1 Partículas (PM ₁₀).....	59
4.1.1 Introducción	59
4.1.2 Niveles de partículas.....	59
4.1.3 Ajustes de distribución	61
4.1.3.1 Análisis de las distribuciones de frecuencia	66
4.1.4 Comparación con otras ciudades españolas	72
4.1.4.1 Evolución histórica	72
4.1.5 Evolución temporal	74
4.1.5.1 Variación mensual e interanual	74
4.1.5.2 Variación horaria	79
4.1.5.2.1 Estaciones urbanas	82
4.1.5.2.2 Estaciones industriales	84
4.1.5.2.3 Estaciones de fondo urbanas	87
4.1.5.3 Variación por día de la semana	89
4.1.5.3.1 Estaciones urbanas	89
4.1.5.3.2 Estaciones industriales	92

4.1.5.3.3 Estaciones de fondo urbanas	94
4.1.5.4 Variación: días entre semana – fines de semana	98
4.1.5.5 Variación estacional	101
4.1.5.5.1 Estaciones urbanas	101
4.1.5.5.2 Estaciones industriales	102
4.1.5.5.3 Estaciones fondo urbanas	103
4.1.5.4.4 Análisis de varianza (ANOVA)	103
4.1.6 Excedencias de PM ₁₀ según la directiva 2008/50/ce del Parlamento Europeo	106
4.1.7 Origen de las masas de aire	107
4.1.8 Intrusiones de masas de aire de origen africano	109
4.1.8.1 Estacionalidad de las intrusiones de masas de aire africanas	111
4.1.8.1.1 Intrusiones de otoño	111
4.1.8.1.2 Intrusiones de invierno	117
4.1.8.1.3 Intrusiones de verano	121
4.1.9 Identificación de episodios naturales africanos de PM ₁₀	124
4.2 Óxidos de nitrógeno	129
4.2.1 Introducción	129
4.2.2 Concentraciones medias	129
4.2.2.1 Relación NO ₂ /NO _x	135
4.2.2.2 Distribución de frecuencias	136
4.2.3 Análisis de las concentraciones de acuerdo a la normativa europea	139
4.2.3.1 Variación mensual de las concentraciones de NO ₂	139
4.2.3.2 Variación horaria	149
4.2.3.2.1 Estaciones urbanas	150
4.2.3.2.2 Estaciones industriales	152
4.2.3.2.3 Estaciones de fondo urbanas	154
4.3 Dióxido de azufre	159

4.3.1	Introducción	159
4.3.2	Series temporales de niveles de dióxido de azufre	159
4.3.2.1	Evolución mensual	163
4.3.2.2	Variación horaria	170
4.3.2.2.1	Estaciones urbanas	171
4.3.2.2.2	Estaciones industriales	172
4.3.2.2.3	Estaciones de fondo urbanas.....	175
4.4	Ozono	179
4.4.1	Introducción	179
4.4.2	Valores objetivo según directiva europea 2008/50	179
4.4.3	Series temporales de niveles de ozono	180
4.4.3.1	Variación horaria anual	180
4.4.3.2	Variaciones día de la semana (lunes-viernes)/Fin de semana	182
4.5	Análisis de factores	195
4.5.1	Análisis multivariante	195
4.5.1.1	Análisis de conglomerados	197
4.5.1.2	Análisis de factores	199
Capítulo 5		
	<i>Conclusiones</i>	205
	Partículas (PM ₁₀)	205
	Óxidos de nitrógeno	206
	Dióxido de azufre	207
	Ozono	208
	Conclusión final	209
	Bibliografía citada	213

Bibliografía consultada	225
Anexos	233
Anexo A: <i>Gráficas NO, NO₂ y PM₁₀ (medias horarias)</i>	235
Anexo B: <i>Gráficas SO₂ (medias horarias y mensuales)</i>	247
Anexo C: <i>Medias días laborables-fin de semana</i>	261
Anexo D: <i>Valores medios diarios de PM₁₀ en las estaciones de medida de la provincia de Las Palmas en días de intrusiones africanas</i>	269

Índice de Figuras

Figura 1.1.- Variación de temperatura en las diferentes capas de la atmósfera.....	8
Figura 1.2.- En la situación habitual de la atmósfera la temperatura desciende con la altitud lo que favorece que suba el aire más caliente (menos denso) y arrastre a los contaminantes hacia arriba.....	9
Figura 1.3. - En una situación de inversión térmica una capa de aire más cálido se sitúa sobre el aire superficial más frío e impide la ascensión de este último (más denso), por lo que la contaminación queda encerrada y va aumentando	9
Figura 1.4.- Esquema representativo de la formación de ozono troposférico en una ciudad	13
Figura 1.5.- Reacciones básicas entre contaminantes atmosféricos	19
Figura 2.1.- Mapa de las Islas Canarias	31
Figura 2.2.- Circulación de vientos en la Tierra	32
Figura 2.3.- Mar de nubes (inversión del alisio) cumbre central de Gran Canaria	33
Figura 2.4.- Interacción del relieve y el alisio en las Islas Canarias	34
Figura 2.5.- Pluma de polvo africano sobre las Islas Canarias	34
Figura 2.6.- Circulación típica del alisio sobre las Islas Canarias en verano	35
Figura 2.7.- Invasión de aire sahariano sobre las Islas Canarias	38
Figura 3.1.- Red de estaciones de medida de calidad del aire ambiente de Canarias	49
Figura 3.2.- Situación estación de medida Mercado Central	50
Figura 3.3.- Situación estaciones de medida Jinámar, Pedro Lezcano, Jinámar III y Néstor Álamo	51
Figura 3.4.- Situación estación de medida Arinaga	52
Figura 3.5.- Situación estación de medida Agüimes	52
Figura 3.6.- Situación estación de medida Sardina	53
Figura 3.7.- Situación estación de medida Castillo del Romeral	53
Figura 3.8.- Situación estación de medida San Agustín	54
Figura 3.9.- Estación de medida Playa del Inglés	54
Figura 3.10.- Situación estaciones de medida Arrecife y Costa Teguisse.....	55
Figura 3.11.- Situación estaciones de medida Centro de Arte Juan Ismael y Parque de la Piedra.....	56
Figura 4.1.1.- Rango de niveles medios Anuales de PM ₁₀ (Provincia de Las Palmas 2006 - 2007)	61
Figura 4.1.2.- Histograma de frecuencia de PM ₁₀ estación San Agustín (2006-2007)	67
Figura 4.1.3.- Gráfico cuantil-cuantil estación San Agustín (Gran Canaria)	68
Figura 4.1.4.- Distribución de frecuencia acumulada complementaria para valores de PM ₁₀ mayor que..	68
Figura 4.1.5.- Gráfica cuantil-cuantil para PM ₁₀ percentil 95 % usando la función exponencial dos parámetros	70
Figura 4.1.6.- Regresión lineal entre F _L real y F _L teórica para altas concentraciones de PM ₁₀ estación San Agustín	70
Figura 4.1.7.- Función de distribución estación industrial Jinámar iii (2006-2007)	70
Figura 4.1.8.- Función de distribución estación fondo urbana Playa del Inglés (2006-2007)	71
Figura 4.1.9.- Función de distribución estación parque de la piedra en Fuerteventura (2007)	71
Figura 4.1.10.- Función de distribución estación Costa Teguisse Lanzarote (2007)	71
Figura 4.1.11.- Evolución mensual de PM ₁₀ estaciones urbanas año 2006	75

Figura 4.1.12.- Evolución mensual de PM ₁₀ estaciones industriales año 2006	76
Figura 4.1.13.- Evolución mensual de PM ₁₀ de fondo urbano año 2006	76
Figura 4.1.14.- Evolución mensual de PM ₁₀ estaciones urbanas año 2007	76
Figura 4.1.15.- Evolución mensual de PM ₁₀ estaciones industriales año 2007	77
Figura 4.1.16.- Evolución mensual de PM ₁₀ estaciones de fondo urbanas año 2007	77
Figura 4.1.17.- Evolución mensual de PM ₁₀ años 2006 y 2007	78
Figura 4.1.18.- Evolución horaria PM ₁₀ estación Mercado Central años 2006 y 2007	82
Figura 4.1.19.- Evolución horaria PM ₁₀ estación San Agustín años 2006 y 2007	82
Figura 4.1.20.- Evolución horaria PM ₁₀ estación Arrecife año 2007	83
Figura 4.1.21.- Evolución horaria PM ₁₀ estaciones urbanas años 2006 y 2007	83
Figura 4.1.22.- Evolución horaria PM ₁₀ estación Pedro Lezcano años 2006 y 2007	84
Figura 4.1.23.- Evolución horaria PM ₁₀ estación Néstor Álamo. Años 2006 y 2007	84
Figura 4.1.24.- Evolución horaria PM ₁₀ estación Jinámar años 2006 y 2007	85
Figura 4.1.25.- Evolución horaria PM ₁₀ estación Jinámar III años 2006 y 2007	85
Figura 4.1.26.- Evolución horaria PM ₁₀ estación Castillo del Romeral años 2006 y 2007	86
Figura 4.1.27.- Evolución horaria PM ₁₀ estaciones urbanas período 2006-2007	86
Figura 4.1.28.- Evolución horaria PM ₁₀ estación Arinaga años 2006 y 2007	87
Figura 4.1.29.- Evolución horaria PM ₁₀ estación Agüimes años 2006 y 2007	87
Figura 4.1.30.- Evolución horaria PM ₁₀ estación Sardina años 2006 y 2007	87
Figura 4.1.31.- Evolución horaria PM ₁₀ estación Playa del Inglés años 2006 y 2007	88
Figura 4.1.32.- Evolución horaria PM ₁₀ estaciones de fondo urbano (período 2006-2007)	88
Figura 4.1.33.- Evolución diaria PM ₁₀ estación Mercado Central años 2006 y 2007	90
Figura 4.1.34.- Evolución diaria PM ₁₀ estación San Agustín años 2006 y 2007	90
Figura 4.1.35.- Evolución diaria PM ₁₀ estación Arrecife años 2006 y 2007	91
Figura 4.1.36.- Evolución diaria PM ₁₀ estaciones urbanas año 2007	91
Figura 4.1.37.- Evolución horaria de PM ₁₀ día de la semana estación Mercado Central (año 2006)... ..	92
Figura 4.1.38.- Evolución diaria PM ₁₀ estación Pedro Lezcano años 2006 y 2007	92
Figura 4.1.39.- Evolución diaria PM ₁₀ estación Néstor Álamo años 2006 y 2007	93
Figura 4.1.40.- Evolución diaria PM ₁₀ estación Jinámar años 2006 y 2007	93
Figura 4.1.41.- Evolución diaria PM ₁₀ estación Jinámar III años 2006 y 2007	93
Figura 4.1.42.- Evolución diaria PM ₁₀ estación Castillo del Romeral años 2006 y 2007	94
Figura 4.1.43.- Evolución diaria PM ₁₀ estaciones industriales período 2006-2007	94
Figura 4.1.44.- Evolución horaria de PM ₁₀ día de la semana estación Jinámar (años 2006 y 2007)... ..	95
Figura 4.1.45.- Evolución diaria PM ₁₀ estación Arinaga años 2006 y 2007	95
Figura 4.1.46.- Evolución diaria PM ₁₀ estación Sardina años 2006 y 2007	96
Figura 4.1.47.- Evolución diaria PM ₁₀ estación Playa del Inglés años 2006 y 2007	96
Figura 4.1.48.- Evolución diaria PM ₁₀ estación centro Juan Ismael año 2007	96
Figura 4.1.49.- Evolución diaria PM ₁₀ estación Parque de la Piedra años 2006 y 2007	97
Figura 4.1.50.- Evolución diaria PM ₁₀ estación Costa Tegui años 2006 y 2007	97
Figura 4.1.51.- Evolución diaria PM ₁₀ estaciones fondo urbano años 2006 y 2007	97

Figura 4.1.52.- Evolución horaria de PM ₁₀ día de la semana estación Playa del Inglés (año 2007)..	98
Figura 4.1.53.- Media aritmética anual de PM ₁₀ días laborales-fin de semana estaciones urbanas (período 2006-2007)	100
Figura 4.1.54.- Media aritmética anual de PM ₁₀ días laborales-fin de semana estaciones industriales (período 2006-2007)	100
Figura 4.1.55.- Media aritmética anual de PM ₁₀ días laborales-fin de semana estaciones de fondo urbana (período 2006-2007)	101
Figura 4.1.56.- Evolución estacional PM ₁₀ estaciones urbanas años 2006 y 2007	102
Figura 4.1.57.- Evolución estacional PM ₁₀ estaciones industriales años 2006 y 2007	102
Figura 4.1.58.- Evolución estacional PM ₁₀ estaciones fondo urbano años 2006 y 2007	103
Figura 4.1.59.- Medias estación Mercado Central (análisis de varianza)	105
Figura 4.1.60.- Medias estación Jinámar (análisis de varianza)	105
Figura 4.1.61.- Medias estación Playa del Inglés (análisis de varianza)	105
Figura 4.1.62.- Anticiclón de las Azores (30 julio 2006)	108
Figura 4.1.63.- Días de intrusiones de masas de aire africano sobre las Islas Canarias correspondientes al año 2006	111
Figura 4.1.64.- Medias diarias de PM ₁₀ estación Mercado Central (noviembre 2006)	112
Figura 4.1.65.- Valores horarios de PM ₁₀ estación Mercado Central (11/11/2006)	112
Figura 4.1.66.- Presión a nivel de superficie, 700 hPa y 500 hPa prevista para el día 11/11/2006	113
Figura 4.1.67.- Retro trayectorias estación Mercado Central (11/11/2006)	114
Figura 4.1.68.- Carga total de polvo predicha por el modelo Skiron para el día 11/11/2006 a las 18 horas UTC	114
Figura 4.1.69.- Mapa de índice de aerosoles OMI (NASA) 11/11/2006	115
Figura 4.1.70.- Simulación de tormenta de polvo sobre las Islas Canarias (11/11/2006)	115
Figura 4.1.71.- Retro trayectorias (Google Earth) estación Mercado Central (11/11/2006)	116
Figura 4.1.72.- Imagen tomada (11/11/2006) a las 11:15 UTC por el satélite Terra de la NASA e implementada en Google Earth	116
Figura 4.1.73.- Valores horarios de PM ₁₀ estación Mercado Central (11/01/2007)	117
Figura 4.1.74.- Presión a nivel de superficie, 700 hPa y 500 hPa prevista para el día 11/01/2007	118
Figura 4.1.75.- Retro trayectorias estación Mercado Central (11/01/2007)	119
Figura 4.1.76.- Retro trayectorias (Google Earth) estación Mercado Central (11/01/2007)	119
Figura 4.1.77.- Carga total de polvo predicha por el modelo Skiron para el día 11 enero de 2007. A la izquierda predicción a las 6 UTC y a la derecha a las 18 UTC.	120
Figura 4.1.78.- Mapa de índice de aerosoles OMI (NASA) 11/01/2007	120
Figura 4.1.79.- Media mensual de PM ₁₀ estación Castillo del Romeral (año 2006)	121
Figura 4.1.80.- Medias diarias de PM ₁₀ de la estación Castillo del Romeral (año 2006)	121
Figura 4.1.81.- Presión a nivel de superficie, 700 hPa y 500 hPa prevista para el día 24/07/2006..	122
Figura 4.1.82.- Retro trayectorias estación Castillo del Romeral 24/07/06	123
Figura 4.1.83.- Retro trayectorias estación Castillo del Romeral e implementada en Google Earth (24/07/2006)	123
Figura 4.1.84.- Mapa de índice de aerosoles OMI (NASA) 24/07/2006	124
Figura 4.2.1.- Relación NO ₂ /NO _x provincia de Las Palmas (años 206 y 2007)	136

Figura 4.2.2.- Distribución de frecuencias de NO estaciones urbanas, industriales y fondo urbano (año 2006)	137
Figura 4.2.3.- Distribución de frecuencias de NO ₂ estaciones urbanas, industriales y fondo urbano (año 2006)	137
Figura 4.2.4.- distribución de frecuencias de NO estaciones urbanas, industriales y fondo urbano (año 2007)	138
Figura 4.2.5.- Distribución de frecuencias de NO ₂ estaciones urbanas, industriales y fondo urbano (año 2006)	138
Figura 4.2.6.- Evolución horaria del NO los días 21 y 25 de diciembre de 2006 (estación Mercado Central)	140
Figura 4.2.7.- Evolución horaria del NO ₂ los días 21 y 25 de diciembre de 2006 (estación Mercado Central)	141
Figura 4.2.8.- Variación mensual de NO ₂ estaciones urbanas Gran Canaria (año 2006)	142
Figura 4.2.9.- Variación mensual de NO ₂ estaciones industriales Gran Canaria (año 2006)	142
Figura 4.2.10.- Variación mensual de NO ₂ estaciones de fondo urbanas Gran Canaria (año 2006).....	143
Figura 4.2.11.- Velocidades medias mensuales de viento estación San Cristóbal (Gran Canaria) AEMET (2006)	143
Figura 4.2.12.- Velocidades medias mensuales de viento estación aeropuerto de Gran Canaria AEMET (2006)	144
Figura 4.2.13.- Variación mensual de NO ₂ estaciones urbanas provincia de Las Palmas (año 2007).....	144
Figura 4.2.14.- Variación mensual de NO ₂ estaciones industriales provincia de Las Palmas (año 2007)..	145
Figura 4.2.15.- Variación mensual de NO ₂ estaciones de fondo urbanas provincia de Las Palmas (año 2007)	145
Figura 4.2.16.- Velocidades medias mensuales de viento estación San Cristóbal AEMET (2007)	146
Figura 4.2.17.- Velocidades medias mensuales de viento estación aeropuerto de Gran Canaria AEMET (2007)	146
Figura 4.2.18.- Retrotrayectorias de viento entre el 8 y el 12 de mayo de 2007 (estación Pedro Lezcano)	147
Figura 4.2.19.- Retrotrayectoria de viento entre el 8 y el 12 de mayo de 2007 implementada en Google Earth (estación Pedro Lezcano)	149
Figura 4.2.20.- Medias horarias de NO, NO ₂ y PM ₁₀ estación Mercado Central (año 2006)	150
Figura 4.2.21.- Medias horarias de NO, NO ₂ y PM ₁₀ estación Mercado Central (año 2007)	151
Figura 4.2.22.- Evolución horaria día de la semana de NO, NO ₂ y PM ₁₀ Mercado Central (2006)	151
Figura 4.2.23.- Evolución horaria día de la semana de NO, NO ₂ y PM ₁₀ Mercado Central (2007)	152
Figura 4.2.24.- Medias horarias de NO, NO ₂ y PM ₁₀ estación Jinámar III (año 2006)	152
Figura 4.2.25.- Medias horarias de NO, NO ₂ y PM ₁₀ estación Néstor Álamo (año 2006)	153
Figura 4.2.26.- Evolución horaria día de la semana de NO, NO ₂ y PM ₁₀ Néstor Álamo (2006)	153
Figura 4.2.27.- Medias horarias de NO, NO ₂ y PM ₁₀ estación Playa del Inglés (año 2007)	154
Figura 4.2.28.- Medias horarias de NO, NO ₂ y PM ₁₀ estación Agüimes (año 2007)	154
Figura 4.2.29.- Evolución horaria día de la semana de NO, NO ₂ y PM ₁₀ Playa del Inglés (2007)	155
Figura 4.3.1.- Velocidad media diaria de viento y media diaria de SO ₂ estación Mercado Central año 2006	164

Figura 4.3.2.- Variación mensual de SO ₂ estaciones urbanas Gran Canaria (año 2006)	165
Figura 4.3.3.- Velocidades medias mensuales de viento estación San Cristóbal (Gran Canaria) AEMET (2006)	165
Figura 4.3.4.- Velocidad horaria frente a direcciones de viento horarias estación San Cristóbal AEMET (2006)	166
Figura 4.3.5.- Variación mensual de SO ₂ estaciones industriales Gran Canaria (año 2006)	167
Figura 4.3.6.- Variación mensual de SO ₂ estaciones de fondo urbanas Gran Canaria (año 2006)	167
Figura 4.3.7.- Variación mensual de SO ₂ estaciones urbanas provincia de Las Palmas (año 2007)	168
Figura 4.3.8.- Evolución media horaria de SO ₂ julio 2007 y año 2007 (estación Arrecife)	168
Figura 4.3.9.- Velocidades medias mensuales de viento estación San Bartolomé (aeropuerto Lanzarote) AEMET (2007)	169
Figura 4.3.10.- Variación mensual de SO ₂ estaciones industriales provincia de Las Palmas (año 2006)..	169
Figura 4.3.11.- Variación mensual de SO ₂ estaciones de fondo urbanas provincia de Las Palmas (año 2006)	170
Figura 4.3.12.- Medidas horarias de SO ₂ y O ₃ estación Mercado Central (2006)	171
Figura 4.3.13.- Evolución horaria de SO ₂ día de la semana estación Mercado Central (años 2006 y 2007)	172
Figura 4.3.14.- Medidas horarias de SO ₂ y O ₃ estación Néstor Álamo (2006)	173
Figura 4.3.15.- Evolución horaria de SO ₂ y O ₃ día de la semana estación Néstor Álamo (año 2006)	173
Figura 4.3.16.- Medidas horarias de SO ₂ estaciones Néstor Álamo y Jinámar (2006)	174
Figura 4.3.17.- Medidas horarias de SO ₂ estación Pedro Lezcano (2007)	174
Figura 4.3.18.- Medidas horarias de SO ₂ estación Playa del Inglés (2006)	175
Figura 4.3.19.- Evolución horaria de SO ₂ día de la semana estación Playa del Inglés (años 2006 y 2007).	175
Figura 4.3.20.- Medidas horarias de SO ₂ estación parque de la piedra (2007)	176
Figura 4.4.1.- Variación horaria de NO, NO ₂ y O ₃ estación Mercado Central (2007)	181
Figura 4.4.2.- Variación horaria de NO, NO ₂ y O ₃ y radiación solar estación Néstor Álamo (2006)	181
Figura 4.4.3.- Curva de generación de la central térmica de Jinámar (16-22 abril 2007)	182
Figura 4.4.4.- Concentración horaria diurna (7-21 horas) de O ₃ en la estación Mercado Central (enero-marzo & septiembre-diciembre 2007)	184
Figura 4.4.5.- Concentración horaria (entre 7 y 21 horas) de NO, en la estación Mercado Central (enero-marzo & septiembre-diciembre 2007)	184
Figura 4.4.6.- Concentración horaria de O ₃ estación Mercado Central de 7 a 21 horas (abril-agosto 2007)	185
Figura 4.4.7.- Concentración horaria diurna de NO en la estación Mercado Central de 7 a 21 horas (abril-agosto 2007)	185
Figura 4.4.8.- Velocidades medias mensuales de viento estación San Cristóbal. Fuente: AEMET (2007)...	186
Figura 4.4.9.- Direcciones de viento (%) estación San Cristóbal AEMET (2007)	186
Figura 4.4.10.- Concentración media horaria de O ₃ estación Mercado Central (diciembre 2007)	187
Figura 4.4.11.- Concentración media horaria de O ₃ estación Mercado Central (julio 2007)	187

Figura 4.4.12.- Concentración horaria de O₃ estación Mercado Central de 22 a 6 horas (enero-marzo & septiembre-diciembre 2007) 188

Figura 4.4.13.- Concentración horaria de NO estación Mercado Central de 1-6 horas y 22-24 horas (enero-marzo & septiembre-diciembre 2007) 188

Figura 4.4.14.- Concentración horaria de O₃ estación Mercado Central de 22 a 6 horas (abril-agosto 2007) 189

Figura 4.4.15.- Concentración horaria de NO estación Mercado Central de 22 a 6 horas (abril-agosto 2007) 189

Figura 4.4.16.- Ciclos de medias horarias por día de la semana evolución horaria de O₃ día de la semana estación Mercado Central (año 2006) 190

Figura 4.4.17.- Correlación de medias horarias anual de O₃ (domingo frente martes-jueves) estación Mercado Central de 7 a 21 horas (enero-marzo & septiembre-diciembre 2007) 191

Figura 4.4.18.- Correlación de medias horarias anual de O₃ (domingo frente martes-jueves) estación Mercado Central de 7 a 21 horas (abril-agosto 2007) 191

Figura 4.4.19.- Ciclos de medias horarias por día de la semana evolución horaria de O₃, NO y NO₂ día de la semana estación Néstor Álamo (año 2006) 192

Figura 4.5.1.- Dendograma por aplicación del método de aglomerados jerárquicos 198

Índice de Tablas

Tabla 3.1.- Coordenadas geográficas de las estaciones de medida de la provincia de Las Palmas.....	49-50
Tabla 4.1.1.- Valores estadísticos medios diarios de PM ₁₀ , correspondientes al año 2006 (isla de Gran Canaria)	62
Tabla 4.1.2.- Valores estadísticos medios diarios de PM ₁₀ , correspondientes al año 2007 (provincia de Las Palmas)	63
Tabla 4.1.3.- Funciones de densidad de probabilidad	64
Tabla 4.1.4.- Funciones de distribución y parámetros característicos de las estaciones de medida (período 2006-2007)	66
Tabla 4.1.5.- Comparación de funciones de densidad de probabilidad para la estación San Agustín.....	67
Tabla 4.1.6.- Prueba de bondad ajuste de Kolmogorov-Smirnov estación San Agustín	67
Tabla 4.1.7.- Valores medios de PM ₁₀ en estaciones de la isla de Gran Canaria en dos períodos de estudio diferentes	72
Tabla 4.1.8.- Concentraciones medias anuales (µg/m ³) de PM ₁₀ en diversas capitales españolas en el año 2006. (a): media de tres estaciones; (b) media de dos estaciones; (c) media de 5 estaciones; (d) media de 7 estaciones. Entre paréntesis valores mínimo y máximo en caso de disponer de varias estaciones de medida.	73
Tabla 4.1.9.- Correlación de PM ₁₀ entre estaciones año 2006	80
Tabla 4.1.10.- Correlación de PM ₁₀ entre estaciones año 2007	81
Tabla 4.1.11.- Medias geométricas días de la semana estaciones urbanas (2006 y 2007)	89
Tabla 4.1.12.- Media aritmética días laborales, fin de semana y relación entre ambas (período 2006-2007)	99
Tabla 4.1.13.- Tabla ANOVA estación mercado central (período 2006-2007)	104
Tabla 4.1.14.- Prueba de rangos múltiples mercado central método: 95,0 % Tukey HSD	104
Tabla 4.1.15.- Valores límites de PM ₁₀ (Directiva 2008/50/CE)	106
Tabla 4.1.16.- Media aritmética anual y diaria con margen de tolerancia de PM ₁₀ de las estaciones de medida de la provincia de Las Palmas (años 2006 y 2007)	106
Tabla 4.1.17.- Número de días y frecuencia media anual del origen de las masas de aire	108
Tabla 4.1.18.- Dirección y velocidad de viento del día 11/11/2006 en la estación meteorológica San Cristóbal (Las Palmas de Gran Canaria)	112
Tabla 4.1.19.- Valores medios diarios de PM ₁₀ en las estaciones de la provincia de Las Palmas (11/01/07)	117
Tabla 4.1.20.- Valores medios diarios de PM ₁₀ en las estaciones de medida de la isla de Gran Canaria en días de intrusiones africanas correspondientes al mes de octubre de 2006	125
Tabla 4.1.21.- Número de episodios africanos ≥ 50 µg/m ³ (años 2006 y 2007)	126
Tabla 4.2.1.- Valores estadísticos medios diarios de NO ₂ , correspondientes al año 2006 (estaciones provincia de Las Palmas)	131
Tabla 4.2.2.- Valores estadísticos medios diarios de NO ₂ , correspondientes al año 2007 (estaciones provincia de Las Palmas)	132
Tabla 4.2.3.- Valores estadísticos medios diarios de NO correspondientes al año 2006 (estaciones provincia de Las Palmas)	133
Tabla 4.2.4.- Valores estadísticos medios diarios de NO, correspondientes al año 2007 (estaciones provincia de Las Palmas)	134
Tabla 4.2.5.- Número de superaciones anuales de medidas horarias de NO ₂ ≥ 200 µg/m ³	140

Tabla 4.2.6.- Relación NO ₂ /NO _x mensual estaciones isla de Gran Canaria (año 2006)	147
Tabla 4.2.8.- Relación NO ₂ /NO _x mensual estaciones provincia de Las Palmas (año 2007)	148
Tabla 4.3.1.- Valores estadísticos medios anuales de SO ₂ , correspondientes al año 2006 (estaciones isla de Gran Canaria)	161
Tabla 4.3.2.-Valores estadísticos medios anuales de SO ₂ , correspondientes al año 2007 (estaciones provincia de Las Palmas)	162
Tabla 4.3.3.- Excedencias horarias y diarias de SO ₂ (directiva 2008/50/CE) años 2006 y 2007	163
Tabla 4.4.1.- Número de episodios $\geq 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de la máxima diaria de las medias móviles octohorarias	179
Tabla 4.5.1.- Medias aritméticas anuales de contaminantes atmosféricos presentes en la directiva 2008/50, estaciones de medidas isla de Gran Canaria (año 2006)	198
Tabla 4.5.2.- Matriz de factores una vez realizada la rotación Varimax (estación Mercado Central).	200
Tabla 4.5.3.- Matriz de factores una vez realizada la rotación Varimax (estación Jinámar)	201
Tabla 4.5.4.- Matriz de factores una vez realizada la rotación Varimax (estación Playa del Inglés).	202
Tabla 4.5.5.- Matriz de factores una vez realizada la rotación Varimax (estación Arrecife)	202

CAPÍTULO 0

RESUMEN DE LA TESIS

CAPÍTULO 0

RESUMEN DE LA TESIS

La presente Memoria tiene por objeto exponer los resultados obtenidos al estudiar los denominados “contaminantes mayores” o clásicos: NO, NO_x, SO₂, O₃, y PM₁₀ (partículas de diámetro aerodinámico inferior a 10 µm) en quince estaciones de medida de la provincia de Las Palmas, once de ellas situadas en Gran Canaria, dos en Lanzarote y otras 2 en Fuerteventura. Los datos analizados han sido cedidos por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial del Gobierno de Canarias

Con estos datos se ha realizado un estudio de las series temporales de PM₁₀, NO, NO₂ y SO₂, (además de O₃ en dos de las estaciones situadas en Gran Canaria), que comienza con una revisión estadística que permite disponer de una visión del grado de cumplimiento de la Directiva 2008/50 sobre sus valores límites.

La memoria se encuentra estructurada en 6 capítulos, siendo en el capítulo cuatro donde se presenta el análisis, tanto individual como conjunto, de estos contaminantes.

Dicho análisis comienza con la exposición de los resultados relativos a la PM₁₀ y el estudio de su distribución espacial y temporal; se determinan las funciones de densidad de probabilidad que mejor ajustan las concentraciones y se analiza, entre otras cosas, la influencia del día de la semana.

Debido al impacto que tienen sobre nuestra salud, no solo debe tenerse en cuenta la exposición a medio y largo plazo a dichas partículas; también deben considerarse aquellos momentos, de corta duración, en los que las concentraciones son lo suficientemente altas como para superar nuestras defensas pulmonares. Ello justifica el estudio realizado sobre su evolución horaria en diferentes tipos de zonas (tráfico, industrial y de fondo).

Se identifican también los procesos que afectan a sus concentraciones mediante el análisis de escenarios meteorológicos y la localización del origen de las masas de aire que alcanzan las islas. Se ha contado para ello con los mapas de isobaras de nivel de superficie, 700 hPa y 500hPa facilitados por la Agencia Española de Meteorología, AEMET, y con el programa HYSPLIT versión 4.8, que ha permitido el cálculo de retrotrayectorias isentrópicas tomando en consideración, para cada caso, la trayectoria de las masas de aire durante los 5 días previos al del estudio, siendo las alturas de partida de dichas retrotrayectorias: 750, 1500 y 2500 m sobre el nivel del mar.

Esta identificación se ha completado con la utilización de:

- Mapas de índices de aerosoles TOMS
- Mapas de aerosoles SKIRON .
- Imágenes de satélites

La localización de episodios de intrusiones africanas, muy importantes en el aerosol de las islas, se realiza mediante el estudio de las series temporales de PM_{10} complementada con la información oficial suministrada por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

La aplicación del *“Procedimiento para identificación de episodios naturales africanos de PM_{10} y $PM_{2,5}$ y la demostración de causa en lo referente a las superaciones del valor límite diario de PM_{10} ”*, permite determinar la carga neta de polvo africano sobre las concentraciones detectadas.

A continuación, y ya en el apartado 2 de este capítulo, se exponen y discuten los resultados correspondientes a los óxidos de nitrógeno (NO y NO_2). Se empieza, comparando los registros alcanzados con los que establece como límite la Directiva Europea 2008/50, para seguidamente pasar a realizar un estudio de retro trayectorias para los días que presentaron excedencias horarias, a fin de identificar las fuentes responsables de las mismas.

Al igual que ocurre con la PM_{10} , para estos óxidos también se estudia su distribución de frecuencias y se analiza, para cada tipo de zona, su evolución temporal prestando atención adicional a la relación NO_2/NO_x .

Una vez finalizada la discusión sobre los óxidos de nitrógeno, en el siguiente apartado se analizan las concentraciones relativas al dióxido de azufre, determinando entre otras cosas su ciclo horario o la influencia que tienen las fuentes fijas de emisión en las concentraciones detectadas.

Cumplimentada esta parte, la siguiente aborda el estudio relativo al ozono; se empieza comparando las concentraciones registradas con las fijadas como límites por la directiva europea anteriormente mencionada. Se analiza su comportamiento temporal y se determina el efecto fin de semana en una atmósfera urbana y en otra industrial, lo que permite comprender el ciclo fotoquímico de nuestra atmósfera.

Una vez finalizado el análisis individual de los contaminantes, se pasa a estudiarlos en conjunto para estimar estadísticamente si existe o no relación entre ellos. Con este fin se utilizan dos técnicas de análisis multivariante: análisis de conglomerados y análisis de factores. El primero permite clasificar por orden de similaridad las estaciones de control mientras que el segundo investiga las relaciones existentes entre los distintos contaminantes y determina la influencia que sobre ellos ejercen algunas variables meteorológicas.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La atmósfera terrestre es esencial para la vida en nuestro planeta por lo que su alteración repercute negativamente en la habitabilidad del mismo. Es un medio extraordinariamente complejo sobre el que la aportación de especies químicas procedentes de actividades humanas puede causar efectos desastrosos

Una atmósfera contaminada puede generar efectos adversos en personas, animales y plantas. Además, cambios en su composición química llegan a alterar el clima, generar lluvias ácidas o destruir la capa de ozono, por citar solo algunos fenómenos de alcance global. Es comprensible pues la urgencia que existe por conocer bien los procesos relacionados con la química y la dinámica atmosférica ya que a partir de este conocimiento se puede tomar las medidas adecuadas que eviten situaciones graves para la vida en el planeta, tal como la conocemos.

Pero ¿a qué se denomina contaminación atmosférica? De hecho existen un buen número de definiciones distintas, dependiendo del punto de vista que se adopte. Una de las más esclarecedoras es la siguiente: *"Cualquier condición atmosférica en la que ciertas sustancias alcanzan concentraciones lo suficientemente elevadas sobre su nivel ambiental normal como para producir un efecto medible en el hombre, los animales, la vegetación o los materiales"*.

La atmósfera es un medio muy complejo en el que concurren fenómenos meteorológicos y químicos que hacen incierto el comportamiento de las especies químicas emitidas. Debido a la gran movilidad de estas especies en la atmósfera los efectos de las mismas pueden alcanzar extensas zonas del planeta.

La transferencia de contaminantes y las reacciones entre los mismos son consecuencias de los procesos de difusión atmosférica. Estos procesos son la medida correctora más utilizada para la eliminación de contaminantes de un determinado lugar, a través de su dispersión.

La dispersión atmosférica de un contaminante depende en primer lugar, de las condiciones meteorológicas y, después de los parámetros y condiciones en que se produce la emisión en la fuente, o sea de la velocidad y temperatura de los gases y la masa y peso molecular de los diferentes compuestos.

El viento es el primer mecanismo atmosférico de transporte. Los vientos en la Tierra son el resultado de las diferencias de presión inducidas por el calentamiento y enfriamiento de la atmósfera por el Sol. El grado de dispersión de los contaminantes dependerá del estado de la atmósfera en un instante y lugar determinado.

- Estabilidad e inestabilidad atmosférica

En un cierto instante y en un determinado lugar, la atmósfera se puede comportar como:

Estable: se caracteriza por la ausencia de movimientos verticales y horizontales en su seno. Su estado se aproxima al de reposo. Los contaminantes no tienden a subir, sino a permanecer en niveles cercanos a la superficie terrestre y en ausencia de vientos tampoco son arrastrados horizontalmente. En otras palabras hay escasa o nula dispersión de los contaminantes.

Inestable: se caracteriza por la gran cantidad de movimientos verticales en su seno, tornándose turbulenta. Los contaminantes tienden a ser arrastrados tanto vertical como horizontalmente (gran poder de dispersión).

- Gradiente térmico de temperatura

El principal factor determinante de la estabilidad atmosférica es la variación real de la temperatura del ambiente con la altura o *gradiente estático de temperatura*. La representación gráfica de este gradiente se denomina *curva de estado del ambiente*. Puede adoptar cualquier forma, según las condiciones de temperatura del aire.

En la troposfera se observa que generalmente la temperatura del ambiente disminuye con la altura, siendo el valor medio de la disminución de 0,65°C/100 m, aunque puede variar considerablemente con el tiempo y la situación. Por ejemplo, en las proximidades del suelo y en un día caluroso de verano este valor puede llegar a ser mucho mayor, mientras que en las noches claras se suelen producir inversiones de temperatura, es decir, la temperatura aumenta con la altura. Las inversiones de temperatura influyen considerablemente en diversos procesos atmosféricos.

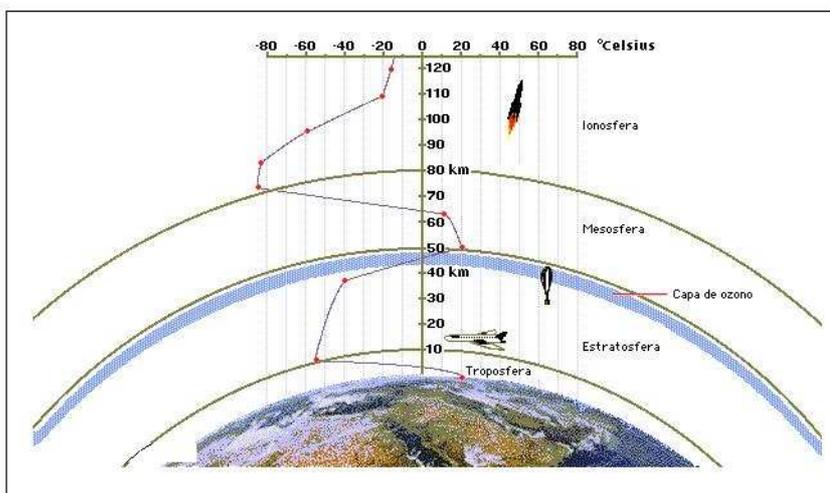


FIGURA 1.1.- VARIACIÓN DE TEMPERATURA EN LAS DIFERENTES CAPAS DE LA ATMÓSFERA

Las inversiones térmicas de las capas inferiores de la atmósfera suelen ser consecuencia del enfriamiento de la superficie terrestre por radiación, cuando a última hora de la tarde la radiación de onda larga emitida es superior a la radiación solar infrarroja que

penetra. Esto provoca un enfriamiento por conducción (contacto) de una fina capa de aire cercana al suelo y se forma la inversión, ya que esta capa queda a una temperatura más baja que la de los niveles inmediatamente superiores. Estas inversiones suelen desaparecer durante el día cuando el sol ha calentado suficientemente el suelo. En algunos casos, las inversiones de niveles bajos se prolongan durante algunos días.

Una gran parte de las inversiones de la atmósfera inferior se deben a la descendencia o subsidencia del aire asociada a las altas presiones. En algunos casos, la subsidencia se produce hasta un nivel determinado y entonces el aire diverge horizontalmente. Se observa, entonces, una inversión en la zona que separa las capas superiores con aire que se hunde, recalentado, y las inferiores, en las cuales prácticamente no hay movimiento vertical.

Ésta inversión impide la dispersión vertical de los humos y de otros contaminantes enviados a la atmósfera por las industrias, calefacciones, motores de explosión, actividades urbanas, etc. (Figura 1.3)

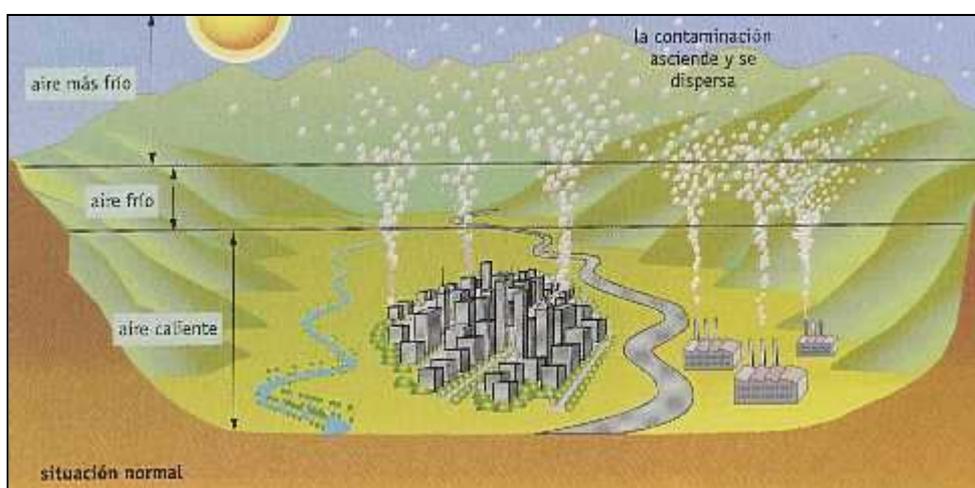


FIGURA 1.2.-EN LA SITUACIÓN HABITUAL DE LA ATMÓSFERA LA TEMPERATURA DESCIENDE CON LA ALTITUD LO QUE FAVORECE QUE SUBA EL AIRE MÁS CALIENTE (MENOS DENSO) Y ARRASTRE A LOS CONTAMINANTES HACIA ARRIBA

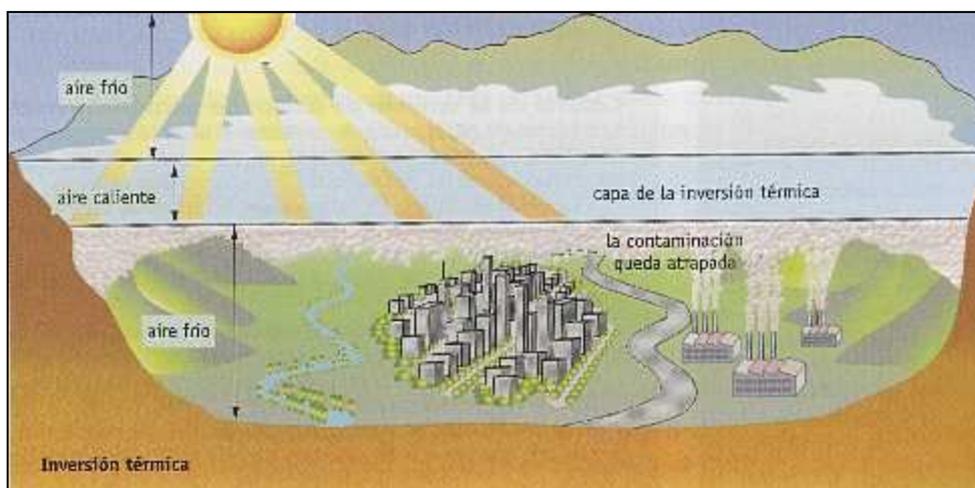


FIGURA 1.3.- EN UNA SITUACIÓN DE INVERSIÓN TÉRMICA UNA CAPA DE AIRE MÁS CÁLIDO SE SITUÁ SOBRE EL AIRE SUPERFICIAL MÁS FRÍO E IMPIDE LA ASCENSIÓN DE ESTE ÚLTIMO (MÁS DENSO), POR LO QUE LA CONTAMINACIÓN QUEDA ENCERRADA Y VA AUMENTANDO (Fuente: /www.tecnun.es)

- El microclima urbano

El aumento de la rugosidad de la superficie urbana, con edificios de distinta altura, origina turbulencias en los movimientos de las masas de aire, reduciendo al mismo tiempo la velocidad del viento, lo que dificulta el transporte de los contaminantes y del calor.

La abundancia de paredes verticales y la absorción de parte de la radiación incidente por los materiales utilizados en la construcción, modifican el poder reflejante de la radiación por parte del suelo (albedo). En este sentido, las temperaturas que se alcanzan en las ciudades suelen ser más altas que en el campo, ya que el aire se calienta más por contacto con las superficies calientes que por el efecto directo de los rayos solares.

Por otra parte, en las zonas urbanas existe una menor evapotranspiración que en las áreas rurales, ya que el agua de la lluvia no queda retenida en el suelo, sino que se canaliza subterráneamente. Además de esto, hay también un aporte calorífico debido a las actividades antropogénicas propias de la ciudad, cuyo efecto sobre la temperatura no es nada despreciable.

El balance energético en una ciudad depende también de la presencia de contaminantes en la atmósfera. Los aerosoles y las partículas sólidas en suspensión son los principales componentes de la atmósfera urbana. Éstas absorben la radiación infrarroja emitida por el suelo al enfriarse, acentuando el efecto invernadero particular de la ciudad.

La contaminación urbana favorece el establecimiento de la zona de inversión térmica en la capa de mezcla, cuya extensión varía a lo largo del día y dependiendo de las condiciones climáticas regionales. Esta capa de inversión empieza a formarse cuando despunta el día y se inicia el tráfico y la actividad en la ciudad, siendo máxima en la parte central del día, cuando mayor es la actividad solar. La capa de inversión persiste hasta unas horas más tarde de la puesta del sol, que es cuando se destruye debido a la acción de los movimientos verticales de las masas de aire que se generan en la ciudad a estas horas del día.

Puede ocurrir que si las condiciones meteorológicas son estables (cuando se establece un anticiclón), la capa de inversión no se destruya, pudiendo permanecer invariable varios días. En este caso los niveles de contaminación en la atmósfera urbana aumentan, ya que la capa de inversión impide la dispersión vertical de los contaminantes.

El movimiento de los contaminantes en la atmósfera urbana viene determinado por el régimen particular de vientos que se establece en la ciudad, debido a la diferencia de temperaturas entre los alrededores y el núcleo urbano. Esta circulación de las masas de aire que se establece entre la ciudad y sus alrededores, provoca un movimiento cíclico de aire urbano que no es capaz de disipar el calor generado en la ciudad. En esta situación la atmósfera urbana forma lo que se denomina **isla de calor**.

En la isla de calor el movimiento de las masas de aire no favorece la dispersión de los contaminantes, sobre todo, de las partículas sólidas en suspensión producidas en gran cantidad por la combustión de carburantes fósiles. Estas partículas, siguiendo el movimiento de las masas de aire, definen una cúpula de bruma sobre la ciudad. Sin embargo, la isla de calor presenta algunos efectos positivos, como por ejemplo, la destrucción de las capas de inversión que se forman en la capa de mezcla, debido a las fuertes corrientes ascensionales en el centro de la isla.

En lugares cercanos al mar o a grandes lagos, durante el día, la temperatura más alta del continente da lugar a una depresión térmica que provoca una circulación de aire caliente hacia el mar y una vez allí se enfría y retorna otra vez a tierra firme. En este caso, la circulación de aire tampoco dispersa por completo la contaminación de los centros urbanos. Durante la noche el movimiento de las masas de aire se produce en sentido contrario.

Finalmente, en ciudades situadas en valles estrechos se produce la formación de episodios de niebla fotoquímica. En determinadas circunstancias, inducidas por la poca altura de la capa de mezcla, los contaminantes pueden topar con la falda de las montañas, formando nieblas y una zona de inversión.

1.1.1 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Cualquier sustancia que añadida a la atmósfera produzca un efecto apreciable sobre las personas o el medio puede ser clasificado como contaminante.

Los contaminantes tienen diferentes formas de ser emitidos a la atmósfera o de transformarse en la misma. Sus emisiones se clasifican generalmente en: *fijas, móviles y difusas*. Las primeras, se generan desde un lugar definido en el espacio y corresponden a emisiones puntuales o estáticas como pueden ser los focos industriales. Las emisiones por fuentes móviles son aquellas que se generan mientras la fuente se encuentra en movimiento o cambiando constantemente de ubicación; es el caso de vehículos aéreos, terrestres y acuáticos. Las emisiones por fuentes difusas aparecen ocasionalmente, y se refieren a aquellas fuentes que no tienen un sitio definido de emisión como lo son los incendios forestales, incendios de pastizales y agrícolas y el polvo levantado del suelo, entre otras.

- Ciclo de los contaminantes atmosféricos

Una vez emitidos a la atmósfera, la mayor parte de los contaminantes permanecen en la parte baja de la misma. En realidad se puede hablar de un ciclo de los contaminantes atmosféricos.

En primer lugar, una vez en la atmósfera, los contaminantes son mezclados a causa de las turbulencia de las masas de aire y transportados por mecanismos de convección y difusión a distancias alejadas del centro emisor, diluyéndose así su posible impacto negativo. Con posterioridad, el contaminante puede retornar a la superficie terrestre, ya sea por sedimentación, si se encuentra en fase sólida (depósito seco) o bien, incorporado en el agua de lluvia (depósito húmedo).

Si el tiempo de residencia es el adecuado, puede participar en reacciones químicas y transformarse en otras especies contaminantes. Estas últimas se denominan **contaminantes secundarios**, en contraposición a sus precursores o **contaminantes primarios**.

Las transformaciones químicas pueden ser **homogéneas**, si tienen lugar en una misma fase, es decir especies gaseosas que reaccionan en fase gas, o especies químicas disueltas que reaccionan en medio acuoso, por ejemplo en las nubes. Pero también, se pueden producir reacciones químicas **heterogéneas**, en las que los componentes de la reacción no están en la misma fase. Un ejemplo lo constituyen las reacciones entre compuestos gaseosos en las que intervienen partículas sólidas como catalizadores.

- Tipos de contaminantes atmosféricos

Por su estado físico los contaminantes pueden ser clasificados como gases y partículas, las cuales incluyen sólidos y líquidos. Los gases contaminantes presentes en la atmósfera se comportan como el mismo aire; esto es una vez difundidos no tienden a depositarse. En lo que a las partículas se refiere, las grandes se depositan más rápidamente y producen sus efectos cerca de la fuente; las de tamaño medio se alejan más y eventualmente se depositan a una cierta distancia de la fuente, mientras que las más pequeñas se mantienen suspendidas y son transportadas por los vientos a distancias mayores.

Por su composición química los contaminantes pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos. Estos últimos, entre los que se encuentran los que se van a estudiar en la presente tesis, incluyen los compuestos simples del carbono, como son CO y CO₂, las partículas, los óxidos de azufre, los óxidos de nitrógeno y el ozono.

Haciendo énfasis en la contaminación antropogénica se ha de indicar que, durante los procesos de combustión se emite CO y una variedad de productos orgánicos de unas 50 especies distintas, como por ejemplo, compuestos alifáticos, saturados e insaturados (propano, hexano, etilenos, etc.) y compuestos aromáticos como el benceno y el tolueno. En ambientes muy contaminados y debido también a los procesos de combustión de carburantes fósiles, se han detectado compuestos policíclicos aromáticos, supuestamente cancerígenos como el benzoantraceno, el benzopireno y benzoperileno.

Hay que considerar también, que casi todos los combustibles fósiles sólidos y líquidos, pueden contener una cierta cantidad de azufre, por lo que al quemarlos se producen emisiones de óxidos de azufre, siendo el SO₂ el que se genera en mayor proporción. Este contaminante origina una contaminación secundaria al oxidarse en la atmósfera a sulfato que, incorporado a la lluvia produce su acidificación.

Otros contaminantes frecuentes en ambientes urbanos son los óxidos de nitrógeno, sobre todo, el NO y NO₂. Éstos se forman en procesos que tienen lugar a elevadas temperaturas, por ejemplo, los que se producen en los vehículos motorizados, en las erupciones volcánicas o en las descargas eléctricas durante una tormenta. Estos óxidos también pueden oxidarse en la atmósfera formando nitratos que contribuyen también a la acidificación del agua de lluvia.

En la combustión de carburantes fósiles sólidos y líquidos se emite una importante cantidad de partículas sólidas. Una parte son básicamente cenizas, constituidas por material carbonáceo, principalmente negro de grafito. Otra parte son partículas de material inorgánico, como óxidos de aluminio, cinc, silicio, hierro, titanio, manganeso, vanadio, plomo y berilio.

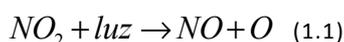
Del total de contaminantes de origen antropogénico, la mitad proviene del transporte, sobre todo de la aviación y los automóviles. Las fuentes fijas son otro origen importante de contaminación ya que emite el 16% del total de los contaminantes. En este grupo de fuentes se encuentran las centrales térmicas, las cuales queman carbón, derivados de petróleo o gas natural y las calefacciones domésticas, que utilizan como combustible madera, carbón, gases licuados, gas ciudad o gasoil.

Tanto las fuentes móviles como las fuentes fijas, emiten óxidos de azufre, de nitrógeno, CO, hidrocarburos y partículas sólidas, aunque en distintas proporciones.

1.2 PROCESOS QUÍMICOS EN LA ATMÓSFERA URBANA

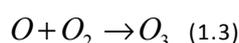
1.2.1 ÓXIDOS DE NITRÓGENO Y OZONO

Los óxidos de nitrógeno son las especies iniciadoras de toda la cadena de reacciones químicas atmosféricas. En efecto, en las partes bajas de la troposfera, donde fundamentalmente llegan radiaciones de longitud de onda superiores a los 280 nm, el NO_2 se fotoliza para dar átomos de oxígeno y moléculas de NO , según el siguiente proceso:



En el que se obtiene NO y oxígeno atómico. Ambas especies son muy reactivas de forma que la primera reacciona con el ozono presente en la atmósfera urbana y el oxígeno atómico se combina con el oxígeno molecular para generar ozono y equilibrar el balance particular de ésta última especie.

Los procesos químicos son:



Globalmente, estos tres procesos constituyen un sistema cíclico cerrado en el que no se produce pérdida ni ganancia alguna. No obstante, la presencia en la atmósfera urbana de compuestos orgánicos provoca que este ciclo se rompa mediante una transformación adicional de NO a NO_2 , que compite con el proceso 2 y da lugar a una cierta acumulación de ozono. Esto es lo que sucede cuando se encuentran presentes hidrocarburos o compuestos orgánicos volátiles (COV).

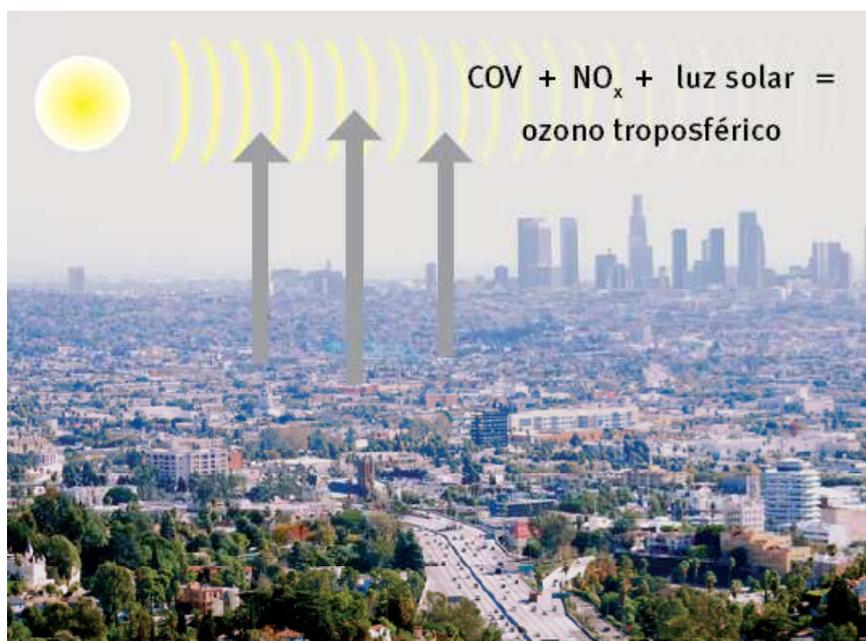
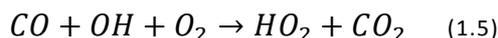


FIGURA 1.4.- ESQUEMA REPRESENTATIVO DE LA FORMACIÓN DE OZONO TROPOSFÉRICO EN UNA CIUDAD (FUENTE: www.cec.org)

La formación del ozono, que es el ingrediente primario de la niebla fotoquímica, ocurre a través de una secuencia de reacciones. Dicha secuencia (Sillman, 1999; Kley et al., 1999; Orozco et al., 2003) se inicia casi siempre por la reacción de varios COV o CO con los radicales OH¹. Esto es seguido por la conversión del NO a NO₂ (a través de la reacción con los radicales peroxihidroxilo), O₂H o peroxi (RO₂, siendo R una cadena hidrocarbonada) la cual también regenera el radical OH. El NO₂ es fotolizado para producir oxígeno atómico, que se combina con oxígeno molecular para crear ozono.



Las reacciones (1.4, 1.5, 1.6 y 1.7) constituyen una vía para la producción de NO₂, que a su vez reacciona según las reacciones vistas anteriormente para producir ozono.

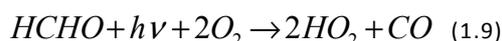
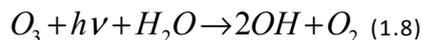
Es posible distinguir dos regímenes, que están marcados por la relación COV/NO_x presente en la atmósfera:

- a) Régimen NO_x sensible: caracterizado por un contenido relativamente bajo de NO_x y alto NO; la concentración de ozono aumenta con el incremento de NO_x
- b) Régimen COV sensible ó NO_x saturado: En este régimen el ozono decrece con el incremento de NO_x y aumenta con el incremento de COV.

La división entre los dos regímenes depende de la química de los radicales hidrógeno impares. Hay dos sumideros principales para estos radicales: los radicales peróxidos y el ácido nítrico. Cuando los primeros dominan, el régimen es NO_x sensible y cuando quién lo hace es el ácido nítrico, las condiciones son COV sensible.

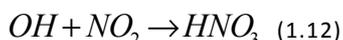
Los radicales hidrógenos impares consisten de OH, O₂H y especies peroxi, RO₂. Esta familia está directamente conectada con la química de producción del ozono, porque la reacción inicial de la secuencia de producción (reacción 1.4) es dirigida por el OH y los pasos siguientes dependen de HO₂ y RO₂.

La fotólisis del ozono, formaldehído y otros compuestos orgánicos volátiles secundarios son fuentes de producción de estos radicales



¹ Los radicales OH se forman a partir de tres vías distintas: (a) por reacción del vapor de agua con átomos de oxígeno; (b) por reacción entre los radicales HO₂ y el NO y (c) por fotólisis del ácido nitroso (HNO₂) mediante la absorción de fotones de longitud de onda inferior a 400 nm. Los procesos (b) y (c) son los que contribuyen en mayor medida.

Entre los posibles sumideros de radicales pueden citarse la formación de peróxido de hidrógeno y de peróxidos orgánicos, la formación de ácido nítrico y la formación neta de nitrato de peroxiacetilo (PAN) y otros nitratos orgánicos.



El régimen NO_x sensible ocurre cuando, tal como se ha comentado, los peróxidos (reacciones 1.10 y 1.11) representan el radical sumidero dominante. Las concentraciones ambientales de radicales O_2H y RO_2 vienen determinadas por el balance de radicales fuentes (reacciones 1.8 y 1.9) y por las reacciones de formación de peróxidos (reacciones 1.10 y 1.11). La relación de formación de ozono se debe a la reacción de HO_2 y RO_2 con NO (reacciones 1.6 y 1.7). Esta relación se incrementa con el incremento de NO_x .

El régimen COV sensible ocurre cuando el ácido nítrico (reacción 1.12) representa el radical sumidero dominante. En este caso, la concentración ambiental de radicales OH viene determinada por el balance entre fuentes de radicales (reacciones 1.8 y 1.9) y su reacción con NO_2 (reacción 1.12). Ello se debe, a que la reacción 1.12 se incrementa y la concentración ambiente de OH decrece con el aumento de la de NO_2 . La relación de formación del ozono se encuentra determinada por la relación de la reacción de COV y CO con OH (reacciones 1.4 y 1.5). Esta relación se incrementa con el aumento de la concentración de COV y decrece con el incremento de la de NO_x .

1.2.2 ÓXIDOS DE AZUFRE

Por lo que respecta a la incidencia de los compuestos de azufre en los procesos químicos que transcurren en la troposfera, hay que señalar que también juegan un papel muy importante. Al contrario de lo que sucede con los óxidos de nitrógeno, aquellos (preponderantemente el SO_2) se emiten fundamentalmente a través de actividades antropogénicas, a causa de la combustión de combustibles fósiles con un elevado contenido en azufre.

Al igual que ocurre con los óxidos de nitrógeno, el tiempo de residencia del SO_2 en la atmósfera es muy bajo, alrededor de algunas semanas.

Los compuestos de azufre, una vez emitidos, se oxidan mediante un mecanismo consistente en varias etapas con intervención de diversas especies oxidantes presentes en la troposfera, como por ejemplo, el oxígeno, el ozono, el NO_2 y principalmente, los radicales OH . El producto último de la oxidación de todos estos compuestos sulfurosos es el SO_2 que, junto al que proviene de la combustión de carburantes fósiles, completa el balance de este gas en la troposfera.

Finalmente, el SO_2 se transforma a ácido sulfúrico a través de varios mecanismos paralelos, siendo la oxidación por los radicales OH la vía principal de oxidación. El ácido sulfúrico, de forma similar a lo que ocurre con el ácido nítrico, y gracias a su elevada solubilidad en agua, retorna a la superficie terrestre incorporado al agua de lluvia, contribuyendo también a su acidificación.

1.3 MATERIA PARTICULADA

Otra fuente de contaminación urbana la constituyen las partículas, que están siendo objeto de múltiples estudios, ya que además de actuar como soportes de sustancias gaseosas, reducen la visibilidad y dañan los materiales.

La materia particulada que se encuentra en la atmósfera está constituida por especies muy diferentes entre sí tanto desde el punto de vista de sus propiedades físicas como de las químicas, existiendo una amplia diversidad de fuentes que contribuyen a los niveles de concentración detectados.

Las partículas que forman esta materia son generalmente muy pequeñas; sus tamaños (diámetros) oscilan entre unos pocos nanómetros hasta 100 o más micrómetros². Aunque en la atmósfera se pueden encontrar partículas de cualquiera de estos diámetros, son las más pequeñas, de diámetros comprendidos entre 0,1 y 2 μm , las capaces de permanecer más tiempo en la misma (generalmente unos 10 días)

En función de su origen se suele distinguir claramente entre primarias y secundarias. Las primeras son aquellas emitidas directamente a la atmósfera por fuentes tales como el tráfico automovilístico, la quema de combustibles fósiles, los suelos azotados por el viento o las brisas marinas. Por otro lado, las denominadas partículas secundarias son las originadas en la propia atmósfera por reacciones químicas o condensación de gases; entre ellas destacan los sulfatos y los nitratos formados a partir de la oxidación del dióxido de azufre y de los óxidos de nitrógeno respectivamente.

Actualmente existe una amplia evidencia epidemiológica de los efectos adversos que las partículas en suspensión tienen sobre nuestra salud. Los últimos estudios realizados muestran que existe una relación definida entre las enfermedades/mortalidad y la concentración atmosférica de partículas. Así, por ejemplo, en un estudio realizado en 6 ciudades estadounidenses (Dockery et al. 1993) se examinó la mortalidad entre 8.000 personas durante un período de 15 años y después de controlar otros factores de riesgo como el tabaco, el exceso de peso y la clase socio-económica de cada individuo, se encontró una fuerte relación entre la mortalidad y la concentración del denominado aerosol fino (constituido por partículas muy pequeñas) de la atmósfera. Un estudio más reciente realizado a partir de los valores reflejados en la base de datos de la Sociedad Americana contra el Cáncer sobre un total de millón y medio de personas y con valores de materia particulada fina tomados en 50 áreas urbanas así como de sulfato particulado en 151 áreas urbanas, muestran una clara relación entre la mortalidad y la concentración de contaminantes del aire (Pope et al., 1995).

Las investigaciones realizadas hasta el momento indican que el impacto en la salud de las partículas que conforman el aerosol depende más del tamaño de las mismas que de su composición química. Existen hipótesis que exponen que el mecanismo biológico que afecta a nuestra salud se ve más afectado por el número de partículas a las que nos encontramos expuestos que a la masa de las mismas (Seaton et al., 1995).

² 1 nanómetro es la millonésima parte de 1 milímetro; 1 micrómetro es la milésima parte de 1 milímetro

1.3.1 FUENTES DE LA MATERIA PARTICULADA

En este apartado de la tesis se cree apropiado exponer un breve resumen sobre el origen de las partículas que se encuentran en la atmósfera. A escala global hay cierta cantidad de orígenes naturales tales como las emisiones volcánicas, los incendios e incluso la llegada de partículas procedentes del espacio que pueden ser significativos. Sin embargo, en el contexto de la provincia de Las Palmas, dichos fuentes pueden ser obviadas y no serán tenidas en cuenta.

- Suspensión de polvos procedentes del suelo

La acción del viento sobre las piedras y el suelo introduce un gran número de partículas en la atmósfera. Este es un hecho que parece bastante evidente al observar las tormentas que se producen en los desiertos con un arrastre de arena y polvo bastante fuerte. Se estima que en el Hemisferio Norte se introducen cada año unas 150 millones de toneladas de polvo y cerca del doble si consideramos el desierto del Sáhara. La presencia de tales partículas en Canarias se pone de manifiesto por el alto grado de ensuciamiento que sufren las islas y que en ocasiones impiden la visibilidad más allá de 100 metros.

Uno de los factores que más favorece la suspensión de polvos en la atmósfera es la presencia de partículas finas en una superficie seca y una fuerte velocidad de viento. En las ciudades, las áreas de suelos sin edificar son más bien pequeñas, por lo que la mayoría del polvo es suspensión procede de las carreteras y superficies pavimentadas y es introducido en la atmósfera a consecuencia del movimiento de las ruedas de los automóviles, de la propia erosión de las carreteras así como del deterioro de diversas partes de los vehículos, especialmente los neumáticos. Debido a que estas partículas se encuentran generalmente en superficies secas y están sujetas a las turbulencias atmosféricas inducidas por el paso de los vehículos, estos constituyen una fuente continua de resuspensión de partículas en la atmósfera. Las cantidades de polvos resuspendido a causa de este proceso es extremadamente difícil de predecir o medir ya que depende de manera crítica de factores tales como la cantidad de polvo que se encuentra en dicha superficie, el número de días con tiempo seco y la velocidad del tráfico. Sin embargo, la distribución por tamaños y la composición química de las partículas en la atmósfera urbana da una idea clara de que la contribución de esta fuente en las ciudades es bastante significativa.

- Sales marinas

El movimiento de las olas en el mar causa la introducción de muchas pequeñas gotas de agua salada en la atmósfera. Estas gotas al evaporarse dejan partículas sólidas de sal suspendidas en el aire. Aunque la mayoría de estas partículas se encuentran dentro del rango de tamaños de las partículas grandes, existe una minoría de tamaño muy pequeño que al permanecer durante una mayor cantidad de tiempo en la atmósfera puede ser transportada a lugares muy alejados del mar.

- Partículas primarias de origen antropogénico

Todos los procesos derivados de la actividad humana provocan la emisión de partículas en la atmósfera. Si dichas partículas son emitidas directamente desde una fuente específica, se les denomina primarias. La principal fuente de emisión de estas partículas son los procesos de combustión, aunque el modo de formación y la composición química de las mismas varían enormemente en función de su origen. Así, en el caso de la combustión del carbón, la mayor

parte de las emisiones particuladas se debe a las denominadas cenizas volátiles, que son partículas finas de mineral contenido en el carbón. En el caso de las emisiones procedentes de vehículos diesel, las partículas están formadas en su mayoría por carbono elemental y carbono orgánico con algo de sulfato y agua. El fuel-oil se introduce en la cámara de combustión del motor en forma de un spray de pequeñas gotas, cada una de las cuales deja una pequeña partícula de combustible residual sin quemar y de combustible pirolizado así como azufre oxidado que son emitidos en los gases de escape. La combustión de otros fueles más volátiles conteniendo carbón puede conducir a la formación de partículas carbonáceas a través de la combinación de los átomos de carbono en la propia zona de combustión.

- Partículas secundarias de origen antropogénico

El término “*partícula secundaria*” se usa para describir las partículas que son formadas en la atmósfera, principalmente a consecuencia de procesos químicos de oxidación de los gases atmosféricos. Dentro de ellas las partículas de sulfato, formadas a partir de la oxidación del dióxido de azufre, son las predominantes.

El dióxido de nitrógeno también puede ser oxidado, una vez en la atmósfera, a ácido nítrico. Este ácido, más volátil que el sulfúrico, se encuentra en la atmósfera en forma gaseosa, pero cuando reacciona con el amoníaco puede formar partículas de nitrato de amonio. Este compuesto a su vez puede interactuar con las partículas salinas para formar nitrato de sodio. Otra especie química menos abundante dentro de este tipo de partículas (o aerosol secundario) lo constituye el cloruro de amonio formado al reaccionar el amoníaco con el ácido clorhídrico gaseoso emitido durante la combustión del carbón o de procesos municipales de incineración.

Las reacciones químicas de los hidrocarburos en la atmósfera pueden también inducir a la formación de productos no volátiles o semivolátiles que contribuyen a aumentar la cantidad de partículas en la misma. La composición de tales partículas así como las reacciones químicas que conducen a su formación ha sido objeto de estudio en el contexto de la contaminación en el sur de California, pero no existe ningún tipo de investigación de este tipo en las islas Canarias.

- Partículas biológicas

Es bien conocido el hecho de que la atmósfera actúa como medio de transporte para una amplia variedad de partículas biológicas. Los tamaños de tales partículas cubren un amplio rango de diámetros. La vegetación constituye su principal fuente de origen natural, pudiendo destacarse los hongos, las bacterias y virus patógenos de dichas plantas así como los granos de polen.

Indudablemente las partículas de origen biológico pueden causar la muerte. Los efectos que producen dependen de la naturaleza de las mismas: viral, bacterial, hongos o polen.

1.4 SINERGIA ENTRE LOS CONTAMINANTES ATMOSFERICOS

Los agentes contaminantes que se vierten a la atmósfera pueden reaccionar entre sí, al menos muchos de ellos, y dar lugar a compuestos de actividad más o menos intensa y de mayor o menor nocividad.

Esta sinergia o aumento de la perturbación entre compuestos se agudiza sobre todo en las ciudades o en los polígonos de desarrollo industrial, en donde las emisiones son diversas y las especies se mezclan al difundirse en el aire.

Las interacciones entre los productos introducidos a la atmósfera se deben a mecanismos de acción complejos, como pueden ser reacciones fotoquímicas, de oxidoreducción, catálisis, polimerización, etc.

A título orientativo, en el siguiente cuadro se exponen los casos de sinergias más característicos:

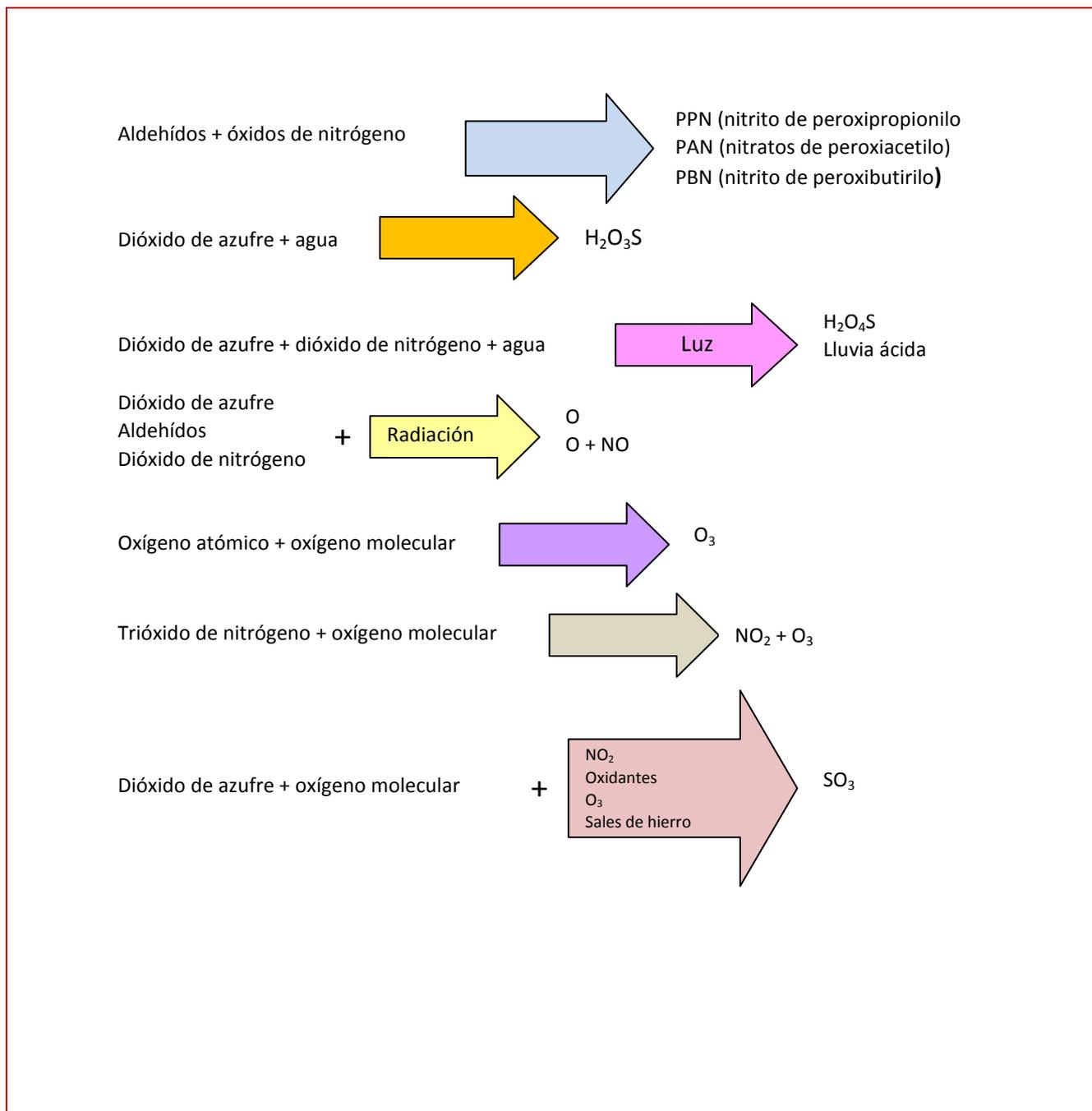


FIGURA 1.5.- REACCIONES BÁSICAS ENTRE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS

1.5 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y SALUD

La vigilancia sanitaria del medio ambiente está considerada como una de las actividades fundamentales entre las competencias de las administraciones de salud pública. La red nacional de vigilancia plantea tres aspectos que pueden ser de utilidad a la hora de diseñar un sistema de vigilancia sanitaria de la contaminación atmosférica:

- los elementos básicos de vigilancia en salud pública y medio ambiente,
- las características relevantes en relación con su impacto en la salud de cada riesgo específico y, por último,
- el conocimiento de experiencias que puedan ser útiles.

Dentro de la vigilancia en salud pública ambiental se distinguen tres tipos de enfoques:

a) la vigilancia del medio, que es la que nos proporciona información sobre las sustancias tóxicas en el ambiente

b) la vigilancia de la exposición que nos permite la determinación de la magnitud de la exposición o contacto de la población con dichos riesgos

c) la vigilancia de los efectos en la salud, la más paradigmática en vigilancia epidemiológica.

Un sistema de vigilancia, además debe de cumplir tres funciones críticas para ser útil en salud pública.

- (1) Debe contemplar la realización de medidas de riesgos o peligros específicos en el medio (concentraciones de los contaminantes atmosféricos determinadas según las normas y métodos de referencia), y medidas de los efectos en salud (visitas a urgencias por problemas bronquiales, o defunciones por causas respiratorias y cardiovasculares).
- (2) Debe generar un registro mantenido en el tiempo.
- (3) Debe producir información oportuna y representativa que permita su uso en la planificación, desarrollo y evaluación de las actividades de salud pública, es decir, producir información útil para la toma de decisiones relacionadas con la gestión de los riesgos ambientales, los servicios sanitarios y los propios sistemas de vigilancia.

En cuanto a los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud, antes de diseñar un sistema de vigilancia es necesario considerar aspectos tan relevantes como la toxicidad de los distintos contaminantes, la relación concentración-respuesta entre contaminantes y salud, la significación de los efectos a largo plazo frente a los efectos agudos o la constatación de la efectividad de las intervenciones.

Los principales efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la salud van desde un aumento en el número de defunciones, de ingresos hospitalarios y de visitas a urgencias, especialmente por causas respiratorias y cardiovasculares, hasta alteraciones del funcionamiento pulmonar o la generación de problemas cardíacos.

También se han relacionado efectos crónicos con exposiciones a largo plazo. El incremento del riesgo de morir por exposición crónica a contaminantes atmosféricos se estima varias veces mayor que el debido a la exposición aguda..

Se ha demostrado que se relaciona con efectos negativos en salud las partículas en suspensión y el ozono, principalmente. Para otros contaminantes, como el dióxido de nitrógeno, el dióxido de azufre o incluso el monóxido de carbono, que se han asociado con efectos en salud en zonas con concentraciones relativamente bajas de estos contaminantes, hacen falta más estudios para aclarar si dichas asociaciones se deben a un efecto independiente o a su correlación con otros contaminantes como las partículas, con las que comparten algunas de las fuentes más importantes.

Por último, en cuanto a las experiencias en vigilancia de la contaminación atmosférica en salud pública, hay antecedentes que permiten aprender de su experiencia.

Así por ejemplo, en Francia, el programa de vigilancia PSAS-9 (Programa de Vigilancia del Aire y Salud) evalúa de manera continuada los riesgos para la salud ligados a la exposición atmosférica urbana, vigila su evolución y permite la realización de evaluaciones de impacto en la salud. Este programa incluye cuatro objetivos operativos: (1) vigilar y actualizar las estimaciones de la relación a corto plazo entre contaminantes y salud, (2) incorporar nuevos indicadores sanitarios (por ejemplo, consumo de medicamentos) y de contaminación atmosférica (como las, partículas finas), (3) servir de ayuda para la toma de decisiones y (4) reforzar la participación en programas europeos en este campo.

En concreto, antes de que diera comienzo el programa de investigación APHEA (Efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica y la salud: un enfoque europeo) en 1993, los responsables de la toma de decisiones y los profesionales de la salud ambiental, se basaban principalmente en la investigación norteamericana, pues los datos relativos a Europa eran escasos y además procedían de estudios individuales que no utilizaban una metodología común. En consecuencia, los resultados no eran comparables y no permitían emitir conclusiones globales.

El programa APHEA solventó este problema suministrando datos fiables de investigación europea sobre los efectos de la contaminación atmosférica en la salud pública, instaurando una metodología común y normalizada para los distintos países. Si bien, no fue diseñado para suministrar información continuada a los responsables de la toma de decisiones ni a los profesionales de salud ambiental y tampoco para satisfacer las necesidades de información de la opinión pública.

El Instituto Nacional de Salud Pública de Francia (InVS), junto con el Instituto Municipal de Salud Pública de Barcelona (ISMP), el Centro Europeo para Medioambiente y Salud de la OMS, y otras organizaciones han colaborado para desarrollar el programa APHEIS (Contaminación atmosférica y salud: un sistema de información europeo) que ha establecido un red (compuesta por profesionales de salud pública y de medio ambiente) que permite la vigilancia y la evaluación continuada de los efectos de la contaminación atmosférica.

Los objetivos de de dicho programa son los siguientes:

- Crear un sistema de vigilancia epidemiológica de la contaminación atmosférica y la salud pública que abarque toda Europa.

- Cuantificar los efectos de la contaminación atmosférica en la salud pública a escalas local, nacional y europea.
- Evaluar la importancia de los factores susceptibles de alterar las relaciones entre exposición y respuesta.
- Elaborar informes normalizados y periódicos sobre el impacto de la contaminación atmosférica en la salud pública.

1.6 LEGISLACIÓN SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE EN ESPAÑA Y EN EUROPA

A continuación y de forma resumida, se hará una referencia acerca de la evolución de la legislación europea y española sobre la calidad del aire.

La legislación española está condicionada por la de la Unión Europea:

- [Directiva Marco sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente \(1996/62/EC\)](#), cuyos objetivos son:
 - Necesidad de evaluar, controlar y mejorar la calidad del aire.
 - Elaborar planes y programas de mejora de la calidad del aire.
 - Informar a la población.
- [Directivas hijas](#) que perfilan esas líneas generales y aportan valores estándares de calidad de aire que deben cumplirse:
 - 1999/30 para SO₂, NO_x, NO₂, PM₁₀ y plomo.
 - 2000/69 para CO y benceno.
 - 2002/3 para Ozono.
 - 2004/17 para arsénico, cadmio, mercurio, níquel e hidrocarburos aromáticos policíclicos.
- Valores legales de concentración de contaminantes en aire ambiente a cumplir por los países miembros.
- Criterios para realizar una correcta evaluación indicando:
 - Técnicas de medida de referencia.
 - Criterios de ubicación de estaciones de medida.
 - Calidad exigida a los modelos matemáticos utilizados en evaluación de la calidad del aire.
- [Reales Decretos 1073/2002, 1796/2003 y 812/2007](#).

Con respecto a la información a la población, existe:

- Ley 38/1995 sobre el derecho de acceso a la información en materia de medio ambiente.
- Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA).
- Red Europea de Información y de Observación sobre Medio Ambiente (EIONET)
- Ministerios, CC AA y Ayuntamientos.
- Directivas de calidad de aire y reales decretos con la necesidad de informar al público acerca de la calidad media del aire en su zona, las superaciones de valores límite y alerta, y los planes y programas de mejora de la calidad del aire.

[Directiva 96/61/CE](#) del Consejo relativa a la prevención y al control integrado de la contaminación (IPPC), que incluye:

- Permiso de actividad de instalación industrial para tener en cuenta el impacto ambiental total. Se asignan límites de emisión basados en mejores técnicas disponibles
- Participación e información al público.
- Registro europeo de emisiones de contaminantes (EPER), que ha de estar accesible al público

[Directiva de Techos Nacionales de Emisión \(NEC\)](#) que marca los límites para emisiones totales de gases SO₂, NO_x, COV y NH₃ que deberán cumplir los Estados Miembros a partir del año 2010, (en España en miles de toneladas):

- 746 para el dióxido de azufre.
- 847 para los óxidos de nitrógeno.
- 662 para los compuestos orgánicos volátiles.
- 353 para el amoniaco.

[Directiva de Grandes Instalaciones de Combustión \(GIC\):](#)

- Establece límites individuales para cada instalación de potencia térmica nominal superior o igual a 50 MW térmicos en emisiones de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y partículas.
- Afecta principalmente a sectores de producción de energía y refino.

[Ley 34/2007 de calidad del aire y protección de la atmósfera:](#)

- Marco general para las actuaciones en materia de calidad del aire
- Enfoque integral e integrador y de corresponsabilidad involucrando a la sociedad en su conjunto

- Sigue los principios de: prevención y cautela, corrección de la contaminación en la fuente de la misma, quién contamina paga.
- Afecta a contaminantes convencionales. Excluidos ruidos y vibraciones, radiaciones ionizantes y no ionizantes y los contaminantes biológicos.
 - Prevención y control de las emisiones.
 - Planificación para la protección de la calidad del aire y minimización de los efectos negativos.
 - Fomento de la protección de la atmósfera.
 - Control, inspección, vigilancia y seguimiento.

Convenio sobre contaminación Atmosférica Transfronteriza (Convenio de Ginebra):

- Firmado en 1979 es el primer instrumento legal internacional para tratar los problemas de contaminación atmosférica a gran escala y se ha convertido en un marco de actuación tanto en la investigación como en a política ambiental.
- Consta de ocho protocolos firmados por muchos países limitando emisiones nacionales.
- Programa EMEP (programa de cooperación para la vigilancia continua y la evaluación del transporte a gran distancia de contaminantes atmosféricos en Europa) para medir, modelizar y predecir las concentraciones de contaminantes que se registran a escala continental y estimar las reducciones de emisiones aconsejables.

Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa:

- Sustituirá a las anteriores.
- Incorpora gran parte de los nuevos conocimientos científicos y técnicos, que han surgido dentro del programa CAFE (Clean Air for Europe) y pretende ser una simplificación de la normativa existente.

Se incluyen, entre otras, las siguientes consideraciones:

- Reducción de la exposición a las PM_{2,5} (más peligrosas por su mayor capacidad de penetración en los alvéolos pulmonares y ponerse en contacto directamente con la sangre, siendo vectores de transferencia de los compuestos tóxicos que puedan albergar) para la protección de la salud humana (valor objetivo y valor límite). Valor objetivo de 25 µg/m³ en el año 2010 que pasará a ser límite en el 2015.
- Nuevo enfoque para reducir los niveles de exposición de población a partir de un indicador de la exposición media que se fijará en cada Estado miembro.

- Las contribuciones de fuentes naturales podrán evaluarse pero no controlarse, y podrán sustraerse al evaluar el cumplimiento de los valores límite de calidad del aire.

1.6.1 PROGRAMA CAFE Y ESTRATEGIA SOBRE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Programa CAFE (Clean Air for Europe):

- La Unión Europea lanzó en marzo de 2001 el programa CAFE, de análisis técnico y desarrollo de políticas.
- Tiene como objeto proveer del conocimiento científico y análisis técnico en lo referente a la calidad del aire apoyando el establecimiento de políticas en las que estuvieran involucradas las partes interesadas.
- Definición de una estrategia temática sobre contaminación atmosférica.

Estrategia Temática sobre Contaminación Atmosférica:

- Aprobada en septiembre de 2005 en el marco del Sexto Programa de Acción ambiental.
- Objetivos:
 - Reducir el número de muertes prematuras debidas a la contaminación atmosférica en un 40% del año 2000 al 2020.
 - Reducir la extensión de bosques y ecosistemas dañados.
 - Esta estrategia se plantea buscando una buena relación coste-beneficio.
 - Los contaminantes a los que presta mayor atención son las partículas finas y el ozono troposférico.

1.6.2 ESTADO ACTUAL Y PECULIARIDADES DE ESPAÑA

Los problemas de calidad el aire afectan a zonas urbanas y entornos forestales y agrícolas. En general los niveles de contaminación han disminuido de forma sustancial en los últimos años y se está intentando implantar un modelo de desarrollo sostenible en el que el crecimiento económico e industrial no degrade la calidad del aire. Sin embargo, diversos estudios han demostrado que hay dos contaminantes problemáticos: el ozono (y por tanto también sus precursores) y las partículas atmosféricas (Künzli et al., 2000; Hoek et al., 2002; Brook et al., 2004; Delfino et al., 2006); sin olvidar la acidificación, eutrofización y la contaminación por metales pesados.

En Europa la reducción de emisiones en las últimas décadas son el resultado de las mejoras tecnológicas, las directivas europeas y la implantación de mejores técnicas disponibles.

La evolución de emisiones de las principales fuentes se desglosa a continuación:

- Transporte por carretera:
 - Menores emisiones de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y plomo, debido a la mejora experimentada por los vehículos.
 - El crecimiento del parque de vehículos ha sido muy fuerte en los últimos años, contrarrestando en parte el descenso de emisiones individuales.
 - Es responsable de reducciones de emisiones de precursores de ozono en sus valores medios anuales.
 - El aumento de turismos diesel en cierto países como España, ha supuesto un aumento en las emisiones de partículas, si bien, recientemente se ha incorporado sistemas de filtrado que tendrán un mayor uso en el futuro.
- Sector industrial y energético:
 - Ha habido una reducción notable en las emisiones de algunos contaminantes (como el dióxido de azufre).
 - Las estimaciones de la Agencia Europea de Medio Ambiente, indican una reducción muy importante en las emisiones de compuestos acidificantes.

En Europa hay heterogeneidad en la tendencia observada en las emisiones. Ciertos países como Alemania y Reino Unido han reducido mucho las emisiones en los últimos años acercándose a los objetivos marcados para el 2010 por la Directiva Europea de Techos Nacionales de Emisión, mientras que otros países, entre ellos España, están muy lejos de alcanzar dichos objetivos

En nuestro país, al igual que en el resto de Europa, los contaminantes más problemáticos son las partículas atmosféricas y el ozono, sin despreciar otros contaminantes como el SO₂ y NO_x.

España, como país mediterráneo tiene peculiaridades que facilitan la formación de contaminantes secundarios, altos niveles de partículas atmosféricas y acumulación de contaminantes, debido a las condiciones climáticas de alta insolación y elevadas temperaturas veraniegas, que producen reacciones químicas con los NO_x y COV, dando lugar a la formación del ozono.

Por otro lado, la proximidad al continente africano supone una invasión de masas de aire del Sáhara y Sahel cargadas de polvo mineral suspendido y transportado por vientos de componente sur.

Los frecuentes anticiclones cercanos o sobre la Península dan lugar a numerosos días de estabilidad atmosférica, con escasa ventilación y formación de circulaciones atmosféricas locales o mesoescalares (brisas de mar, valle, etc.), que hacen que las masas de aire recirculen en las distintas regiones, pero sin una renovación efectiva.

La escasez de precipitaciones (especialmente en verano) tiene como consecuencia un escaso lavado de la atmósfera y del suelo. A su vez, la aridez y sequedad del terreno hace que mucho material sea resuspendido por acción del viento y de las actividades humanas.

Estas circunstancias dificultan conseguir una buena calidad del aire acorde con la legislación. La legislación actual permite descontar las superaciones del valor límite debidas a causas naturales (p.e. aire sahariano).

A veces, la legislación ha sido demasiado exigente. Por ejemplo, la Segunda fase de la Primera Directiva Hija, que marcaba unos valores límite de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en media anual y no más de 7 superaciones de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en media horaria para PM_{10} , resulta prácticamente inalcanzable en España y en la mayor parte de Europa.

1.6.3 ESTRATEGIA ESPAÑOLA DE CALIDAD DE AIRE

Aprobada en 2007 tiene como finalidad alcanzar niveles de calidad del aire que no den lugar a riesgos o efectos negativos significativos en la salud humana o el medio ambiente, para ello:

- Debe de estar en consonancia con la Estrategia Temática de Contaminación del Aire de la EU y Sexto Programa de Acción Ambiental.
- Cumplir los objetivos de calidad comunitarios.
- Cumplir los compromisos asumidos de los Techos Nacionales de Emisión y los Protocolos del Convenio de Ginebra sobre Contaminación Transfronteriza a Larga Distancia.

Las medidas a tomar serían:

- Actualización y modernización de la legislación (ley de calidad del aire, nuevos reglamentos, transposición de directivas, legislación de COV's, etc.)
- Fortalecimientos de instrumentos de gestión (nuevos instrumentos de aplicación de la legislación, inventario nacional de emisiones, proyección de emisiones, integración en sistema de alertas sanitarias)
- Planes y programas de reducción de emisiones, incluyendo el del ahorro y eficiencia energética, Plan Nacional de energías renovables, etc.
- Instrumentos de colaboración, con el Grupo Atmósfera del Medio Ambiente, el Grupo de Trabajo de Contaminación Atmosférica en el Consejo Asesor del medio Ambiente, Red Española de ciudades para el clima, etc.
- Promoción de la investigación: impulsos de proyectos de I + D que faciliten el desarrollo y aplicación de políticas de contaminación atmosférica, etc.

CAPÍTULO 2

ZONA DE ESTUDIO

CAPÍTULO 2

ZONA DE ESTUDIO

2.1 LOCALIZACIÓN

Las islas Canarias es un archipiélago formado por 7 islas y 6 islotes. Se encuentran en el Océano Atlántico cerca del Trópico de Cáncer, frente a las costas africanas del Sáhara Occidental, entre las latitudes 27º 38' (la isla del Hierro) y 29º 24' (el islote de Alegranza), y entre las longitudes 13º 20' este (islote Roque del Este) y 18º 9' (la isla del Hierro). Sólo hay 115 km aproximadamente, entre la costa de África y las islas de Fuerteventura y Lanzarote, encontrándose a unos 2.000 km de la Península Ibérica.

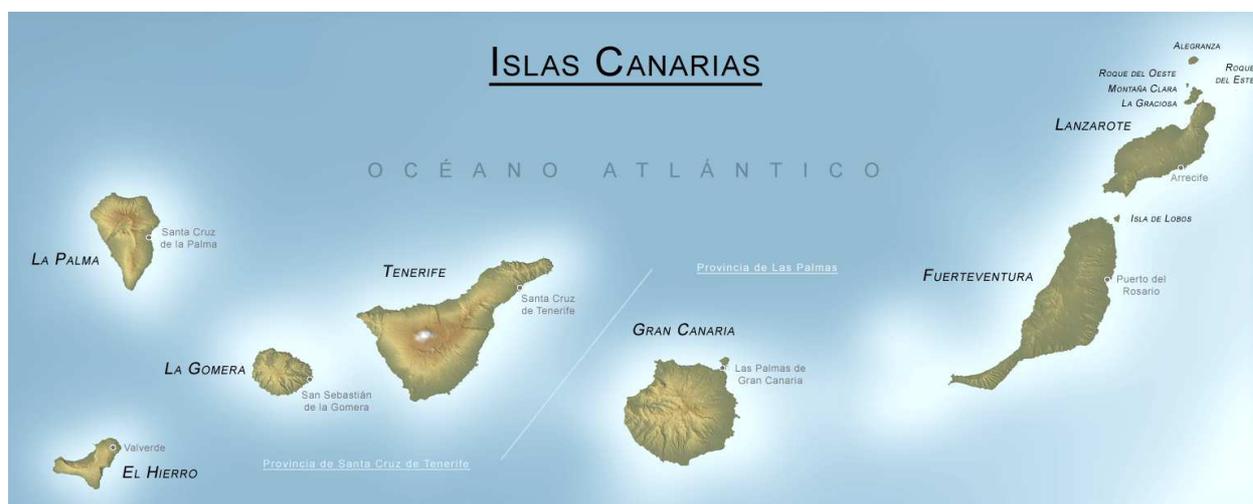


FIGURA 2.1.- MAPA DE LAS ISLAS CANARIAS

2.2 EL CLIMA EN CANARIAS

2.2.1 FACTORES QUE GOBIERNAN EL CLIMA

Canarias se encuentra ubicada en una zona de transición entre dos dominios climáticos, el de la zona templada o zona de circulación del oeste y el de la zona subtropical.

El clima de Canarias está condicionado por varios factores que son: (1) El anticiclón de las Azores, que genera en las islas un régimen de vientos alisios, (2) la proximidad del continente africano, cuyos efectos se manifiestan en el archipiélago cuando se produce una invasión de aires caliente sahariano, con vientos del este o sureste, (3) la corriente marina fría, cuyas aguas transmiten un enfriamiento a las capas de aire que están en contacto con el mar, (4) las precipitaciones que se producen de forma irregular y (5) la complejidad del relieve.

La circulación del alisio y la influencia de la corriente marina

En verano, el archipiélago canario se encuentra en el seno de la corriente de los vientos alisios (de procedencia NE y generado por el anticiclón de las Azores), que soplan con mayor frecuencia e intensidad. En invierno, este anticiclón se manifiesta únicamente como una faja de altas presiones subtropicales, cuyo eje está centrado hacia los 30º de latitud en el Atlántico, por lo que el límite medio septentrional de los alisios queda sólo unos pocos grados al norte de la latitud de las islas.

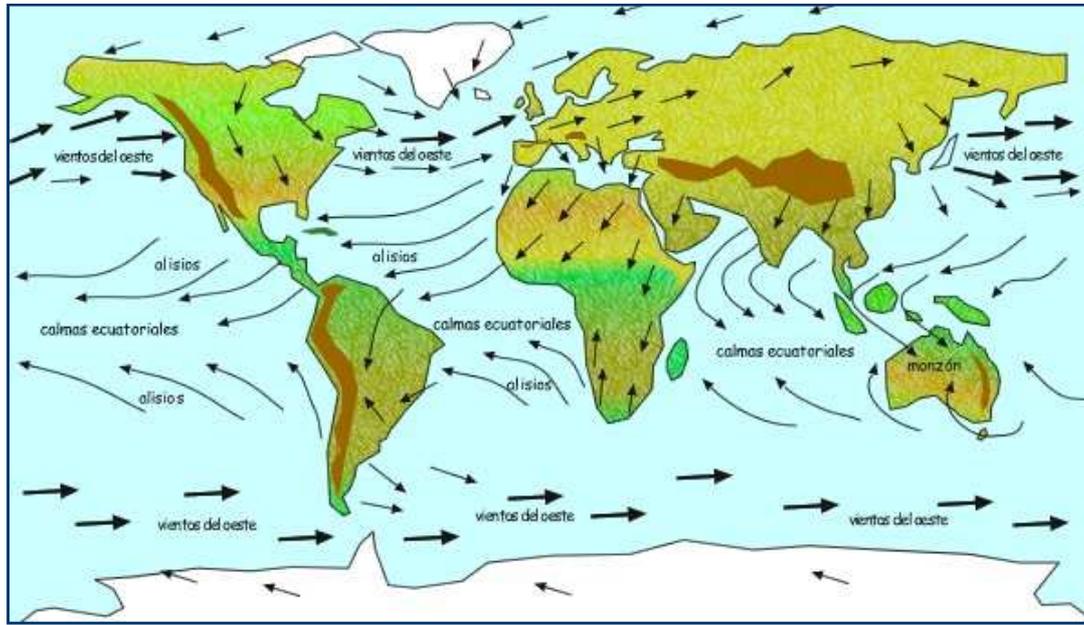


FIGURA 2.2.- CIRCULACIÓN DE VIENTOS EN LA TIERRA

La circulación del alisio en verano tiene un carácter casi permanente, mientras que en invierno suele alternar con otras circulaciones muy distintas, pudiendo existir irrupciones de masas de aire procedentes de latitudes polares.

La estructura vertical del alisio presenta en la troposfera una superposición de dos capas: una inferior fresca y húmeda y otra superior cálida y seca; entre ambas se sitúa una inversión térmica de subsidencia, es decir (tal como se indicó en el Capítulo 1 de la presente tesis), una franja en la que la temperatura aumenta con la altura, lo contrario a lo que debería suceder en condiciones normales; la altitud, espesor y gradiente térmico de esta inversión varían a lo largo del año, pero, por lo general, su base está por encima de los 800 m y su cima en torno a los 1500 m. A partir de esta altitud, los vientos rolan hacia el noroeste.

La presencia de esta inversión térmica genera estabilidad en las islas ya que impide que se produzcan movimientos de convección y limita el crecimiento vertical de las nubes; en consecuencia, sólo se forman nubes estratiformes con los estratocúmulos, las cuales forman el llamado “mar de nubes”.

A pesar de que el régimen de alisios predomina sobre los demás tipos de tiempo y es el que da al clima de las islas sus rasgos definitorios, no presenta una distribución homogénea a lo largo del año siendo notablemente más frecuente en los meses estivales de junio y julio, donde pueden llegar a suponer más del 90 % de los días. Durante los meses centrales de invierno los alisios sólo están presentes el 50 % de los días, siendo ésta la época en que las islas se ven más afectadas por otras situaciones atmosféricas.

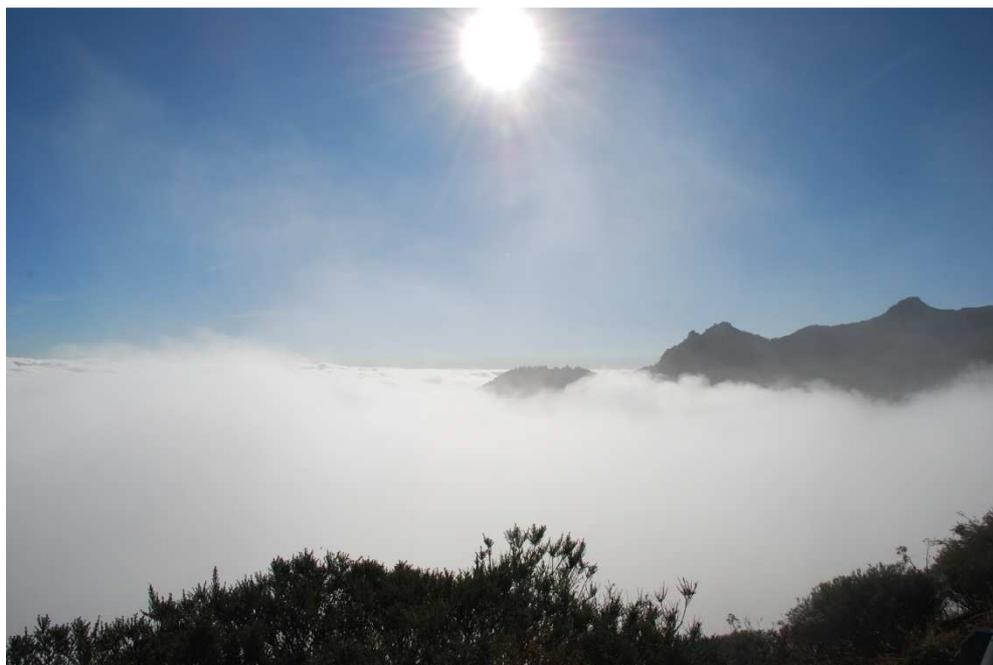


FIGURA 2.3.-MAR DE NUBES (INVERSIÓN DEL ALISIO) CUMBRE CENTRAL DE GRAN CANARIA

En cuanto a la corriente marina fría, las isotermas de la temperatura media de la superficie del mar se encuentran en enero inclinadas hacia el sur, acentuándose bruscamente cerca de Canarias, hasta llegar a situarse paralelamente a la costa africana. En julio, estas características se acentúan aún más, de tal forma que la temperatura superficial marina en Canarias es la misma que en el archipiélago de las Azores.

Esta distribución de la temperatura de la superficie del mar se debe a la presencia de una corriente marina fría llamada del Archipiélago. Esta corriente, al transportar aguas procedentes de latitudes más septentrionales, da lugar a que la temperatura de la superficie del mar se mantenga en Canarias notablemente baja con respecto a la que debía ser de acuerdo con su latitud.

El relieve

La configuración del relieve en las Islas Canarias es muy importante y complicada, presentando características muy distintas de una isla otra, y alcanzándose grandes alturas en la mayoría de ellas. Las islas de Fuerteventura y Lanzarote no tienen alturas importantes.

Confluyen por un lado la presencia de una masa de aire (alisio inferior), fresco y húmedo (al permanecer durante gran parte de su recorrido en contacto con una superficie oceánica fría) y por otro una segunda masa de aire cálido (alisio superior) y seco (al no entrar en contacto con el mar), situado sobre los 1500 m de altitud. Lo que se produce es una inversión de temperatura sobre la capa de aire del alisio inferior. Esta capa tiene un espesor que varía, por término medio, desde unos 1250 m en verano a 1650 m en invierno, presentándose sobre ella una circulación normal de vientos del NO. Si se asciende verticalmente se notará una rápida disminución de la humedad y una subida de temperatura que, a veces, llega a ser del orden de los 10 °C.

Como se ha indicado anteriormente, estas dos masas de aire tan diferentes (y una sobre la otra) provoca la formación de una barrera que impide el ascenso de las capas inferiores, y por consiguiente inhibe el desarrollo de nubes de gran desarrollo vertical.

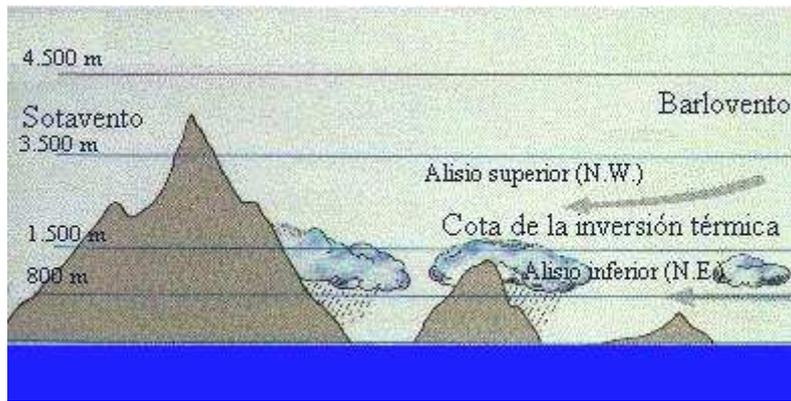


FIGURA 2.4.- INTERACCIÓN DEL RELIEVE Y EL ALISIO EN LAS ISLAS CANARIAS

Influencia del continente africano

El clima del archipiélago puede experimentar notables cambios cuando tiene lugar la sustitución de la masa de aire marítimo, propia del alisio, por otra caliente y seca procedente del continente africano. Esto es especialmente cierto en otoño e invierno, cuando, al ir acompañada de vientos fuertes puede ser causante de grandes devastaciones en los campos y efectos perniciosos en la salud humana.

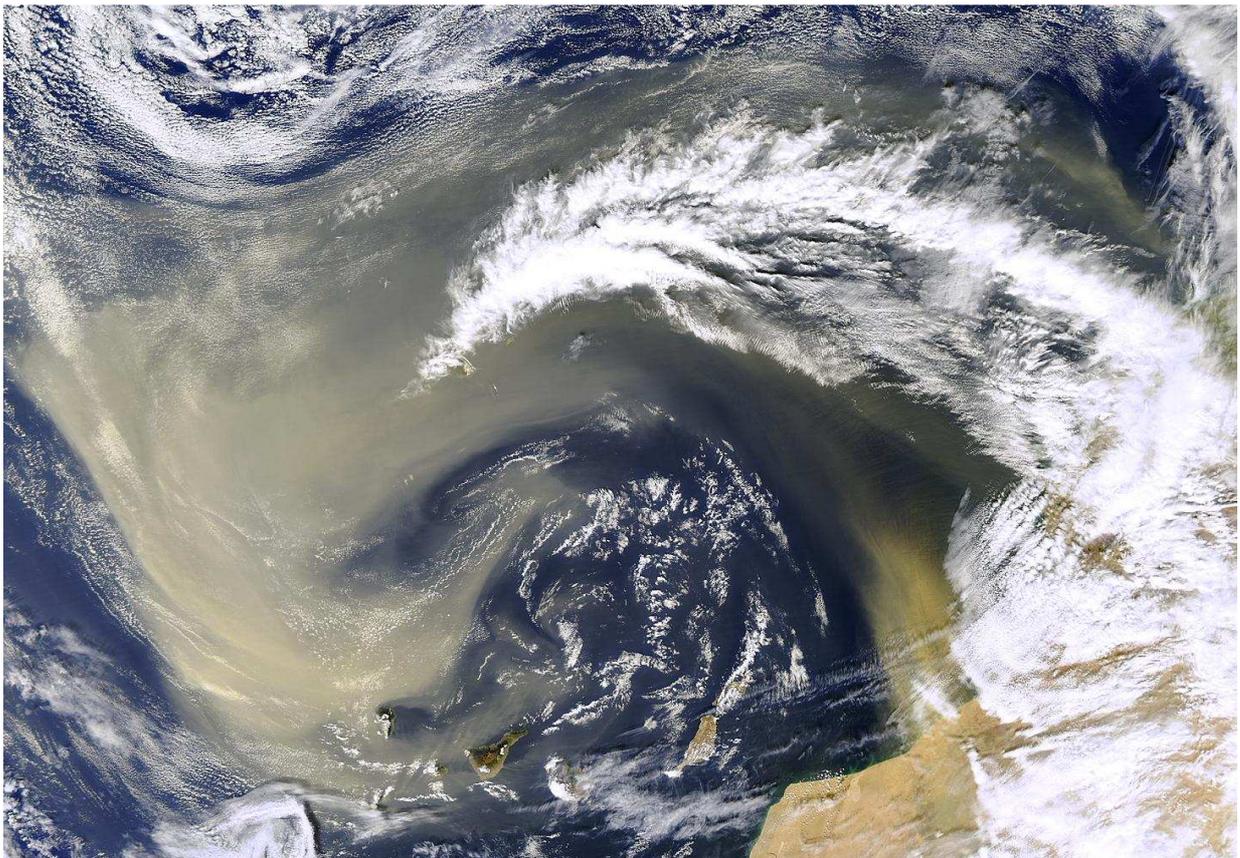


FIGURA 2.5.- PLUMA DE POLVO AFRICANO SOBRE LAS ISLAS CANARIAS

Sus efectos se notan más claramente a cierta altura (entre los 500 y los 1500m). Ello se debe a la influencia de las aguas frías, que tienden a mantener una capa delgada de aire, relativamente frío sobre el mar, que por ser más densa, no puede ser totalmente reemplazada por las masas de aire continental, que se ven obligadas a remontarse por encima de la misma.

2.2.2 ELEMENTOS CLIMATOLÓGICOS

La presión atmosférica

La presión media al nivel del mar es en todos los meses superior a 1.013,2 hPa. Ello es consecuencia del predominio de las condiciones anticiclónicas. La presión máxima, a nivel del mar, se presenta en enero que es cuando el centro del anticiclón atlántico ocupa su posición más meridional; en verano, al centrarse mucho más al norte, el archipiélago queda al margen del mismo, registrándose como consecuencia unas presiones medias mínimas.

Es interesante el hecho de que en las localidades situadas muy por encima del nivel del mar la variación anual de la presión difiere de la experimentada a nivel del mar. Así, en Izaña, situada a 2637 m de altura, se tiene una variación anual prácticamente contraria la que se experimenta a nivel del mar, alcanzando el valor máximo en agosto. Esto es consecuencia de que en verano la temperatura media del estrato de aire comprendido entre el nivel del mar y el de Izaña es considerablemente superior a la del invierno, por lo que en verano la disminución de la presión con la altura queda notablemente reducida.

El viento

El predominio del alisio junto con la corriente marina fría, constituye el factor más importante en el gobierno del clima de Canarias. Este predominio es mínimo en enero (pero aún entonces el alisio del NE sopla con una frecuencia del 50%), y muy acusado en los meses estivales (en los que sopla con una frecuencia del 90 al 95%). Además a principios de año las velocidades más frecuentes de estos vientos son inferiores (10 -20 km/h) a las de verano (20-30 km/h).

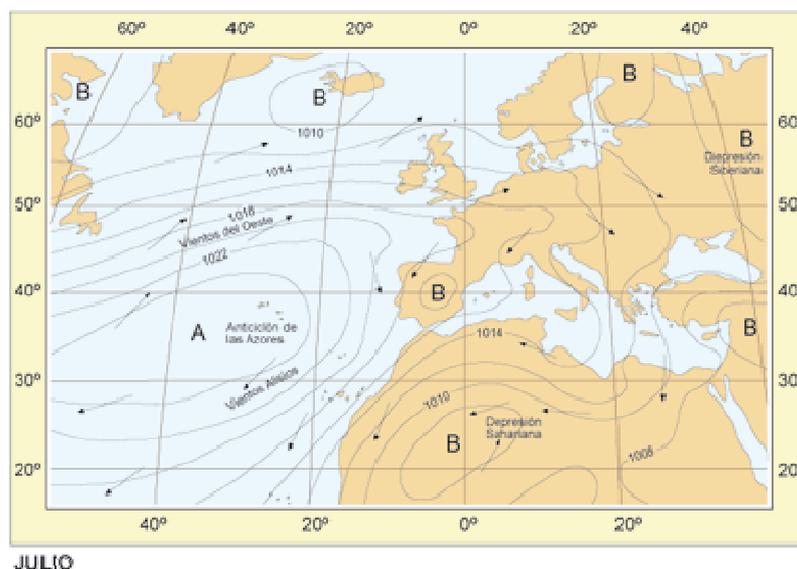


FIGURA 2.6.- CIRCULACIÓN TÍPICA DEL ALISIO SOBRE LAS ISLAS CANARIAS EN VERANO

Circulación monzónica

Bajo ciertas circunstancias el anticiclón africano puede llegar a ser lo suficientemente importante para que el flujo de aire del continente al océano alcance plenamente las islas Canarias en forma de viento monzónico. Este suele notarse más claramente a cierta altura que al nivel del mar, siendo vientos de procedencia E-SE.

Variación anual de la temperatura

Es la diferencia entre los valores medios del mes más caliente y del más frío. A nivel del mar la variación es del orden de 6 °C. En las estaciones situadas en altura, la variación puede llegar ser del orden de 13 °C, debido a las invasiones de aire polar en invierno, las cuales se notan en altura mucha más intensamente que en superficie.

Variación diurna de la temperatura

Se entiende como la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas diarias. Las primeras se registran una o dos horas después del mediodía, y las segundas alrededor de una hora después de la salida del sol.

En los lugares bajos, abiertos al alisio, la oscilación diurna es del orden de seis grados y medio en invierno y algo más de cinco grados en verano, como consecuencia de la mayor nubosidad debida de la presencia de la capa de nubes.

Humedad

En zonas costeras, la humedad relativa tiene valores realmente moderados tratándose de un clima marítimo, lo cual constituye una de las buenas cualidades de este clima.

A medida que nos desplazamos en altura, la humedad relativa va aumentando hasta llegar a las capas de aire seco, superpuesta a la de los alisios.

Nubosidad e insolación

La nubosidad suele medirse en décimas de cielo cubierto, agrupando imaginariamente todas las nubes presentes en el momento de la observación. Durante los meses de invierno está comprendida entre 4 y 5 décimas. En verano hay notables variaciones de un lugar a otro; así en Las Palmas de Gran Canaria, en esta estación la nubosidad es mayor que en invierno, llegando en el mes de julio a ser de casi 7 décimas. En lugares bien resguardados del alisio, la variación de la nubosidad es inversa, siendo por tanto menor en verano (del orden de sólo 2 décimas en julio).

Con respecto a la altura, la nubosidad aumenta considerablemente a medida que ascendemos en las laderas expuestas a los alisios hasta llegar a alturas del orden de los 1500 m (encima de la capa de nubes del alisio), donde disminuye considerablemente, especialmente en los meses de verano.

El régimen de lluvias

En general, en Canarias, el número de días al año en que llueve es pequeño, de 50 a 60 días, y en las zonas secas de 20 a 30 días.

Una característica muy importante esta pluviosidad es el carácter chubascoso de las lluvias más importantes, de manera que en tan sólo unas horas la cantidad de agua registrada es del mismo orden que la media total anual.

Existe un gran contraste en la distribución de las lluvias como consecuencia del gran papel que juega la configuración orográfica. En general, puede indicarse que, en las islas montañosas, los valles y ladera expuestos a los vientos del sector NO-NE son relativamente lluviosos, mientras que en los que se encuentran a resguardo las lluvias son muy escasas; a igualdad de condiciones de exposición, las zonas más lluviosas se encuentran a niveles entre los 750 m y los 1500m.

Nieve, tormentas y niebla

En el archipiélago canario prácticamente no nieva por debajo de los 1.200 m. En Izaña el número medio de días de nieve es de once. Por término medio, en Las Cañadas el suelo está cubierto de nieve quince días al año. Nieves perpetuas no existen a ninguna altura; incluso en el Pico del Teide hay muchos inviernos en que durante varias semanas la nieve sólo se mantiene en cavidades y lugares muy resguardados y las tormentas son realmente poco frecuentes.

Por último, con respecto a las nieblas, se dan con poca frecuencia y suelen estar limitadas a las primeras horas de la mañana. Sólo pasa a ser un fenómeno de importancia en las zonas altas en las que exista la posibilidad de entrar en contacto con la capa nubosa del alisio.

2.2.3 TIPOS DE TIEMPO

El régimen de los alisios

Este tipo de tiempo es el más frecuente en Canarias. No obedece a una situación sinóptica concreta, pues depende de la potencia y situación del anticiclón de las Azores.

Se puede manifestar en las islas de distintas formas y siempre mantiene la misma estructura vertical en la troposfera: una superposición de dos capas de aire, una fresca y húmeda en superficie y otra cálida y seca en altura (inversión térmica del alisio), que pone límite a los ascensos del aire y al desarrollo vertical de las nubes. En estas condiciones sólo se forman nubes estratiformes, como los estratocúmulos, los cuales forman el llamado mar de nubes.

En las zonas de costa las temperaturas son suaves y la oscilación diaria es débil, la nubosidad es abundante en las vertientes del norte y noreste de las islas, los vientos soplan moderados y en algunas ocasiones fuertes de componente noreste y norte-noreste.

Con este tipo de tiempo, no se producen precipitaciones, sólo lloviznas o lluvias débiles en los sectores expuestos a los vientos alisios (norte y noreste); ahora bien, si el anticiclón de Azores se sitúa en latitudes muy septentrionales, al tener los alisios un mayor recorrido marítimo, son más húmedos y fríos, con lo cual, la inversión térmica se sitúa a niveles más bajos y entonces las nubes adquieren mayor desarrollo vertical; en estas condiciones se producen precipitaciones de flojas a moderadas.

Este tipo de tiempo puede presentarse en Canarias de varias formas, dependiendo de la estación y de la posición que tenga el anticiclón de las Azores con respecto al archipiélago.

Éstas son:

Cuando el anticiclón de Azores se sitúa al noroeste de Canarias y los vientos dominantes son de componente noreste; esto sucede en el verano, otoño e invierno.

Cuando el anticiclón de Azores se debilita y se sitúa sobre Canarias, en este caso, el viento suele soplar de forma débil o está en calma.

Cuando el anticiclón de Azores se sitúa al norte de las islas y ejerce un efecto de bloqueo a las borrascas y frentes que proceden de la zona templada. Éste caso se suele dar con más frecuencia en el invierno.

Las invasiones de aire sahariano

A este tipo de tiempo se le llama popularmente tiempo sur, y se puede manifestar a lo largo de todo el año, aunque es en otoño e invierno cuando se da con mayor frecuencia.

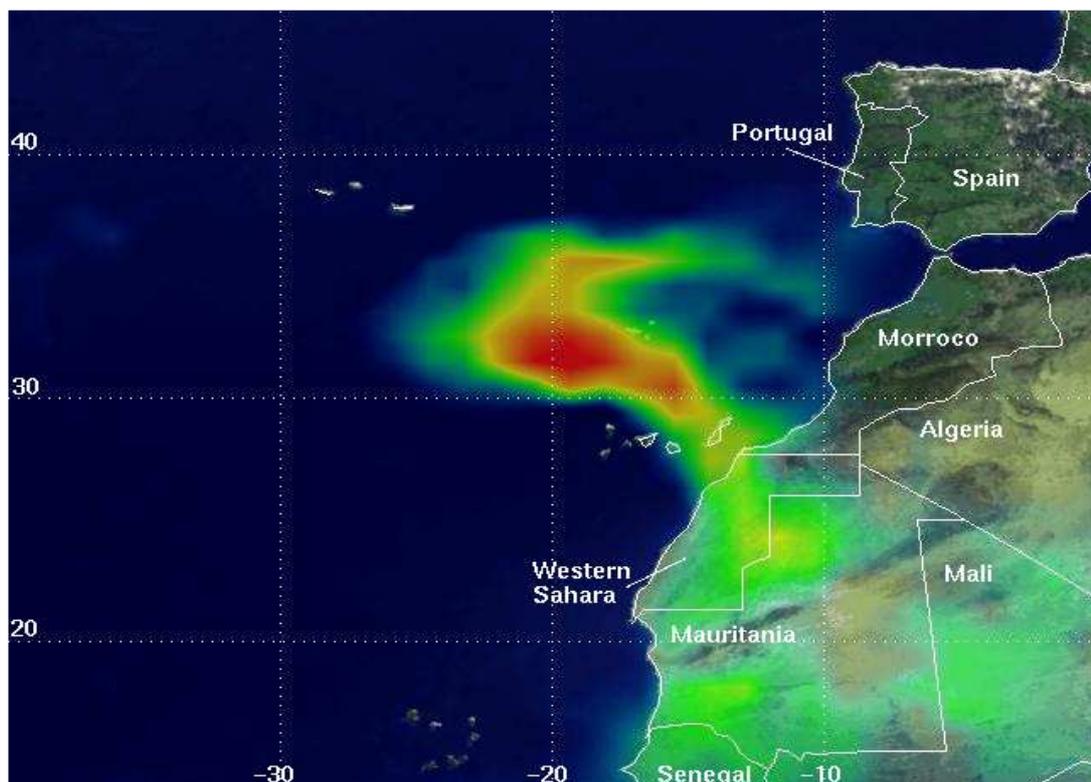


FIGURA 2.7.- INVASIÓN DE AIRE SAHARIANO SOBRE LAS ISLAS CANARIAS

Estas invasiones de aire sahariano se pueden presentar de dos formas distintas: cálidas y frescas; las primeras se producen en verano y las segundas en invierno, aunque en otoño y primavera también se dan episodios de invasiones cálidas, que llegan a elevar la temperatura por encima de los 30°C.

Cuando se producen las invasiones frías o frescas, en la escena sinóptica hay un potente anticiclón continental de origen térmico centrado en Europa occidental, que abarca con su radio de acción parte del norte de África, que introduce en el archipiélago un flujo de aire menos caliente o fresco. Cuando se producen las invasiones cálidas hay una borrasca de origen térmico sobre el Sáhara (formada por un fuerte calentamiento superficial del aire), que envía hacia las islas un flujo de aire cálido y muy seco procedente del cercano continente.

Estas invasiones de aire sahariano se manifiestan primero en las zonas de altitudes medias de las islas que tienen mayor relieve, como Tenerife, Gran Canaria y La Palma; esto es debido a que el aire sahariano se humedece y se enfría por contacto con el mar, aumentando su densidad y actuando de "colchón" sobre el que avanza un aire muy seco y cálido; a medida que va evolucionando esta situación, el aire cálido va aumentando su densidad al mezclarse

con el aire de superficie y empieza a descender por las laderas hasta llegar hasta las zonas de costa.

Las características meteorológicas más importantes que se producen cuando el archipiélago se ve afectado por una invasión de aire sahariano son las siguientes:

- Temperaturas altas, pudiendo alcanzar e incluso superar los 40°C.
- Humedades relativas bajas; se ha llegado a registrar un 7% en Izaña.
- Enturbiamiento de la atmósfera, debido al polvo en suspensión o calima. Esto conlleva a una disminución de la visibilidad, que en algunas ocasiones puede llegar a ser inferior a un kilómetro.
- Vientos de direcciones este y sureste y velocidad variable, aunque lo más frecuente es que esté en calma; en casos excepcionales, la velocidad del viento ha alcanzado los 100 km/h (7-8 enero de 1999).

La duración de estas invasiones de aire sahariano oscila entre 3 y 15 días, aunque se han registrado algún caso (1949) con una duración de 25 días seguidos.

Las invasiones de aire polar marítimo

Estas invasiones se notan en altitudes superiores a los 1.500-2.000 metros, y producen un fuerte descenso de las temperaturas y un importante aumento de la velocidad del viento, que alcanza velocidades de 70 km/h, llegando (en casos extremos) hasta los 180 km/h. En las zonas medias y de costa la velocidad es menor y sólo se producen descensos de temperatura de 1°C ó 2°C.

Cuando las islas son afectadas por una invasión de aire polar marítimo, el tiempo presenta las siguientes características:

- Desaparece la típica inversión térmica del alisio.
- Se produce una fuerte inestabilidad.

En las zonas expuestas a esta masa de aire polar marítimo se producen precipitaciones de 100 mm en una hora pudiendo, en casos excepcionales, llegar a los 200 mm.

En las islas de menor relieve, como Lanzarote y Fuerteventura, si estas invasiones o advecciones son muy frías, se producen precipitaciones de 50 mm en una hora.

Si este tipo de tiempo se presenta en verano, sólo se producen descensos en las temperaturas (que no llegan a ser importantes) y un aumento en la velocidad del viento.

En todo caso, la intensidad de las lluvias depende del grado de inestabilidad y del vapor de agua que contenga esta masa de aire polar.

La situación sinóptica típica que existe en superficie cuando se producen estas invasiones o advecciones de aire polar marítimo, corresponde a un anticiclón importante centrado muy al norte de las Azores.

Este tipo de tiempo se presenta en Canarias en otoño, invierno y primavera, siendo más frecuente en noviembre, marzo y abril y suelen durar varios días.

Las perturbaciones oceánicas

Este tipo de perturbaciones son depresiones que se desgajan de la parte meridional del frente polar y luego toman una dirección noroeste-sureste hasta que alcanzan a las islas. Se manifiestan en invierno y principios de primavera.

Con la presencia de este aire frío y húmedo desaparece la típica inversión térmica del alisio, con lo cual, se genera una fuerte inestabilidad, con formación de nubes de gran desarrollo vertical, que dan lugar a lluvias entre moderadas y fuertes o muy fuertes y en ocasiones a tormentas con gran aparato eléctrico.

La intensidad de las precipitaciones que se producen dependen de varios factores, como la situación que reina en altura, la trayectoria que tengan estas depresiones por el Atlántico, la cercanía de su núcleo con respecto al archipiélago, la cantidad de vapor de agua que posean este tipo de borrascas, y sobre todo, si son o no muy profundas.

Cuando estas perturbaciones se forman o se desarrollan en latitudes más meridionales, producen un flujo de aire marítimo tropical de componentes sur y suroeste muy inestable, que provoca intensas precipitaciones en las zonas del sur y suroeste de las islas, siendo en algunos casos de tipo torrencial.

Las gotas frías

Este tipo de perturbaciones se observan solamente en los mapas de altura, en torno a los 300 hPa y con menor frecuencia a los 500 hPa ya que están estrechamente relacionadas con la corriente en chorro polar.

Las gotas frías afectan a Canarias cuando una vaguada de aire polar se extiende mucho hacia el sur, terminando por estrangularse y adoptando la forma de una gota (de ahí su nombre) aislada de la zona de circulación del oeste, rodeada de aire caliente tropical.

Las gotas frías pueden producir o no precipitaciones en Canarias, dependiendo de muchos factores, como las condiciones que hay en altura, humedad de la atmósfera, vientos, etc.

Las borrascas del Suroeste

Estas borrascas están relacionadas con las potentes ondulaciones que se producen en la corriente en chorro polar y a vaguadas en altura, e incluso a gotas frías, con temperaturas entre los -16°C y los -25°C a los 500 hPa.

En superficie se forma una potente borrasca en la que disminuye de forma brusca la presión en su núcleo, reforzándose dicho descenso aún más debido a la depresión que hay en altura.

Este tipo de perturbaciones se forman en el sector sur de la zona templada y como son muy profundas y potentes van descendiendo hacia el Suroeste cargándose de humedad y aumentando su temperatura al recibir las influencias de la zona subtropical, y, cuando llegan a una latitud de 25° Norte toman una dirección noreste y luego comienzan a ascender en latitud.

Al descender mucho en latitud, entran en Canarias por el sector suroeste (de ahí su nombre) y producen fuertes lluvias, siendo en algunos casos de tipo torrencial y ocasionando grandes inundaciones; los vientos soplan de componente sur y suroeste fuertes y en algunas ocasiones soplan muy fuertes con velocidades de hasta 120 Km/h.

Este tipo de borrascas son frecuentes desde mediados de noviembre hasta abril y suelen tener una duración de pocos días, de entre 3 a 4 días aproximadamente.

Las ondas del Este

En algunas ocasiones se establece en Canarias una corriente general del este, producida por un extenso anticiclón centrado en Europa occidental cuyo flanco meridional abarca el continente africano.

En esta corriente se forman vaguadas debido a una deformación en el campo isobárico, que se desplazan de este a oeste (de ahí su nombre) y pueden afectar a Canarias.

Cuando las islas son afectadas por este tipo de tiempo, en los mapas de 500 hPa milibares se observa que en Canarias hay una región en la que hay poco gradiente barométrico, apareciendo un anticiclón situado al este de la vaguada de superficie.

Si la vaguada de superficie es débil, no se producen cambios significativos en el tiempo, en todo caso, suelen aparecer nubes de tipo medio que producen precipitaciones débiles. Sin embargo, cuando la vaguada está muy marcada en el mapa de superficie, se produce una gran actividad convectiva, que, favorecida por el relieve de las islas, da lugar a la formación de nubes de gran desarrollo vertical que producen fuertes lluvias. Mientras la vaguada se encuentra sobre el continente africano, las precipitaciones son débiles o nulas.

Estas vaguadas se desplazan de forma muy lenta cuando pasan por Canarias, con lo cual, el archipiélago se ve sometido durante 2 ó 3 días a su acción. El viento suele soplar de componente noreste antes de que pase el eje de la vaguada para luego cambiar a sureste cuando dicho eje ya ha pasado.

Este tipo de perturbaciones han producido fuertes lluvias y auténticos diluvios en Canarias y los vientos pueden llegar a ser fuertes.

Depresiones tropicales

Este tipo de perturbaciones se forman en África, concretamente al sur del Sáhara y toman una trayectoria primero hacia el oeste, luego hacia el norte y finalmente giran hacia el noroeste. En algunas ocasiones penetran en el Atlántico y siguen una trayectoria hacia el norte paralelo a la costa de África. Suelen presentarse en otoño.

Este tipo de depresiones tropicales dan lugar a vientos muy fuertes de componente sur y sureste y a intensas precipitaciones que pueden llegar a ser muy fuertes, sobre todo en las islas que tienen mayor relieve como Tenerife, Gran Canaria y La Palma; en este caso, son las zonas del sur de las islas las que se ven más afectadas.

2.3 POBLACIÓN DE CANARIAS

La comunidad canaria tiene 2.025.951 habitantes, según datos del INE en enero de 2007 y una densidad de población de 270 hab/km², cifra que supera ampliamente el promedio español. A pesar de la alta densidad, la distribución de la población entre las islas es muy desigual: Gran Canaria y Tenerife agrupan más del 80% de los habitantes del archipiélago. La isla menos poblada es la del Hierro, que no alcanza los 11.000 habitantes.

2.4 CONTAMINACIÓN

Por otro lado, el carácter insular del territorio canario y el régimen de vientos alisios predominantes son factores positivos que facilitan la dispersión de los contaminantes en la atmósfera. La propia situación geográfica de Canarias, alejada de industrias que pudieran "exportar" sus emisiones contaminantes, constituye otra ventaja del Archipiélago. La mayor contribución a la contaminación atmosférica en Canarias deriva de la combustión de elementos fósiles, bien sea para la automoción, procesos industriales de producción de energía, fraccionamiento y separación de productos derivados del petróleo o de potabilización de agua de mar. A esto hay que añadir los incineradores de basuras, extracción de áridos y pequeñas industrias. Las situaciones críticas o de problemas graves de contaminación son escasas o nulas en el conjunto de Canarias.

En las islas mayores los contaminantes emitidos por las centrales térmicas, la refinería de petróleo, los automóviles y las plantas potabilizadoras pueden tener dificultades de dispersión cuando se dan las siguientes condiciones:

- Capa de inversión muy baja o atmósfera estratificada muy estable por debajo de 400-500 metros sobre el nivel del mar.
- Situaciones de calma.
- Calimas.
- Efecto de isla térmica: creación de un gradiente de temperatura con máximos valores cerca del centro de las ciudades, debido a la propia actividad conjunta que se genera en los mismos y que tiende a concentrar la contaminación en el centro de las grandes ciudades. Además la orografía existente en algunos medios poblacionales dificulta la dispersión de contaminantes.

Los episodios de contaminación más importantes coinciden con las invasiones de aire sahariano, el denominado "tiempo sur", que corresponde a unos cuarenta días al año. En estas condiciones meteorológicas, muy estables y de flujo predominante del este, los penachos de las industrias no sólo no son evacuados hacia el mar, sino que, debido a la escasa altura de las chimeneas de las empresas canarias, caen literalmente hacia tierra formando verdaderos hongos de contaminación, como el que se observa con frecuencia sobre la ciudad de Santa

Cruz de Tenerife, provocando problemas de visibilidad, olores y afecciones respiratorias en la población.

Los problemas de contaminación se centran en las dos islas capitalinas, concretamente en los cuatro municipios más industrializados y con mayor carga de tráfico: Candelaria, Güímar, La Laguna y Santa Cruz en la isla de Tenerife; y Las Palmas, Mogán, Telde y Agüimes en Gran Canaria. La contaminación es importante en determinadas situaciones meteorológicas,

sin llegar a cifras alarmantes, pero a veces alcanza niveles que superan los valores permitidos por la legislación vigente.

Las principales instalaciones contaminantes presentes en la industria canaria son: las refinerías de petróleo, las centrales térmicas, las fábricas de cemento, las plantas asfálticas, las fábricas de abono, las fábricas de transformado de vidrio y las cerveceras. Los principales agentes contaminantes son el dióxido de azufre y las partículas en suspensión y en menor proporción los óxidos de nitrógeno, óxidos de carbono, plomo y ozono. El sector industrial es responsable del 99% de las emisiones de dióxido de azufre (61.000 t/año) y del 90% de las emisiones de partículas en suspensión (2.253 t/año). El transporte rodado emite unas 70 t anuales de plomo y casi 50.000 t de monóxido de carbono. Además es responsable del 59% de las emisiones totales de compuestos orgánicos volátiles (unas 6.000 t anuales), del 36% de las emisiones de óxidos de nitrógeno (4.600 t), de un 8% de las partículas y apenas un 1% del dióxido de azufre total. Si bien, en algunos medios urbanos se ha superado en diversas ocasiones el valor guía para SO₂ y partículas en suspensión, no supone criterio para la declaración de zona de atmósfera contaminada.

Los sectores terciarios y secundarios son los principales fundamentos económicos de las islas, en particular el comercio, la hostelería, una fuerte presencia empresarial en el sector gráfico y los astilleros de reparación naval. Es especialmente importante la actividad portuaria, (sobre todo en Gran Canaria) al figurar el puerto de Las Palmas entre los tres primeros puertos de España. Se trata por lo tanto de actividades con una tasa limitada de emisiones atmosféricas, exceptuando las actividades portuarias, que se caracterizan por presentar niveles elevados de material particulado, metales y gases derivados de la combustión (NO_x, SO₂, CO₂). Sin embargo las emisiones que afectan de forma más directa al núcleo urbano tienen su origen en el tráfico. Consecuentemente, los contaminantes atmosféricos de origen antropogénico con mayor presencia en función de su actividad emisora son los siguientes:

- Tráfico: NO_x, CO, material particulado, metales.
- Actividades portuarias: material particulado, CO₂, SO₂, NO_x, metales.

En cuanto a los aportes de material particulado de origen natural, en Canarias se registran dos tipos mayoritarios: el aerosol marino y el polvo africano recibido desde los desiertos del Sahara y Sahel. Mientras que los aportes de aerosol marino se reciben de forma relativamente homogénea a lo largo del año, el material particulado africano se detecta en la zona de estudio siguiendo un patrón estacional marcado. Los aportes de material particulado africano a Canarias se producen a través de intrusiones de masas de aire africano, que presentan máxima probabilidad de ocurrencia en febrero-marzo, junio-agosto y noviembre-diciembre (Viana et al., 2002). Las intrusiones de febrero-marzo, caracterizadas por su elevada intensidad, se producen en niveles medios de la atmósfera, por lo que poseen un gran impacto directo en los niveles de materia en suspensión. Los episodios que se registran en verano, por el contrario, se producen por depósito del material particulado que es transportado en altura (≈1500 m.s.n.m.) en la denominada capa de aire del Sahara (Prospero y Carlson, 1981), y es por ello que su intensidad y, consecuentemente, su impacto en la calidad del aire, es menor.

Por último, las intrusiones producidas a finales de año son debidas a procesos a escala local como tormentas de arena en el desierto que afectan a la zona de estudio debido a su proximidad a la costa africana, y por tanto se producen en los niveles más bajos de la atmósfera. Su intensidad es también elevada, aunque su duración es mucho menor (2-5 días).

El carácter insular y la meteorología de la zona poseen una gran influencia sobre la calidad del aire de la zona de estudio. El predominio de los vientos alisios en la capa límite marítima durante la mayor parte del año favorece la dispersión de contaminantes emitidos en entornos urbanos e industriales sobre el océano, mientras que la proximidad del continente africano favorece el transporte de contaminantes naturales (en especial material particulado) hacia las islas. Los diferentes escenarios meteorológicos generados en invierno y verano, que favorecen el transporte de material particulado africano hacia Canarias, han sido estudiados por numerosos autores (Cuevas, 1995, Bustos et al., 1998, Rodríguez, 1999, Torres et al., 2001, Viana et al., 2002).

A modo de resumen, la composición del aerosol atmosférico dependerá, básicamente, de las emisiones antropogénicas locales, del grado de dispersión atmosférica de contaminantes debido a la intensidad de los vientos alisios, de los aportes de material particulado africano y, finalmente, del aerosol marino.

CAPÍTULO 3

OBJETIVOS, HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES DE MEDIDA

CAPÍTULO 3

OBJETIVOS, HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES DE MEDIDA

3.1 OBJETIVOS

El objetivo general planteado consiste en analizar y evaluar, en términos ambientales, la calidad del aire en la provincia y determinar qué factores influyen de manera preponderante en la misma.

La consecución de dicho objetivo general implica realizar una serie de estudios específicos que permitirán entre otras cosas

- Determinar y analizar las variaciones temporales y geográficas de los diversos contaminantes (NO, NO_x, SO₂, PM₁₀ y O₃)
- Identificar los procesos que afectan a las concentraciones de partículas menores de 10 µm, realizando un estudio sobre el origen de las masas de aire que llegan al archipiélago mediante el cálculo de retrotrayectorias.
- Determinar las frecuencias con que anualmente se exceden los valores límites de los diversos contaminantes, dónde se producen y a qué se deben.
- Analizar la evolución temporal de los contaminantes con el fin de estudiar su comportamiento e identificar fuentes específicas, locales o regionales, de emisión.
- Determinar la relación existente entre las variables meteorológicas y los contaminantes con el fin de dilucidar de forma cuantitativa la influencia sobre los mismos de estas últimas.

3.2 HERRAMIENTAS EMPLEADAS PARA EL ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE DATOS

El tratamiento estadístico de los datos se ha realizado utilizando el programa Statgraphics Centurion XV.

Para el análisis de los escenarios meteorológicos y la identificación del origen de las masas de aire que alcanzan las islas se ha contado con mapas de isobaras de nivel de superficie, 700 hPa y 500h Pa, facilitados por la Agencia Estatal de Meteorología, AEMET, y con el programa HYSPLIT (http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT_info.php, versión 4.8).

Se trata de un software de libre acceso proporcionado por la National Oceanic and Atmospheric Administration de los Estados Unidos (NOAA, 2004). Los mapas de

retrotrayectorias del modelo HYSPLIT muestran una vista aérea de la ruta que toma una parcela de aire, así como también una vista vertical de su movimiento a diferentes altitudes.

Dicho programa ha permitido el cálculo de retrotrayectorias isentrópicas tomando en consideración, para cada caso, la trayectoria de las masas de aire durante los 5 días previos al del estudio, siendo las alturas de partida de dichas retrotrayectorias: 750, 1500 y 2500 m sobre el nivel del mar.

La identificación de episodios de intrusiones africanas se ha realizado a través del estudio de las series temporales de PM_{10} utilizando la información suministrada por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas en la página web (<http://www.calima.ws/>). Además, se han utilizado:

- Mapas de índices de aerosoles TOMS (Herman et al. 1997) (<http://toms.gsfc.nasa.gov/aerosols/>). Estos mapas reflejan la medida indirecta del TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer), que determina la columna de ozono total a partir del ultravioleta, y detecta las variaciones estacionales. La obtención de los niveles de ozono por esta técnica sufre numerosas interferencias, entre ellas las introducidas por los aerosoles. Los cálculos realizados para eliminarlas permiten a la vez obtener otros parámetros de manera indirecta, como es el índice de aerosoles. La principal limitación de estos mapas, es que no ofrecen información acerca de la altura a la que viaja el material particulado. Tampoco detectan episodios de transporte de polvo africano en los 1.000 m inferiores de la troposfera (Torres et al., 1998 y 2002) y la claridad de las imágenes disponibles no es la más adecuada.
- Mapas de aerosoles SKIRON (Kallos et al., 1997) (<http://forecast.uoa.gr/>). Modelo informático utilizado por el grupo Atmospheric Modeling and Weather Forecasting (AM & WFG) de la universidad de Atenas. Proporciona predicciones de hasta 4 días con diferentes campos: concentración de polvo, depósitos (de polvo) húmedos y secos, temperatura, velocidad y dirección de viento a diferentes presiones. No permite conocer la altura a la que se produce el transporte.
- Imágenes de satélites (<http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/>) en las que se pueden distinguir el material de polvo africano, dependiendo de la nubosidad en la zona. Tampoco proporcionan datos de la altitud, a la que se produce el transporte.

Para determinar la carga neta de polvo africano se ha aplicado el *“Procedimiento para identificación de episodios naturales africanos de PM_{10} y $PM_{2,5}$ y la demostración de causa en lo referente a las superaciones del valor límite diario de PM_{10} ”*. (Querol et al., 2008)

3.3 ESTACIONES DE MEDIDAS DE LAS ISLAS CANARIAS

Actualmente en Canarias se encuentran funcionando 34 estaciones fijas de medición a tiempo real, se encuentran repartidas a lo largo de la geografía del archipiélago canario, localizadas estas en cuatro de las siete islas, ubicadas en aquellas zonas donde existen un mayor índice de emisiones en función a la potencia instalada de sus respectivas centrales térmicas.

Estas 34 estaciones pertenecen a 9 redes de monitorización distintas, siete de las cuales son de titularidad privada y las dos restantes públicas. A principios de 2008, se incorporaron dos estaciones más, una de ellas en el término municipal de Telde (Gran Canaria) y la segunda en el término municipal de Arafo (Tenerife), pertenecientes ambas a la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial del Gobierno de Canarias.

La distribución general de todas las estaciones de medición instaladas en las Islas Canarias se muestra en la figura 3.1.



FIGURA 3.1.- RED DE ESTACIONES DE MEDIDA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE DE CANARIAS

Los datos analizados en la presente Tesis son los registrados durante el periodo 2006-2007 en las 15 estaciones ubicadas en la provincia de Las Palmas y que se encuentran distribuidas de la siguiente manera: 11 en Gran Canaria, 2 en Fuerteventura y 2 en Lanzarote.

Las estaciones están clasificadas, por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial del Gobierno de Canarias, según la posible procedencia de los contaminantes de tipo antropogénico y tipo de área en la que se encuentra localizadas. De acuerdo con dicha clasificación se tienen estaciones de: tráfico urbana, tráfico suburbana, fondo urbana, fondo suburbana, industrial urbana e industrial suburbana.

En la tabla 3.1 se exponen las coordenadas geográficas correspondientes a cada una de ellas, su tipo y área de influencia.

TABLA 3.1.-COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LAS ESTACIONES DE MEDIDA DE LA PROVINCIA DE LAS PALMAS

FIGURA	NOMBRE ESTACION	LONGITUD gg.mmss	LONGITUD g	LATITUD gg.mmss	LATITUD g	ALTITUD metros	TIPO AREA	TIPO ESTACION
3.2	MERCADO CENTRAL	-15.2558	-15,43278	28.0802	28,13389	23	Urbana	Tráfico
3.3	JINÁMAR III FASE	-15.2459	-15.416274	28.0206	28.035105	55	Urbana	Industrial
3.3	NESTOR ÁLAMO	-15.2433	-15,40917	28,0154	28,03167	33	Urbana	Industrial
3.3	PEDRO LEZCANO	-15.2458	-15.416342	28.0148	28.029955	90	Urbana	Industrial
3.3	JINÁMAR	-15.2434	-15.409581	28.0139	28.027479	60	Urbana	Industrial
3.4	ARINAGA	-15.2313	-15.387042	27.5209	27.869089	23	Suburbana	Fondo
3.5	AGÚIMES	-15.2642	-15.445030	27.5351	27.897630	270	Suburbana	Fondo
3.6	SARDINA	-15.2804	-15.467650	27.5054	27.848465	158	Suburbana	Fondo
3.7	CASTILLO DEL ROMERAL	-15.2740	-15.461137	27.4805	27.801344	12	Suburbana	Industrial

FIGURA	NOMBRE ESTACION	LONGITUD gg.mmss	LONGITUD g	LATITUD gg.mmss	LATITUD g	ALTITUD metros	TIPO AREA	TIPO ESTACION
3.8	SAN AGUSTÍN	-15.3231	-15.541.891	27.4621	27.772598	17	Urbana	Tráfico
3.9	PLAYA DEL INGLÉS	-15.3350	-15.563859	27.4549	27.763655	31	Urbana	Fondo
3.10	ARRECIFE	-13.3251	-13.547621	28.5837	28.977042	-	Urbana	Fondo
3.10	COSTA TEGUISE	-13.3059	-13.516542	28.5925	28.990323	-	Suburbana	Fondo
3.11	CENTRO DE ARTE JUAN ISMAEL	-13.5108	-13.852335	28.3001	28.500291	-	Urbana	Fondo
3.11	PARQUE DE LA PIEDRA	-13.5113	-13.853718	28.3100	28.502767	-	Urbana	Fondo

Las estaciones de Mercado Central y Néstor Álamo cuentan con instrumentación automática para la determinación de niveles de PM₁₀ por medida de microbalanza de oscilación (TEOM) y medidas de concentración de contaminantes gaseosos (SO₂, NO-NO_x y O₃) por métodos convencionales (fluorescencia ultravioleta, quimiluminiscencia y fotometría ultravioleta, respectivamente). Las unidades de concentración de los contaminantes son expresadas en $\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ N}$. Las demás estaciones no registran concentraciones de ozono por no disponer del analizador pertinente.

A continuación, se describen las ubicaciones de las distintas estaciones de medición utilizadas en la presente tesis.

- Estación Mercado Central

Gran Canaria

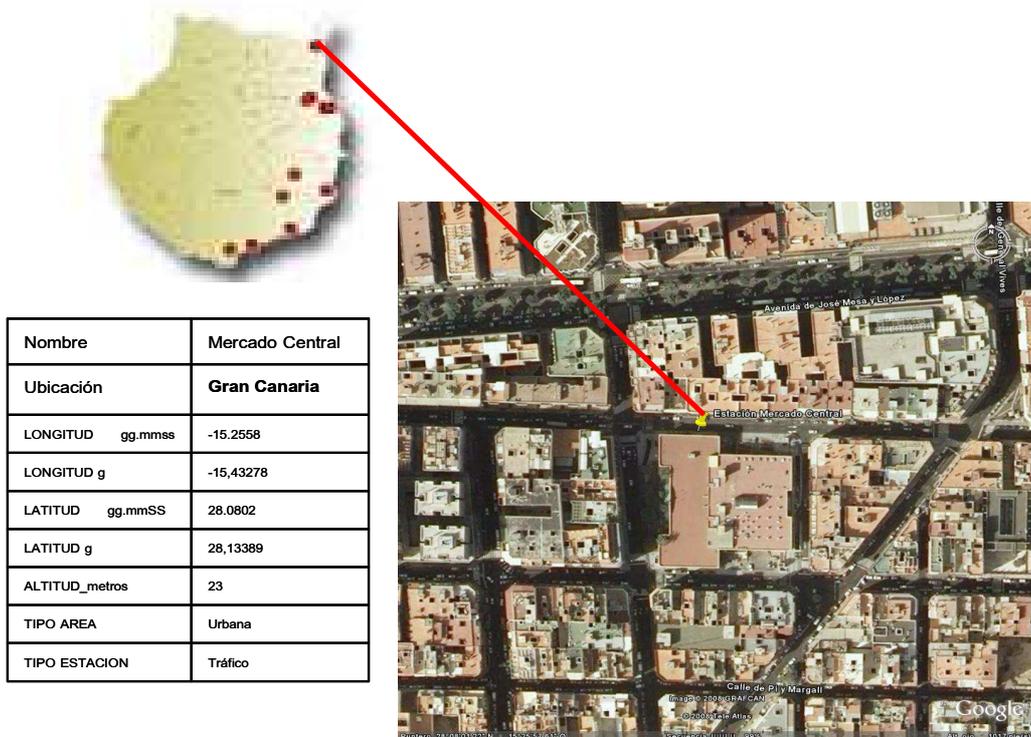


FIGURA 3.2.- SITUACIÓN ESTACIÓN DE MEDIDA MERCADO CENTRAL

Estación de tipo urbano ubicada en la capital de Gran Canaria, muy cerca de una de las principales arterias de la ciudad en la que se sitúa una de las zonas comerciales más importantes de la misma. La circulación es normalmente densa en casi todas las franjas

horarias del día siendo muy densa en horas punta. Los edificios existentes son de altura media, superando en casos muy puntuales las 20 plantas. A unos doscientos cincuenta metros de distancia se encuentra la playa de Las Alcaravaneras, ubicada junto a la bocana de entrada del puerto marítimo de Las Palmas de Gran Canaria. El recinto portuario se encuentra al noreste de la estación y presenta una actividad importante: entrada y salida de buques, astilleros navales, talleres navales, carga y descarga de depósitos de combustibles, etc.

- Estaciones Jinámar, Pedro Lezcano, Jinámar III y Néstor Álamo.

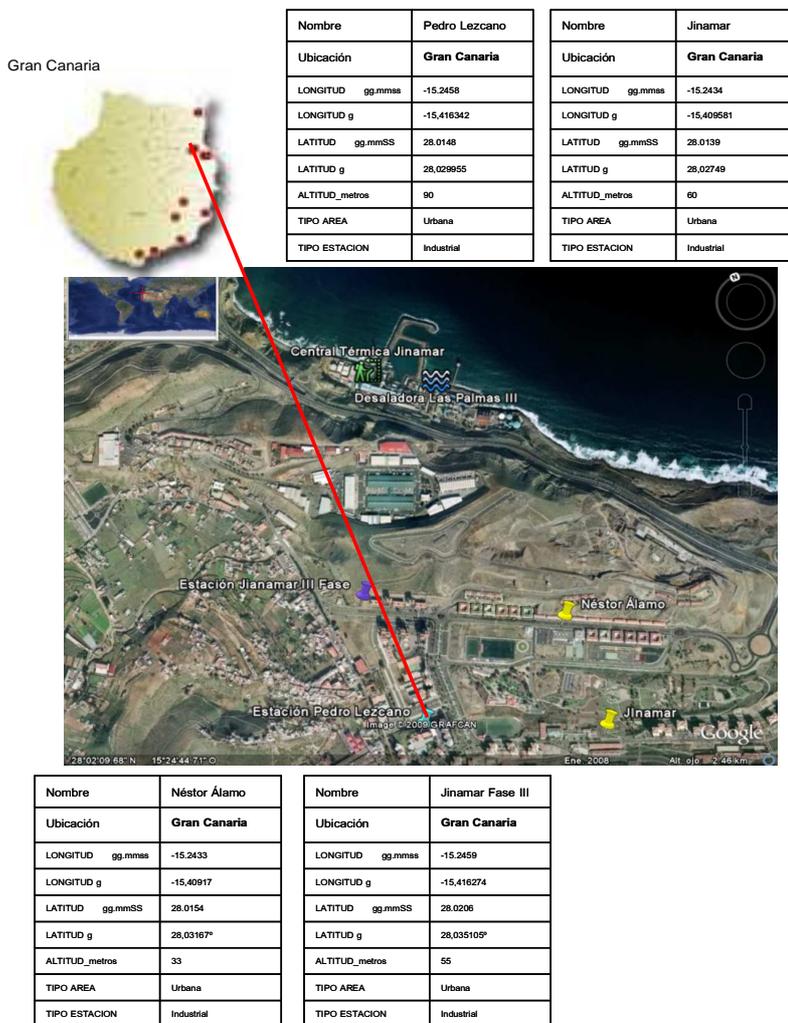


FIGURA 3.3.-SITUACIÓN ESTACIONES DE MEDIDA JINÁMAR, PEDRO LEZCANO, JINÁMAR III Y NÉSTOR ÁLAMO

Son de tipo industrial (debido a su cercanía con la central térmica de Jinámar y a la planta desaladora) y localización urbana. Las instalaciones de combustión de la zona tienen una potencia térmica superior a 50 MW; la central se encuentra situada al lado de una planta de desalación con la que mantiene vínculos operativos comunes; la producción de agua desalada es de unos 75.000 m³/día. Están situadas en el municipio de Telde.

La orografía del terreno hace que ambas industrias tengan algunas de sus chimeneas de evacuación a una altura apreciable; sus emisiones, debido a la presencia de un viento casi constante durante todo el año con una dirección determinada, se dispersan en una zona bastante amplia.

Las estaciones de medida se encuentran abiertas al mar. En sus cercanías se encuentran dos pequeñas urbanizaciones industriales y un núcleo poblacional cercano con alta densidad demográfica. Sobre las mismas inciden también las emisiones procedentes de la autovía GC-1 que separa la zona urbana-industrial del complejo central térmica-desaladora.

- Estación Arinaga

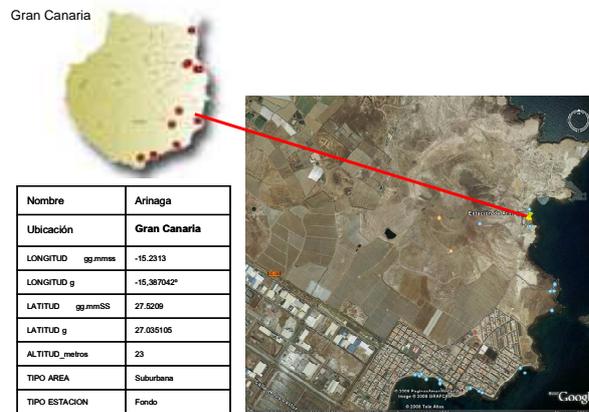


FIGURA 3.4.- SITUACIÓN ESTACIÓN DE MEDIDA ARINAGA

Estación de tipo suburbano de fondo, cercana al Polígono Industrial de Arinaga, municipio de Agüimes. Existe un núcleo de población relativamente cerca, conformado por edificios viviendas de baja altura. Lindado con esta población se encuentra el polígono industrial, con una superficie de 6 millones de metros cuadrados, distribuidos en dos áreas: industrial y residencial. Por sus dimensiones, es el más importante de Canarias y uno de los mayores de España. Con una topografía prácticamente llana, se desarrolla desde el litoral costero hasta las primeras estribaciones montañosas. Su longitud alcanza 8 km y su anchura ronda los 2 km. Cuenta con importantes comunicaciones (puerto marítimo propio y accesos directos a la autopista GC-1).

- Estación Agüimes

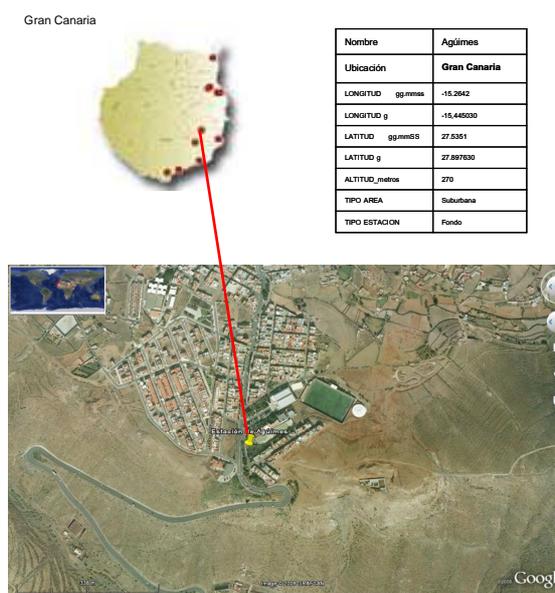


FIGURA 3.5.- SITUACIÓN ESTACIÓN DE MEDIDA AGÜIMES

Estación de medida de tipo suburbano de fondo. El municipio de Agüimes se encuentra situado en el sureste de Gran Canaria y tiene una superficie de 76 kilómetros cuadrados. La villa está dividida en tres zonas perfectamente definidas: la de pastos, la agrícola situada a 275 metros de altitud, con una población aproximada de 8000 habitantes y donde está situada la estación de medida, y la de costa.

- Estación Sardina

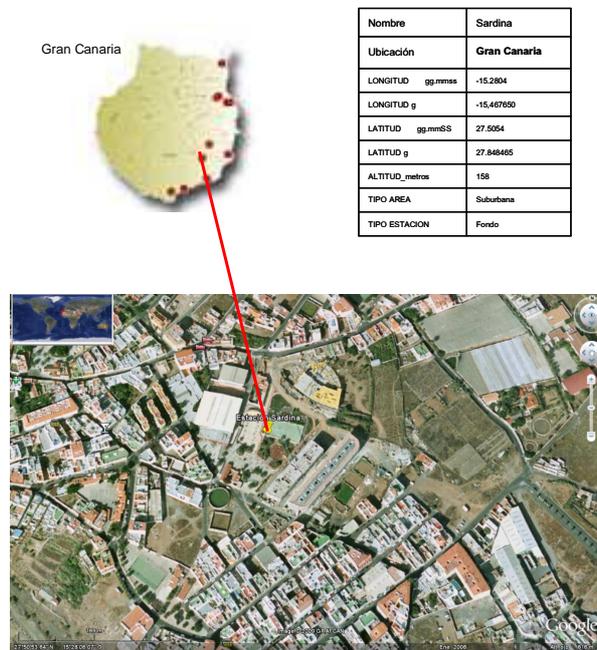


FIGURA 3.6.- SITUACIÓN ESTACIÓN DE MEDIDA SARDINA

Estación de medida suburbana de fondo, ubicada en Sardina del Sur, municipio de Santa Lucía de Tirajana. El municipio está dividido en dos zonas bien diferenciadas: la interior, donde se sitúa la capital del municipio, y la costera, donde se despliegan los tres núcleos principales: Vecindario, Sardina del Sur, donde está ubicada la estación de medida, y El Doctoral.

- Estación Castillo de Romeral

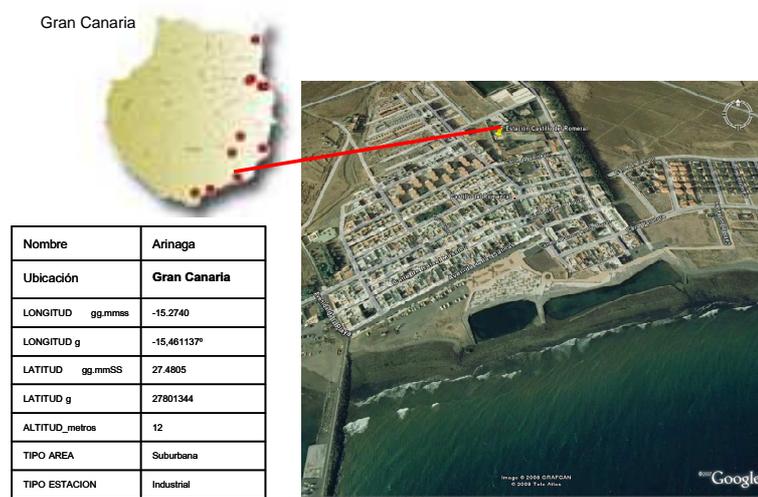


FIGURA 3.7.- SITUACIÓN ESTACIÓN DE MEDIDA CASTILLO DEL ROMERAL

Estación de tipo suburbano Industrial, ubicada en barrio denominado Castillo del Romeral, situado al sureste del municipio de San Bartolomé de Tirajana. Presenta una topografía plana casi a nivel del mar, y una población aproximada de 4.000 habitantes. Desde el punto de vista de las emisiones antropogénicas la característica más importante, es la cercanía de la central térmica fuel/gas Barranco de Tirajana, situada a unos dos kilómetros al norte.

- Estación de San Agustín

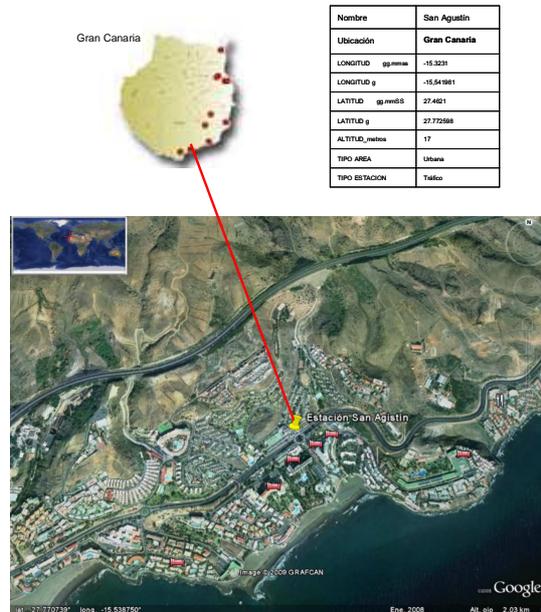


FIGURA 3.8.- SITUACIÓN ESTACIÓN DE MEDIDA SAN AGUSTÍN

Estación de medida de tráfico urbano, localizada en la playa de San Agustín, tercer núcleo turístico en importancia de Gran Canaria. Tiene una orografía acusada en la zona costera combinando zonas de acantilado con otras arenosas, que forman pequeñas calas y playas. La estación se encuentra ubicada en las cercanías de una carretera interurbana, abierta al mar y a poca distancia de la costa.

- Estación Playa del Inglés

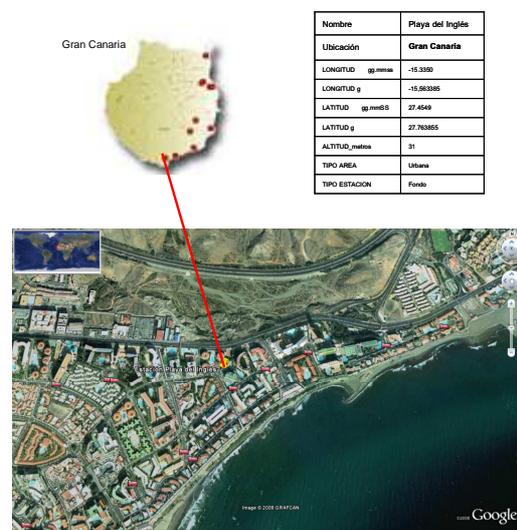


FIGURA 3.9.- ESTACIÓN DE MEDIDA PLAYA DEL INGLÉS

Estación de medida de fondo urbano, localizada en la Playa del Inglés, uno de los núcleos turísticos más importante de las islas. Presenta una orografía plana, abierta al mar, cerca de la costa e influencias del tráfico rodado.

- Estación Arrecife y Costa Teguisse

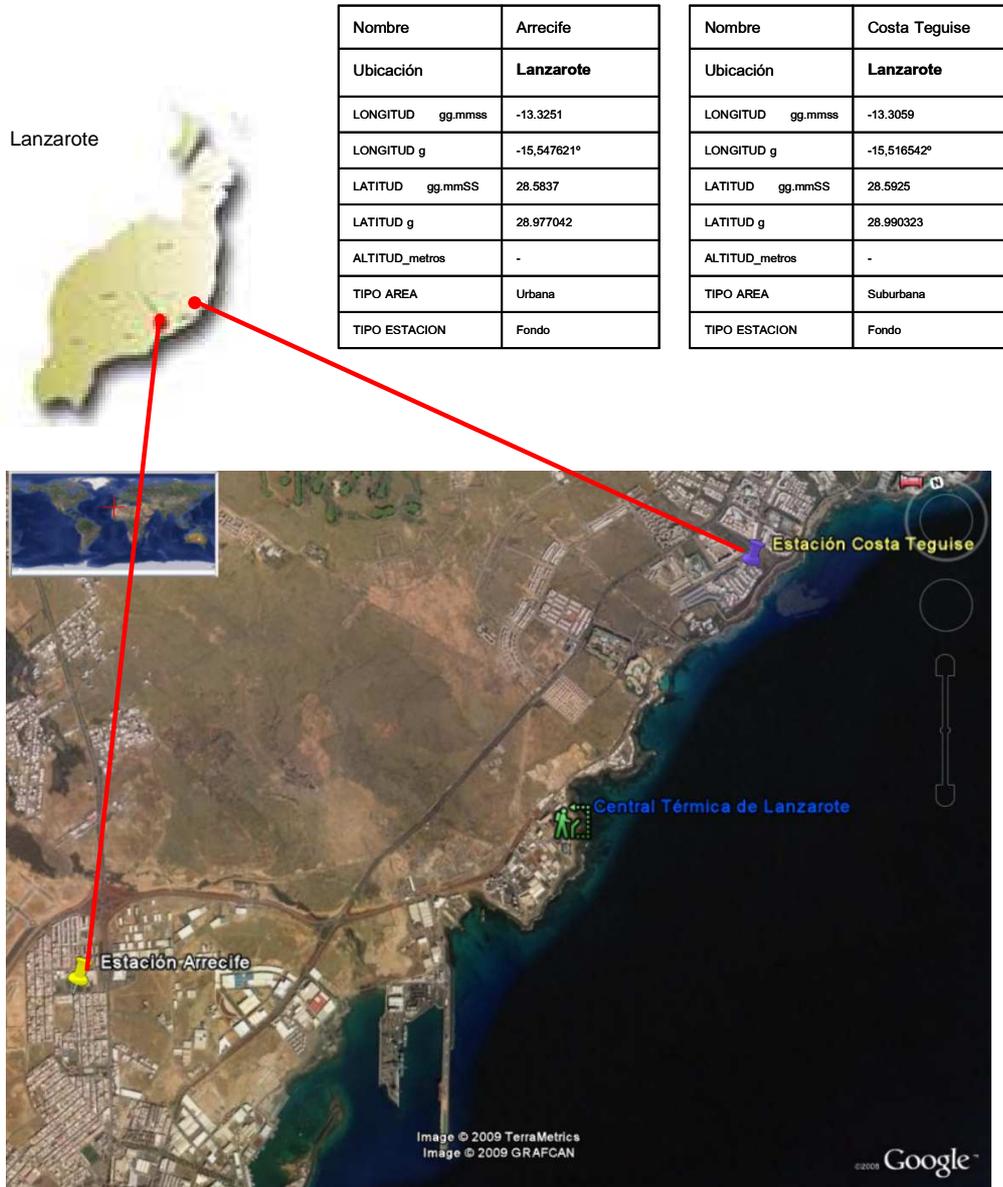


FIGURA 3.10.- SITUACIÓN ESTACIONES DE MEDIDA ARRECIFE Y COSTA TEGUISE

Estación de medida urbana de tráfico, en Arrecife de Lanzarote. Arrecife es la capital de la isla y el municipio de menor extensión, 22 km², aunque es el más poblado de Lanzarote, con 59.040 habitantes (2008). La orografía de Arrecife es escasamente pronunciada, apenas alterada por las laderas de una serie de montañas situadas al oeste del límite municipal. Al noreste se ubica la central térmica de Punta Gorda que abastece a la isla.

La estación de medida Costa Teguisse de tipo urbana de fondo, está situada en Costa Teguisse, municipio de Teguisse. Se encuentra situado al este de la isla de Lanzarote y es un municipio eminentemente turístico, con importantes complejos hoteleros.

- Estación Centro de Arte Juan Ismael y Parque de la Piedra



FIGURA 3.11.- SITUACIÓN ESTACIONES DE MEDIDA CENTRO DE ARTE JUAN ISMAEL Y PARQUE DE LA PIEDRA

Las estaciones de medida Centro de Arte Juan Ismael y Parque de la Piedra han sido clasificadas de fondo urbano y están localizadas en la capital de Fuerteventura (Puerto del Rosario). Se encuentran influenciadas por la central térmica que abastece a la isla y que se halla situada al noreste de las estaciones de medida. La orografía de Puerto del Rosario no presenta accidentes geográficos muy acusados, siendo esta bastante llana, con una pequeña pendiente hacia el centro de la Isla. El municipio de Puerto del Rosario tiene una superficie de 290 kilómetros cuadrado y una población de 35.300 habitantes aproximadamente.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PARTÍCULAS (PM₁₀)

4.2 ÓXIDOS DE NITRÓGENO

4.3 DIÓXIDO DE AZUFRE

4.4 OZONO

4.5 ANÁLISIS DE FACTORES

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PARTÍCULAS: PM₁₀

4.1.1 INTRODUCCIÓN

Debido a los efectos adversos del material particulado atmosférico sobre la salud, el clima y los ecosistemas, la medida de los niveles de partículas en la atmósfera es uno de los parámetros clásicos en el control de la calidad del aire.

En base a la Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, en este sentido es preciso evitar, prevenir o reducir las emisiones de contaminantes de la atmósfera nocivos, y fijar los objetivos oportunos aplicables al aire ambiente, teniendo en cuenta las normas, las directrices y los programas correspondientes a la Organización Mundial de la Salud.

Para el material particulado PM₁₀ (definido como la masa de partículas que pasan a través de un cabezal de tamaño selectivo para un diámetro aerodinámico de 10 µm con una eficiencia de corte del 50%), cuya procedencia puede ser tanto natural como antropogénica, la Directiva considera que, a la hora de evaluar el cumplimiento de los valores límite de calidad del aire, las contribuciones por fuentes naturales podrán sustraerse del cómputo total.

Es por ello por lo que se presenta la posible contribución debido a la intrusión de polvo africano a éste parámetro.

4.1.2 NIVELES DE PARTÍCULAS

Se ha realizado un completo estudio estadístico de las 15 estaciones, durante los años 2006 y 2007.

Las medias diarias, que han permitido determinar los estadísticos anuales que se muestran en las tablas 4.1.1 y 4.1.2, se obtuvieron a partir de los datos horarios suministrados por las estaciones de medida, obteniéndose en la mayoría de ellas un porcentaje de datos válidos superior al 90%, como requiere la directiva europea (Directiva 2008/50).

Hay que indicar, sin embargo, que la estación de Costa Teguse, presenta, en el año 2007, un número de datos significativamente bajo, solamente 250 días. La estación Néstor Álamo, en el año 2006, presenta 260 días y en el año 2007, solamente 173 (el registro más bajo de todas las estaciones). Esta escasez de datos ha obligado a no hacerla partícipe del estudio relativo a 2007 en lo que se refiere a PM₁₀. El hecho de que no aparezcan reflejados en la Tabla 4.1 los estadísticos correspondientes a las estaciones de Fuerteventura y Lanzarote se debe a que en 2006 estas no se encontraban en funcionamiento.

Observando los datos reflejados en estas tablas puede indicarse que en el año 2006, la media aritmética estuvo comprendida entre los 21,8 µg/m³ de la estación de Agüimes y los

34,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de las estaciones Pedro Lezcano y Mercado Central, siendo 29,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ la relativa al total de estaciones de la isla. Este valor medio registrado en 2006 cae un 11 % en el año 2007, pasando a ser de 25,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con una variabilidad en las concentraciones mucho menor (75 % en 2007 frente al 104,2 % de 2006). Posiblemente esa caída sufrida por las concentraciones en 2007 sea bastante menor, como puede deducirse de un análisis más detallado de las tablas. Efectivamente, ésta disminución del 11% se encuentra fuertemente afectada por el gran descenso (46,5%) experimentado por las medias aritméticas de PM_{10} en la estación Pedro Lezcano; este descenso no es comparable con el obtenido en las otras estaciones de la zona (Jinámar, Jinámar III y Néstor Álamo de 26 %, 17 % y 22 % respectivamente) e incluso con el experimentado por las otras estaciones de la isla en las que se produjo una disminución: Mercado Central, Agüimes, Arinaga y Castillo del Romeral. Si obviáramos los datos de esta estación a la hora de determinar el descenso medio registrado, podría observarse que éste ha sido solo de un 7 % (medias aritméticas: 28,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2007 y 26,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2006).

En lo que se refiere a la menor variabilidad experimentada por las concentraciones en todas las estaciones durante 2007, posiblemente se deba a una menor influencia de las emisiones de fuentes naturales. Es destacable el hecho de que todas las estaciones, a excepción de Mercado Central y Costa Teguisse (Lanzarote), presenten coeficientes de variación entre el 70 y el 80 %. La mayor variabilidad encontrada en Costa Teguisse (118,6 %) se puede deber a fenómenos de resuspensión local y la menor variabilidad presentada por Mercado Central (49,9 %) a la menor influencia de episodios naturales en ese año.

En las tablas que se están comentando, tabla 4.1.1 y tabla 4.1.2 también se muestran (junto a los estadísticos descriptivos), las estaciones de medida clasificadas de acuerdo con su situación (tipo de estación) y con las emisiones principales que la afectan (área). Para realizar esta clasificación se ha partido de la dispuesta por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial del Gobierno de Canarias y se ha adaptado atendiendo a sus características, para que el estudio se pueda realizar de una manera más clara y sencilla. La clasificación adoptada es la siguiente:

ESTACIONES URBANAS: Mercado Central, San Agustín y Arrecife. Presentan las medias más altas, en torno a 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Focos importantes de tipo antropogénico: tráfico, puerto de Las Palmas de Gran Canaria (en el caso de Mercado Central) y centrales termoeléctricas.

La estación Mercado Central, está ubicada en Las Palmas de Gran Canaria, la mayor ciudad del Archipiélago Canario (370.000 habitantes). Las emisiones son de origen claramente antropogénico debido al tráfico y marcadas por la influencia del puerto marítimo de Las Palmas de Gran Canaria; debido a ello, ésta estación podría tener, en algunos períodos, un fondo industrial (Viana, 2003). En el año 2006 presenta la mayor media de todas las estaciones. En 2007, solamente es superada, por las estaciones de San Agustín, Arrecife y Costa Teguisse. Ello es debido, principalmente, tal como se verá más adelante a las intrusiones de polvo africanas; así en Gran Canaria, la estación de San Agustín al estar emplazada en el sur de la isla se ve afectada en mayor medida que la de Mercado Central, ubicada en el noreste.

La estación de Arrecife, en Lanzarote, está fuertemente influenciada por el polvo africano y bajo la influencia de la central termoeléctrica, emplazada al norte de la capital.

ESTACIONES INDUSTRIALES: Son: Pedro Lezcano, Néstor Álamo, Jinámar, Jinámar III y Castillo del Romeral. Niveles de partículas elevados en el año 2006, sobre los 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En el año 2007, se reducen los niveles de manera importante. Su principal característica es que se

encuentran influenciadas por las emisiones generadas en polígonos industriales y centrales termoeléctricas.

ESTACIONES DE FONDO URBANAS: Este grupo está constituido por las estaciones de Agüimes, Sardina, Arinaga, Playa del Inglés, Centro Juan Ismael, Parque de la Piedra, y Costa Tegui. Son las estaciones que presentan los valores medios más dispares entre ellas: entre 22 y 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tienen como característica común la ausencia o escasa importancia, en las cercanías, de fuentes emisoras antropogénicas, encontrándose sometidas en mayor medida a la influencia directa de las emisiones de polvo africano (sobre todo la de Costa Tegui, ubicada en la costa este de Lanzarote).

En la figura 4.1.1, se presentan los valores medios aritméticos máximos y mínimos de PM₁₀, según la clasificación propuesta anteriormente, en el período considerado.

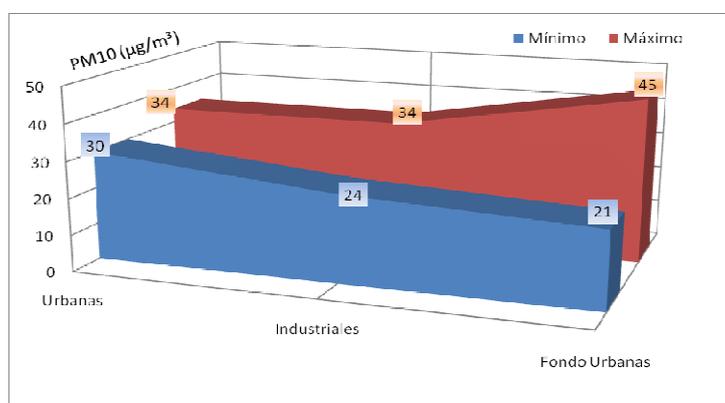


FIGURA 4.1.1.- RANGO DE NIVELES MEDIOS ANUALES DE PM₁₀ (PROVINCIA DE LAS PALMAS 2006-2007)

4.1.3 AJUSTES DE DISTRIBUCIÓN

Una vez conocidos los niveles medios diarios de concentraciones de PM₁₀, se realiza un análisis de frecuencia de los mismos en las estaciones más significativas, para el período en estudio (2006-2007). La realización de tal análisis implica conocer la ley de distribución a la que se ajustan los datos.

La aplicación de leyes de distribución a contaminantes ha sido empleada por diversos autores (Berger et al., 1982; Lu et al., 2002, 2003; Zoran M. et al., 2009) utilizando diferentes leyes: lognormal, Pearson, Weibull, etc.

A priori, no hay ninguna razón para esperar que las concentraciones de los contaminantes atmosféricos se ajusten a una distribución estadística específica, pero existen un determinado número de funciones de densidad de probabilidad que han demostrado su utilidad en la representación de datos de calidad del aire.

En la tabla 4.1.3, se muestran las funciones de densidad de probabilidad más ampliamente usadas para representar las concentraciones indicándose, además, cuál es su uso más habitual.

TABLA 4.1.1.- VALORES ESTADÍSTICOS MEDIOS DIARIOS DE PM₁₀, CORRESPONDIENTES AL AÑO 2006 (ISLA DE GRAN CANARIA)

ESTACIÓN	TIPO ESTACIÓN TIPO ÁREA	AÑO 2006									
		Número Datos	Media Aritmética $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media Geométrica $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desviación Estándar $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Coficiente Variación %	Mín. horario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Máx. horario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Rango Intercuartil	Percentil 10 %	Percentil 90 %
Mercado Central	Tráfico Urbana	8644	34,0	30,3	26,0	96,7	5,0	636,0	16,0	17,0	47,0
Pedro Lezcano	Industrial Urbana	8014	34,0	26,3	30,2	88,8	5,0	436,6	23,3	9,0	57,7
Jinámar	Industrial Urbana	8453	33,2	27,9	27,8	83,5	5,0	476,1	17,9	14,1	53,2
Jinámar III	Industrial Urbana	8517	32,3	23,8	36,1	111,9	5,0	487,4	22,3	9,0	56,3
Néstor Álamo	Industrial Urbana	6205	30,0	24,5	27,1	90,2	5,0	406,0	15,0	13,0	51,0
Agüimes	Fondo Urbana	8673	21,8	16,5	27,7	127,2	5,0	462,2	13,1	7,5	36,0
Sardina	Fondo Urbana	8682	24,0	18,5	26,7	111,3	5,0	467,2	21,9	8,2	41,4
Arinaga	Fondo Urbana	8590	26,6	20,5	29,7	111,6	5,0	489,7	17,9	7,6	54,3
Castillo del Romeral	Industrial Urbana	8664	28,8	20,8	33,3	115,7	5,0	491,2	17,7	12,8	45,3
San Agustín	Tráfico Urbana	8677	31,9	24,6	33,5	105,1	5,0	486,9	21,0	10,6	70,4
Playa del Inglés	Fondo Urbana	8643	24,1	18,0	25,1	104,1	5,0	383,1	17,8	6,7	45,2

TABLA 4.1.2.- VALORES ESTADÍSTICOS MEDIOS DIARIOS DE PM₁₀, CORRESPONDIENTES AL AÑO 2007 (PROVINCIA DE LAS PALMAS)

ESTACIÓN	TIPO ESTACIÓN TIPO ÁREA	AÑO 2007									
		Número Datos	Media Aritmética µg/m ³	Media Geométrica µg/m ³	Desviación Estándar µg/m ³	Coficiente Variación %	Mín. horario µg/m ³	Máx. horario µg/m ³	Rango Intercuartil	Percentil 10 %	Percentil 90 %
Mercado Central	Tráfico Urbana	8622	30,7	27,8	15,3	49,9	3,0	305,0	15,0	17,0	46,0
Pedro Lezcano	Industrial Urbana	8018	18,2	15,2	13,1	71,7	5,0	194,9	11,4	7,0	30,3
Jinámar	Industrial Urbana	8361	24,5	19,9	17,7	72,4	5,0	289,1	15,6	8,1	43,3
Jinámar III	Industrial Urbana	8252	26,8	21,4	20,8	77,5	5,0	321,8	18,4	8,9	49,3
Néstor Álamo	Industrial Urbana	4091	23,0	20,3	18,8	81,6	5,0	500,0	11,0	11,0	35,0
Agüimes	Fondo Urbana	8468	19,2	16,0	14,1	73,7	5,0	198,2	12,1	7,7	33,0
Sardina	Fondo Urbana	8523	30,4	24,5	24,4	80,4	5,0	493,5	21,2	10,9	54,2
Arinaga	Fondo Urbana	8409	23,3	19,3	18,4	78,9	5,0	496,9	15,4	8,7	39,7
Castillo del Romeral	Industrial Urbana	8521	28,8	22,5	23,2	80,5	5,0	311,7	22,1	8,9	55,8
San Agustín	Tráfico Urbana	8352	32,7	27,1	26,6	81,3	5,0	465,9	20,9	13,0	54,8
Playa del Inglés	Fondo Urbana	8499	26,5	21,3	20,3	76,8	5,0	325,5	20,1	8,8	47,5
Centro Juan Ismael	Fondo Urbana	7546	32,5	25,6	24,2	74,4	5,0	307,5	25,0	9,5	59,0
Parque de la Piedra	Fondo Urbana	7424	27,6	23,3	17,2	62,2	5,0	306,0	18,5	10,5	46,5
Arrecife	Tráfico Urbana	7792	33,2	27,8	22,8	68,5	5,0	341,4	22,2	12,7	57,7
Costa Teguiise	Fondo Urbana	5539	45,7	28,6	54,0	118,6	5,0	438,9	36,3	9,6	112,7

TABLA 4.1.3.- FUNCIONES DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD

Distribución	Función Densidad de Probabilidad
LogNormal <u>Uso Común:</u> usada para datos donde los logaritmos siguen una distribución normal. Rango de x: $x > 0$	$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4.1.1)$ Parámetros: $x \rightarrow$ concentración del contaminante $\mu \rightarrow$ localización $\sigma \rightarrow$ escala
LogNormal (3 parámetros) <u>Uso Común:</u> usada para datos donde los logaritmos siguen una distribución normal después de restar un valor umbral. Rango de x: $x > 0$	$f(x) = \frac{1}{(x - \theta)\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(\ln(x - \theta) - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4.1.2)$ Parámetros: $x \rightarrow$ concentración del contaminante $\mu \rightarrow$ localización; $\sigma \rightarrow$ escala; $\theta \rightarrow$ umbral
Weibull Uso Común: ampliamente usada en análisis de confiabilidad para modelar tiempo de falla de productos. Distribuciones de viento. Rango de x: $x \geq 0$	$f(x) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-(x/\beta)^\alpha} \quad (4.1.3)$ Parámetros: $\alpha \rightarrow$ forma; $\beta \rightarrow$ escala
Gamma <u>Uso Común:</u> modelo para medidas sesgadas positivamente. Rango de x: $x \geq 0$	$f(x) = \frac{\lambda^\alpha x^{\alpha-1} e^{-\lambda x}}{\Gamma(\alpha)} \quad (4.1.4)$ Parámetros: $\alpha \rightarrow$ forma; $\lambda \rightarrow$ escala
Gaussiana Inversa <u>Uso Común:</u> tiempo de la primera travesía en el movimiento Browniano. Rango de x: $x \geq 0$	$f(x) = \frac{1}{x} \frac{\sqrt{\beta}}{\exp(z/2)} \phi \left[\sqrt{\beta} \left(\frac{e^z - 1}{e^{z/2}} \right) \right] \quad (4.1.5)$ $z = \ln(x/\theta)$ Parámetros: $\theta \rightarrow$ media; $\beta \rightarrow$ escala

En el presente trabajo, se han aplicado a los datos registrados diferentes funciones de densidad de probabilidad, encontrándose que las que mejor se ajustan a los mismos son la loglogística y la lognormal de 2 ó 3 parámetros.

El cálculo de los parámetros, de las diferentes funciones de densidad de probabilidad, se ha realizado aplicando el método de la máxima probabilidad, también llamado estimación de máxima verosimilitud.

Una vez realizada la hipótesis de que los datos se ajustan a una distribución concreta, se debe decidir si ésta se encuentra apoyada por la evidencia experimental obtenida a través de una muestra aleatoria. La decisión acerca de si los datos muestrales apoyan estadísticamente la afirmación hecha, se toma en base a la probabilidad y, si ésta es mínima, se rechaza.

Se denomina hipótesis nula H_0 , a aquella que se supone que se va a cumplir, en éste caso que los datos experimentales siguen una ley de distribución concreta. Por tanto, una hipótesis nula debe considerarse como verdadera a menos que exista suficiente evidencia en contra. El rechazo de la hipótesis H_0 , cuando en realidad H_0 es cierta, constituye lo que se denomina error tipo I. La probabilidad de rechazar H_0 , siendo ésta cierta, se define como la probabilidad (o tamaño) del error tipo I y se denota por α ($0 \leq \alpha \leq 1$).

Para decidir cuándo un conjunto de datos se apega a una distribución de probabilidad dada se emplean las pruebas de bondad-ajuste. Estas pruebas, comparan los resultados de una muestra aleatoria con aquéllos que se espera observar si la hipótesis nula fuese correcta. La comparación se hace clasificando los datos observados en cierto número de categorías, para

seguidamente comparar las frecuencias observadas con las esperadas para cada una de estas categorías. Para un tamaño específico del error tipo I, la hipótesis nula es rechazada si existe una diferencia suficiente entre las frecuencias observadas y las esperadas. Una prueba bondad-ajuste no debe usarse por sí misma para aceptar la afirmación de la hipótesis nula. La decisión consiste en no rechazar H_0 (más que aceptar) si la diferencia que existe entre las frecuencias observadas y esperadas es, en forma relativa, pequeña.

Las pruebas de bondad-ajuste más utilizadas son la chi-cuadrada y la de Kolmogorov-Smirnov.

Prueba chi-cuadrada

Esta prueba divide el rango de la variable (x) en k intervalos aplicando la expresión:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(N_i - np_i)^2}{np_i} \quad (4.1.6)$$

que es comparada a una distribución chi-cuadrada con $k-1$ grados de libertad, si n tiene un valor suficientemente grande. En la ecuación anterior N_i es la frecuencia observada en la i -ésima clase, y np_i es la frecuencia correspondiente que se espera bajo la hipótesis nula. Por tanto, la estadística es la suma sobre todas las k clases de los cocientes de los cuadrados de las diferencias entre las frecuencias observadas y esperada, y la frecuencia esperada.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

Consiste en realizar una comparación entre las funciones de distribución acumulativa que se observan en la muestra de datos ordenados y la distribución propuesta bajo la hipótesis nula. Si esta comparación revela una diferencia suficientemente grande entre las funciones de distribución muestral y propuesta, entonces la hipótesis nula de que la distribución es $F_0(x)$ se rechaza.

La estadística de Kolmogorov-Smirnov se define como:

$$D_n = \max |F(x) - F_0(x)| \quad (4.1.7)$$

Donde los valores de la frecuencia relativa acumulada, $F(x)$ están deducidos directamente del conjunto de datos y $F_0(x)$ de la función acumulativa que estamos suponiendo en la hipótesis.

La estadística D_n presenta una distribución independiente del modelo propuesto bajo la hipótesis nula, por esta razón, se dice que D_n es una estadística independiente de la distribución. Para un tamaño α del error tipo I, se podrá rechazar o asumir como válida la hipotética función de distribución $F_0(x)$. En la práctica, la forma de realizar esta prueba de bondad-ajuste consiste en determinar D_n y compararlo con el valor de $D_{crítico}$ que viene definido en tablas para el número de datos que se disponga (n) y el nivel de significación (α) fijado. Cuando el nivel de significación es superior al 5 % ($\alpha=0,05$), no se podrá rechazar que los datos experimentales se adaptan a la función de distribución propuesta con un 95 % de confianza.

La estadística de Kolmogorov-Smirnov es, en general, superior a la prueba de bondad ajuste chi-cuadrada cuando los datos involucran una variable aleatoria continua (debido a que no es necesario agrupar los datos), además de ser aplicable a muestras de tamaño pequeño.

Debido a lo anteriormente expuesto, se ha elegido la prueba Kolmogorov-Smirnov como prueba de bondad-ajuste.

4.1.3.1 ANÁLISIS DE LAS DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIA

Una vez realizado el análisis de distribución de frecuencias para todas las estaciones disponibles de la provincia de Las Palmas, los resultados obtenidos aparecen reflejados en la tabla 4.1.4. En ella puede observarse como la distribución loglogística de 3 parámetros es la que mejor ajusta las concentraciones en la mayoría de las estaciones de Gran Canaria (concretamente en el 75% de estas), siendo la lognormal de 3 parámetros la más apropiada para predecir el comportamiento en la otras 2 estaciones de la isla.

En Lanzarote y Fuerteventura, en cambio, las funciones de distribución que ajustan los datos se encuentran con menos frecuencia en la bibliografía; sobre todo las correspondientes a las dos estaciones situadas en Fuerteventura (gaussiana inversa), que difieren de las de Lanzarote cuya distribución *gamma* es un reflejo del sesgo positivo que presentan las concentraciones en las dos estaciones de esa isla.

TABLA 4.1.4.- FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN Y PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LAS ESTACIONES DE MEDIDA (PERÍODO 2006-2007)

Estación	Función de Distribución			Pueba bondad ajuste Kolmogorov-Smirnov	
	Mediana	Forma	Umbral	D _n	Nivel de Significación
	Loglogística (3 parámetros)				
San Agustín	17,0	0,47	7,9	0,035	0,7613
Mercado Central	17,7	0,32	10,7	0,029	0,5879
Jinámar III	18,2	0,33	6,58	0,022	0,8914
Playa del Inglés	15,1	0,37	6,34	0,027	0,6780
Agüimes	10,2	0,43	6,16	0,023	0,8545
Arinaga	14,1	0,37	6,77	0,022	0,8795
Jinámar	23,5	0,28	1,62	0,017	0,9835
Pedro Lezcano	23,9	0,21	0,21	0,040	0,6310
Néstor Álamo	14,50	0,39	8,21	0,037	0,5973
	Lognormal (3 parámetros)				
	Media	Desviación Estándar	Umbral		
Castillo del Romeral	28,7	17,5	6,60	0,023	0,8386
Sardina	27,0	16,1	7,73	0,024	0,8123
	Gamma 3 parámetros				
	Forma	Escala	Umbral		
Centro Juan Ismael	4,50	0,134	0,113	0,038	0,7265
Arrecife	2,18	0,091	9,64	0,055	0,2402
	Gaussiana Inversa				
	Media	Escala			
Parque de la Piedra	27,93	5,76		0,0347	0,7546
Costa Teguisse	45,72	2,47		0,0443	0,6984

Seguidamente se expone el procedimiento empleado en la determinación de las funciones de distribución, utilizando para ello los datos registrados en las estaciones más características. Se empezará por la estación San Agustín (Gran Canaria), que presenta el mayor número de excedencias diarias ($\geq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), y que se encuentra clasificada como de tipo urbano. Posteriormente, se expondrán los resultados obtenidos para las estaciones de Jinámar III (industrial), Playa del Inglés (fondo urbana), Parque de la Piedra en Fuerteventura y Costa Teguisse en Lanzarote.

De acuerdo con lo comentado se comenzará con la primera de las estaciones citadas. Se ha realizado una comparación de funciones (tabla 4.1.5), en orden descendente, de acuerdo con los resultados obtenidos al utilizar la prueba de bondad ajuste de Kolmogorov-Smirnov; tal

como puede verse en dicha tabla, la que presenta un menor valor de D_n es la log-logística de 3 parámetros. Los resultados correspondientes a la prueba realizada se muestran en la misma tabla.

TABLA 4.1.5.- COMPARACIÓN DE FUNCIONES DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD PARA LA ESTACIÓN SAN AGUSTÍN

Distribución	Parámetros Estadísticos	Kolmogorov-Smirnov D_n
Loglogística (3-Parámetros)	3	0,03504
Lognormal (3-Parámetros)	3	0,0442703
Loglogística	2	0,0525213
Lognormal	2	0,0679726
Gaussiana Inversa	2	0,0792502
Exponencial (2 Parámetros)	2	0,115292
Birnbaum-Saunders	2	0,0876096
Valor Extremo Más Grande	2	0,107998
Gamma	2	0,113032
Weibull	2	0,138116
Laplace	2	0,171247
Logística	2	0,144003
Normal	2	0,202677
Uniforme	2	0,736866
Pareto	1	0,493613

TABLA 4.1.6.- PRUEBA DE BONDAD AJUSTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV ESTACIÓN SAN AGUSTÍN

	Loglogística (3-Parámetros)
D_{mas}	0,03504
D_{menos}	0,0338295
D_n	0,03504
Nivel de significación	0,761322

Al presentar dicha función de distribución un nivel de significación (0,76) superior a 0,05 (5 %), no se puede rechazar la hipótesis nula de que la PM₁₀ media diaria de la estación San Agustín provenga de una distribución loglogística de 3 parámetros con un 95 % de confianza.

La figura 4.1.2, muestra el histograma de frecuencia de la media diaria de PM₁₀ en el período 2006-2007, junto al desarrollo gráfico de esta función loglogística de 3 parámetros.

Histograma PM10 Media Diaria

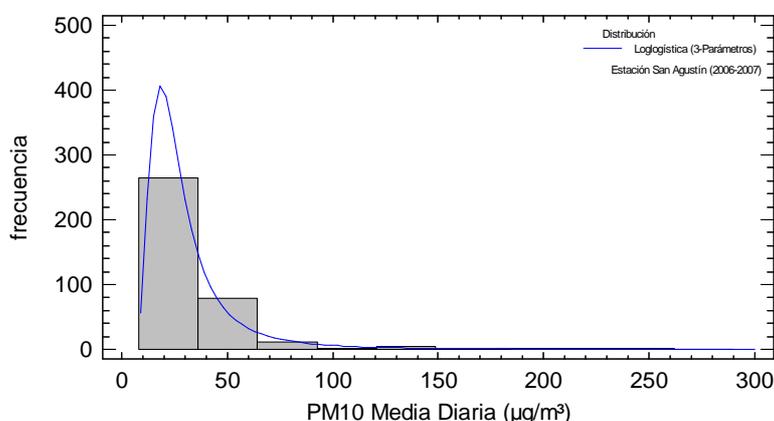


FIGURA 4.1.2.- HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DE PM₁₀ ESTACIÓN SAN AGUSTÍN (2006-2007)

El gráfico cuantil-cuantil correspondiente a esta distribución (figura 4.1.3), que permite comparar el conjunto de datos experimentales con los correspondientes a la distribución teórica, es bastante lineal indicando con ello que dicha distribución constituye un buen modelo para el conjunto de datos experimentales.

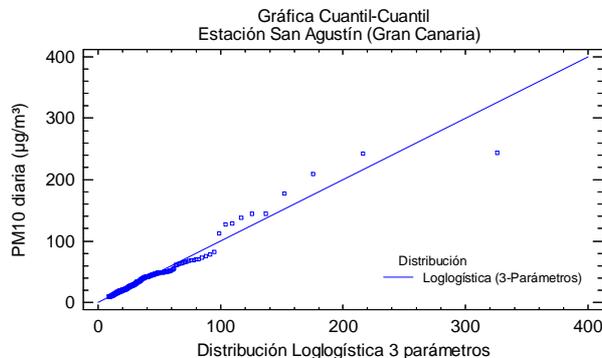


FIGURA 4.1.3.- GRÁFICO CUANTIL-CUANTIL ESTACIÓN SAN AGUSTÍN (GRAN CANARIA)

Una vez calculada la función densidad de probabilidad que mejor ajusta a los datos experimentales, mediante la función de frecuencia acumulada complementaria (figura 4.1.14) se puede calcular el número teórico de días en que el valor de la PM_{10} será $\geq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

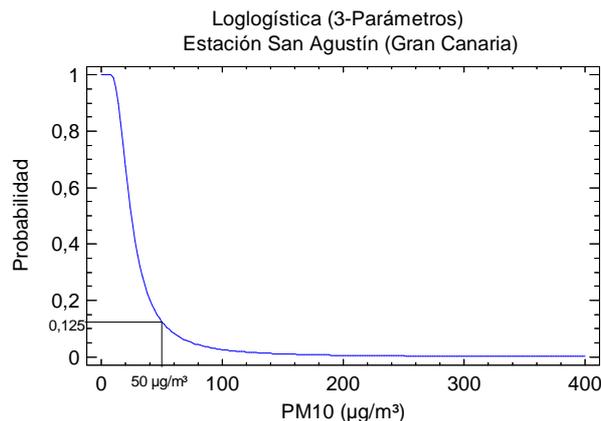


FIGURA 4.1.4.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA ACUMULADA COMPLEMENTARIA PARA VALORES DE PM_{10} MAYOR QUE

Según se observa en la Figura 4.1.4, la probabilidad de que aparezca un valor de $PM_{10} \geq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ es de 0,125. Por tanto, el número de días en el período 2006-2007 que superarían dicho valor sería: $2 \times 0,125 \times 365 = 91,3$ días. Según los resultados experimentales, la estación San Agustín superó el valor de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 76 días, en dicho período (un 17 % por debajo del dato previsto).

Analizando más detenidamente la figura 4.1.3, puede verse que los valores más elevados de PM_{10} , no se ajustan tan bien a la función de densidad de distribución como los más bajos. Ello ha llevado a algunos autores (Berger et al., 1982; Lu et al., 2002, 2003; Mijic et al., 2009) a plantear el ajuste de los valores más elevados a otra función de distribución, siendo la elegida la función exponencial de dos parámetros; aunque debe comentarse que este ajuste llevado a cabo por los anteriores autores se refiere, en todos los casos, a estaciones urbanas con tráfico intenso y referido a un período de 5 años. En esta tesis, se ha considerado oportuno aplicar dicho ajuste, a la estación San Agustín por ser la que presenta mayor número de datos de este tipo.

La derivada de una distribución exponencial de dos parámetros procedente de la teoría del valor extremo, representa la distribución de frecuencia acumulada de altas concentraciones sobre un percentil específico.

$$F_L = 1 - e^{-y_n} \quad (4.1.8)$$

$$y_n = \lambda(x - \theta) \quad (4.19)$$

Siendo los parámetros: λ escala y θ umbral.

El período de retorno, definido como el número medio de observaciones entre excedencias de una concentración crítica, x_c , puede calcularse con la siguiente expresión:

$$R(x_c) = \frac{1}{(1-f)(1-F_L(x_c))} \quad (4.1.10)$$

siendo f el percentil escogido.

Una vez determinado el período de retorno, se puede determinar el número de días al año en que se van a producir excedencias.

Lo que debe tenerse en cuenta a la hora de elegir un percentil específico es que el valor escogido de PM₁₀ se encuentre dentro de dicho percentil. De acuerdo con la Directiva Europea 2008/50/CE aquí se ha elegido el valor de 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

En el caso de la estación de San Agustín (Gran Canaria), a la hora de calcular el número de días de excedencias de PM₁₀ $\geq 75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el período 2006-2007, se ha elegido el percentil de 95 %.

Aplicando la función exponencial de dos parámetros se han encontrado los siguientes valores que la definen:

$$\lambda=0,0182 \text{ y } \theta=67,27$$

Utilizando la expresión correspondiente al periodo de retorno (4.1.10), se han obtenido para el mismo: 21 días, lo que da un número de excedencias por año de $(365/21)=17,4$ días lo que significaría 34,8 días para un periodo de 2 años.

Si se obtuviese, el número de días de excedencia empleando la gráfica de la figura 4.1.4, se encontraría que la probabilidad de que la PM₁₀ $\geq 75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ es de 0,05; luego en el período 2006-2007 sería de $2 \times 0,05 \times 365 = 36,5$ días. Los resultados obtenidos experimentalmente cifran en 27 los días en que se registraron estas altas concentraciones durante este período. Este hecho demuestra que las concentraciones elevadas se encuentran mejor ajustadas por una función exponencial de 2 parámetros.

En la figura 4.1.5 se muestra (utilizando una gráfica cuantil-cuantil) el ajuste de los datos experimentales a la función exponencial de dos parámetros, observándose que éste es bastante aceptable.

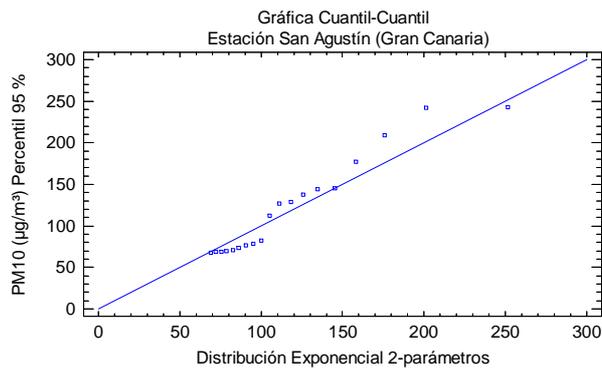


FIGURA 4.1.5.- GRÁFICA CUANTIL-CUANTIL PARA PM₁₀ PERCENTIL 95 % USANDO LA FUNCIÓN EXPONENCIAL DOS PARÁMETROS

Para comprobar la bondad de la distribución encontrada, se ha realizado un ajuste por mínimos cuadrados entre la F_L obtenida por los datos experimentales y la F_L teórica, calculada según la ecuación (4.1.8), obteniéndose un coeficiente de correlación $R^2=0,97$ (figura 4.1.6).

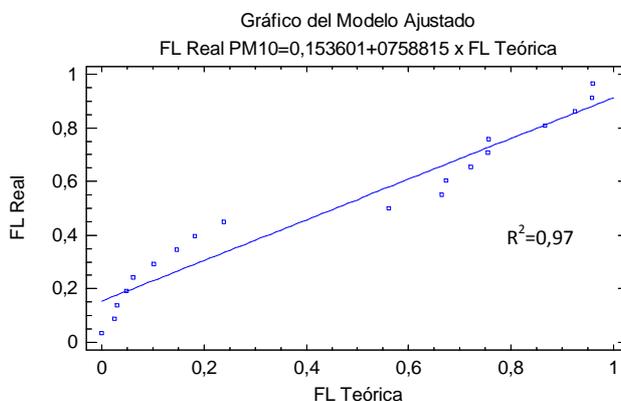


FIGURA 4.1.6.- REGRESIÓN LINEAL ENTRE F_L REAL Y F_L TEÓRICA PARA ALTAS CONCENTRACIONES DE PM₁₀ ESTACIÓN SAN AGUSTÍN

Por lo que respecta a las otras estaciones seleccionadas, puede decirse que la de de Jinámar III se ha elegido para representar los ambientes de tipo industrial; tal como se muestra en la figura 4.1.7, la gráfica cuantil-cuantil (correspondiente también a una distribución loglogística de 3 parámetros) ajusta bastante bien los datos reales.

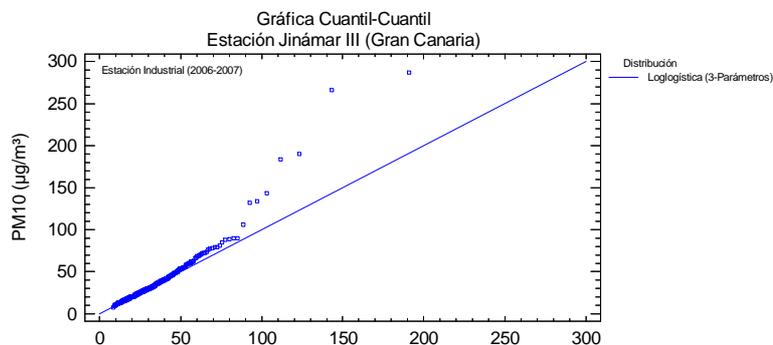


FIGURA 4.1.7.- FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ESTACIÓN INDUSTRIAL JINÁMAR III (2006-2007)

La estación de Playa del Inglés está emplazada en una zona turística e influenciada por el tráfico. Es la que mejor se ajusta a la ley de distribución loglogística de 3 parámetros (figura 4.1.9)

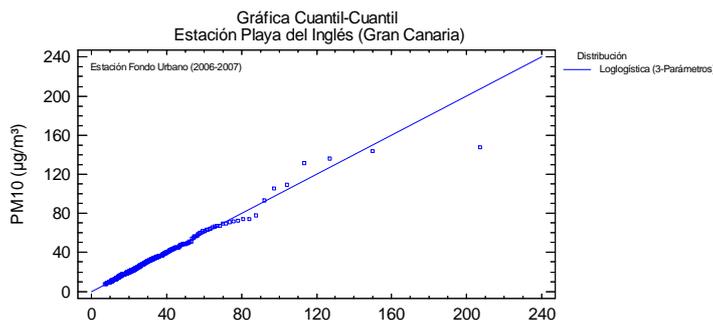


FIGURA 4.1.8.- FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ESTACIÓN FONDO URBANA PLAYA DEL INGLÉS (2006-2007)

Para las islas de Fuerteventura y Lanzarote, aunque sólo están disponibles datos de 2007, se ha realizado el estudio estadístico.

En Fuerteventura, se ha considerado la estación Parque de la Piedra. En la misma se obtiene una distribución igual que las de las estaciones anteriores, con la diferencia, de que los valores de las concentraciones más bajas y más altos, presentan mayor grado de seguimiento (figura 4.1.9).

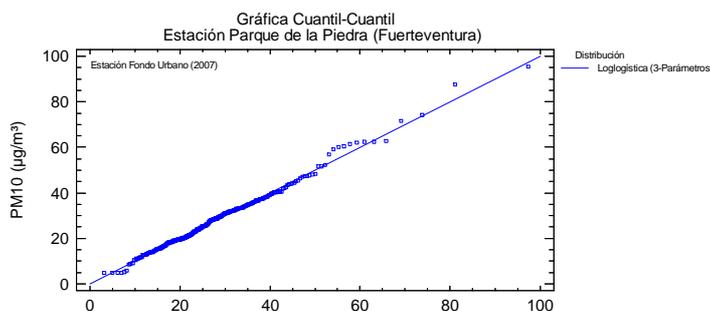


FIGURA 4.1.9.- FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ESTACIÓN PARQUE DE LA PIEDRA FUERTEVENTURA (2007)

En Lanzarote, se ha considerado la estación Costa Tegui, que presenta valores medios de PM₁₀ elevados. La curva de distribución que mejor se ajusta es la *gaussiana inversa*, cuyos parámetros característicos son: media y escala (figura 4.1.10).

En la tabla 4.1.4 se muestran, a modo de resumen, los parámetros característicos de las curvas de distribución que mejor se adaptan a los datos medios diarios de PM₁₀, obtenidos en las diferentes estaciones de medidas consideradas. Además, se ha realizado para cada categoría la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, obteniéndose que no se pueda rechazar la idea de que el valor medio diario de PM₁₀ proviene de una distribución loglogística de 3 parámetros con 95% de confianza. Lo mismo se puede decir para la distribución gaussiana inversa.

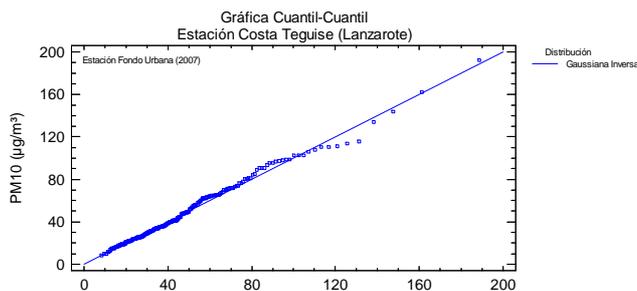


FIGURA 4.1.10.- FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ESTACIÓN COSTA TEGUISE LANZAROTE (2007)

4.1.4 COMPARACIÓN CON OTRAS CIUDADES ESPAÑOLAS

Con el propósito de disponer de una perspectiva general de la situación de la capital de la provincia, se ha procedido a comparar los datos de la estación urbana situada en Mercado Central con los registrados en estaciones urbanas (no industriales) de diferentes ciudades españolas, en 2006 (año para el que existen mayor número de datos validados en 2009). Tal como puede observarse en la tabla 4.1.8, nuestras concentraciones se encuentran en un término medio. Son bastante más bajas que las de ciudades como Sevilla, Lleida, Albacete, Córdoba o Santa Cruz de Tenerife, donde la presencia de industrias en sus alrededores parece afectar claramente a la calidad del aire ambiental, y parecidas a las registradas en ciudades costeras y eminentemente turísticas como Palma de Mallorca o Marbella. Otras ciudades españolas importantes como Bilbao o Madrid parecen disponer de concentraciones medias parecidas, aunque hay que reconocer que en ésta última ciudad el valor corresponde a una media de 7 estaciones, con concentraciones que oscilan entre 31 y 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Si se compararan con algunos registros europeos, podría verse que los niveles encontrados son similares a los de Londres y Marsella (Larrieu et al., 2007; Harrison et al., 2008)

En definitiva, los habitantes de la ciudad disfrutan de una atmósfera que, en términos de concentración de partículas atmosféricas, se encuentra situada en la zona media-baja de las de las provincias españolas, máxime teniendo en cuenta la población de la misma y la influencia que ejercen las masas de aire africano que, con regularidad, llegan a la isla.

4.1.4.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA

Habida cuenta de que existen algunos datos publicados sobre PM_{10} de algunas de las estaciones presentes en este estudio (Viana et al. 2002), se ha creído interesante compararlos con los registrados en esta tesis. En la tabla 4.1.7 se muestra dicha comparación.

TABLA 4.1.7.- VALORES MEDIOS DE PM_{10} EN ESTACIONES DE LA ISLA DE GRAN CANARIA EN DOS PERÍODOS DE ESTUDIO DIFERENTES

Estación	Viana et al. (2002) Período (1998-2000)	Tesis Período (2006-2007)
	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
Néstor Álamo	56	26,6
Sardina	28	27,1
Arinaga	28	25
Playa del Inglés	28	25,4

Se observa un descenso histórico de las concentraciones en todas las estaciones, aunque este es mínimo en Sardina y solo de un 9% en Arinaga y Playa del Inglés, denotando la influencia constante de los aerosoles naturales en esta parte de la isla.

No sucede lo mismo en la estación Néstor Álamo (de tipo industrial), donde la diferencia de valores en los períodos considerados es importante. Ya se ha comentado, la escasez de medidas que presenta dicha estación en el período 2006-2007.

TABLA 4.1.8.-CONCENTRACIONES MEDIAS ANUALES ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) DE PM₁₀ EN DIVERSAS CAPITALS ESPAÑOLAS EN EL AÑO 2006. (a): MEDIA DE TRES ESTACIONES; (b) MEDIA DE DOS ESTACIONES; (c) MEDIA DE 5 ESTACIONES; (d) MEDIA DE 7 ESTACIONES. ENTRE PARÉNTESIS VALORES MÍNIMO Y MÁXIMO EN CASO DE DISPONER DE VARIAS ESTACIONES DE MEDIDA.

Región	Ciudad	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Asturias	Oviedo	30,52
Andalucía	Jaén	46,65
Andalucía	Almería	25,53
Andalucía	Granada	38,50 ^a (35,2- 41,14)
Andalucía	Marbella	32,00
Andalucía	Córdoba	46,98 ^b (46,96-47,01)
Andalucía	Huelva	34,34 ^b (30,29-38,39)
Andalucía	Sevilla	48,53
Baleares	Palma de Mallorca	33,38
Castilla y León	Valladolid	37,4 ^c (34,57-41,55)
Castilla y León	Burgos	36,92 ^b (28,95-41,96)
Castilla y León	León	39,09
Castilla y León	Salamanca	27,14
Castilla y León	Segovia	20,66
Castilla y León	Zamora	37,10
Castilla y León	Palencia	34,42
Castilla y León	Ávila	27,05
Castilla y León	Soria	24,04
Cataluña	Lleida	48,39
Cantabria	Santander	32,56
Madrid	Madrid	37,13 ^d (31,05-47,80)
País Vasco	Bilbao	36,41
País Vasco	San Sebastián	26,43
Murcia	Murcia	15,04
Castilla la Mancha	Albacete	48,61
La Rioja	Logroño	29,92
Valencia	Alicante	42,25
Valencia	Castellón	39,65
Aragón	Zaragoza	45,31 ^b (47,67-42,96)
Canarias	Sta Cruz de Tenerife	55,78 ^b (61,32 – 50,25)
Canarias	Las Palmas de G.C.	34,00

Pero, aún careciendo de un número adecuado de éstas, los datos parecen indicar un descenso bastante notable de las emisiones antropogénicas en la zona, ya que en las inmediaciones se encuentra la estación de Jinámar III (también de tipo industrial) que ha registrado un valor medio de 29,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (muy acorde con los 26,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de Néstor Álamo) en el mismo período 2006-2007, lo que vendría a confirmar la validez de estos datos.

Por lo que respecta a la estación situada en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria (Mercado Central), los datos publicados (Querol et al., 2006) que cifran una concentración de 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2001, reflejan una mejora en este estudio con valores de 34,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2006) y 30,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2007). Posiblemente esta mejora se debe a la apertura de la circunvalación de Las Palmas de Gran Canaria, que ha descargado de tráfico la zona de influencia de la estación de medida.

4.1.5 EVOLUCIÓN TEMPORAL

El estudio de la variabilidad temporal de los niveles de PM_{10} en la isla se hace necesario por varios motivos:

- ayuda a comprender el comportamiento de las partículas en relación con la dinámica atmosférica.
- da idea sobre la influencia de fuentes específicas de emisión (naturales y antropogénicas).
- permite la detección de episodios extraordinarios.
- ayuda a establecer la influencia ejercida por la meteorología.
- puede aportar evidencias sobre la relación entre contaminación atmosférica y problemas sanitarios.

De acuerdo con lo expresado, en este apartado se comentan los resultados obtenidos al realizar el estudio. Este se ha estructurado de forma que la información extraída sea lo más completa posible; para ello se han analizado las evoluciones: horaria, diaria, mensual e interanual en las diferentes estaciones de monitorización.

4.1.5.1 VARIACIÓN MENSUAL E INTERANUAL

Seguidamente se exponen de forma gráfica los niveles medios aritméticos mensuales registrados en 2006 (figuras 4.1.11 a 4.1.13) y 2007 (figuras 4.1.14 a 4.1.16) para cada uno de los tipos de estaciones: urbana, industrial y fondo urbana. El disponer estas medias de acuerdo con la especificidad de las estaciones permite, además de adquirir cierta idea sobre la variabilidad espacial de las concentraciones, apreciar cualitativamente la influencia ejercida por el tipo de entorno.

Observando dichas gráficas puede destacarse lo siguiente:

- En el año 2006 las cuatro estaciones de fondo urbano estudiadas (situadas todas en el sur de la isla) presentan un comportamiento similar, con subidas y bajadas los mismos meses del año. Todas registran 3 máximos, que se sitúan en los meses de marzo, septiembre y noviembre. Con excepción de lo que sucede en Playa del Inglés, el de este último mes es bastante mayor a los otros.

- Siguiendo con el análisis de las gráficas del año 2006, puede observarse como en los otros dos tipos de estaciones (urbanas e industriales) también se registran concentraciones máximas los meses de marzo y noviembre, siendo igualmente las de este último mes las más altas del año, y superiores a las obtenidas en las estaciones de fondo.
- Aunque los registros de marzo y noviembre son mayores como se observa en las estaciones urbanas e industriales, es el correspondiente al mes de marzo el que presenta un mayor incremento porcentual, 28% (41,7 µg/m³ en las estaciones industriales frente a 30,05 µg/m³ en las de fondo urbanas) quedándose el de noviembre en un 18% (39,04 µg/m³ frente a 47,68 µg/m³).

El que durante 2006 se hayan generado los máximos durante los mismos meses del año en todas las estaciones, con independencia del tipo de las mismas y de su situación geográfica, viene a indicar la existencia de un aporte de partículas procedentes de una fuente común (intrusiones de masas de aire africano) y denota la importancia que tiene el mismo en el aerosol particulado de la isla.

En lo que respecta al año 2007, vuelve a aparecer (en todas las estaciones) un valle en febrero, con concentraciones bastante por debajo de las registradas en los otros dos meses invernales (enero y marzo). El que esto suceda incluso en las estaciones situadas en las otras dos islas de la provincia refleja el papel que juega la meteorología en las fuentes predominantes de emisión.

Las dos estaciones urbanas situadas en la isla de Gran Canaria (Mercado Central, en la capital, y San Agustín, en el sur de la isla), presentan el mismo comportamiento, con subidas y bajadas en los mismos meses del año. El periodo de verano marca la diferencia entre ambas estaciones, en el sentido de que los registros obtenidos en la estación de San Agustín presentan una diferencia mayor con los de Mercado Central. En este hecho podría haber influido la menor actividad que presenta la capital de la isla debido al desplazamiento vacacional de parte de la población al sur de la isla. La tercera estación urbana del estudio se encuentra situada en la isla de Lanzarote, concretamente en Arrecife, y puede observarse como las concentraciones, que son bastante estables en la primera parte del año (coeficiente de variación 46 %) sufren un incremento apreciable entre agosto y enero.

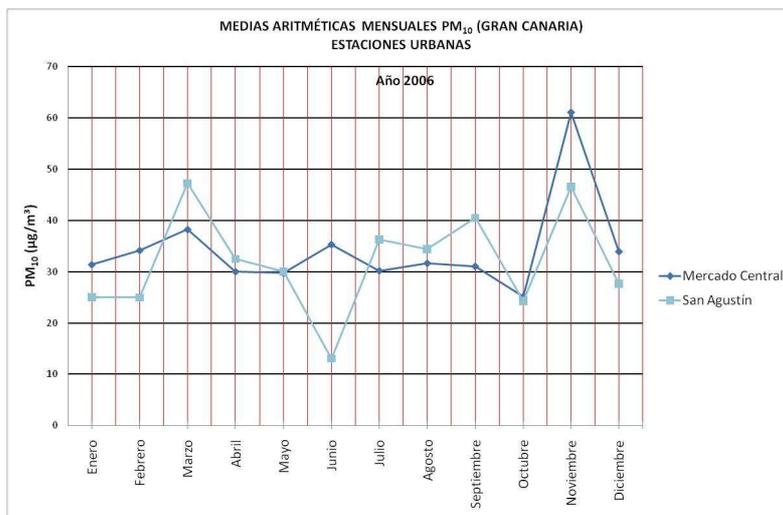


FIGURA 4.1.11.- EVOLUCIÓN MENSUAL DE PM₁₀ ESTACIONES URBANAS AÑO 2006

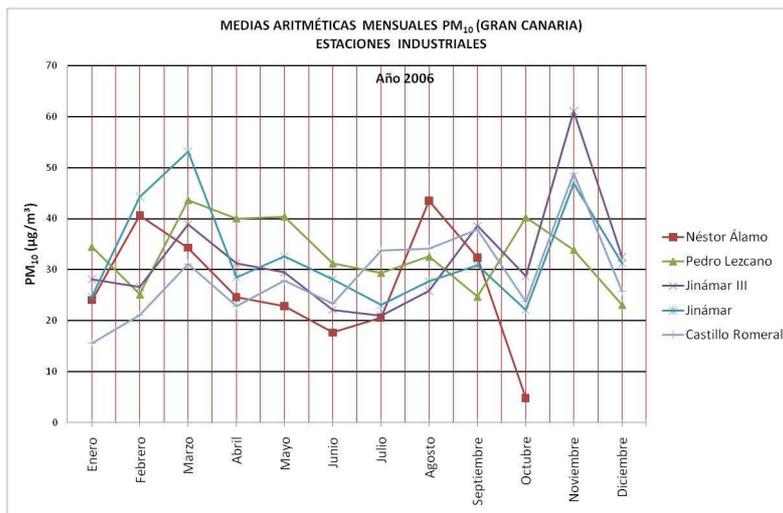


FIGURA 4.1.12.- EVOLUCIÓN MENSUAL DE PM₁₀ ESTACIONES INDUSTRIALES AÑO 2006

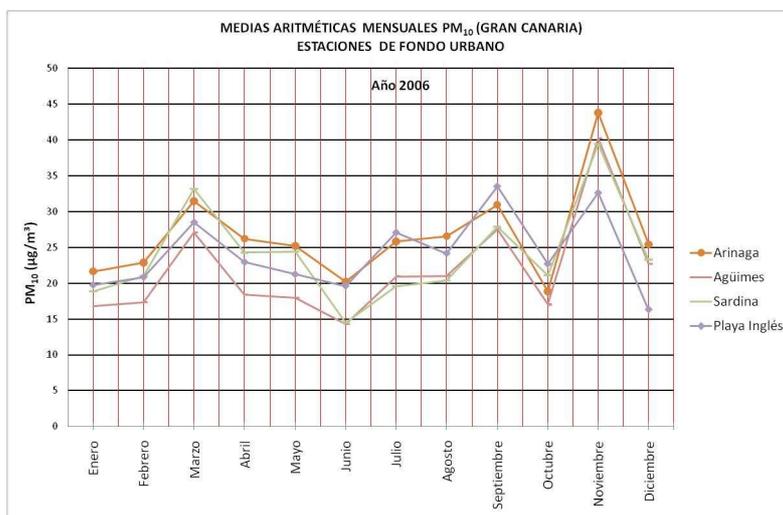


FIGURA 4.1.13.- EVOLUCIÓN MENSUAL DE PM₁₀ DE FONDO URBANO AÑO 2006

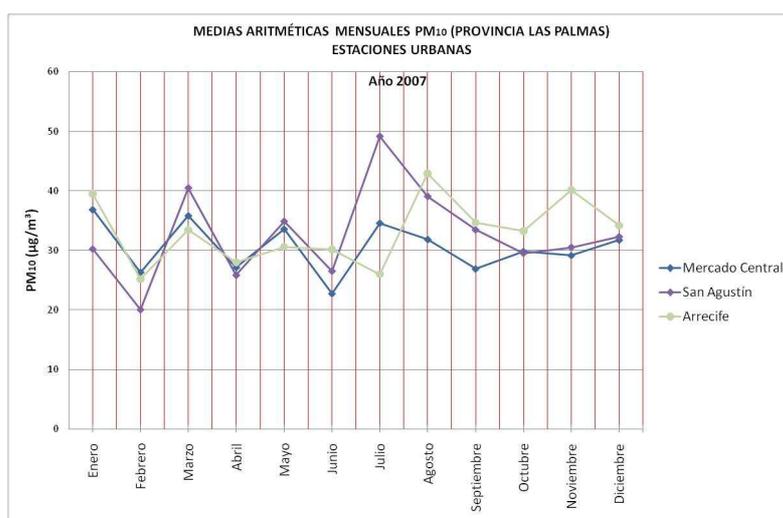


FIGURA 4.1.14.- EVOLUCIÓN MENSUAL DE PM₁₀ ESTACIONES URBANAS AÑO 2007

Por lo que concierne a las estaciones de fondo urbanas, todas tienen, al igual que en 2006, un comportamiento similar, aunque con unos valores (en conjunto) menores. La estación de Costa Teguisse (situada en Lanzarote) parece ser algo singular, ya que, presenta una serie de máximos a lo largo del año, en los meses de: marzo, julio, agosto y octubre que son superiores a los de las demás estaciones.

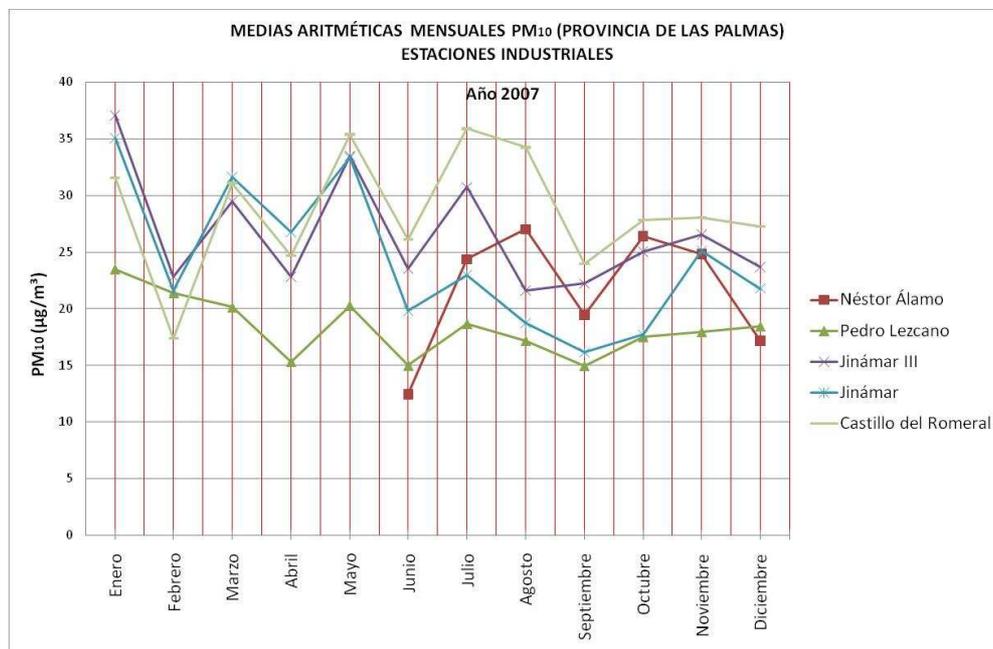


FIGURA 4.1.15.- EVOLUCIÓN MENSUAL DE PM₁₀ ESTACIONES INDUSTRIALES AÑO 2007

Debe indicarse que los datos disponibles en el año 2007, para esta estación, no llegan al 70 %. Aunque, la Directiva Europea 2008/50/CE, en su Anexo I apartado A, fija en el 90 % la recogida mínima de datos, se ha considerado conveniente incluir la estación, debido a sus altos valores de PM₁₀.

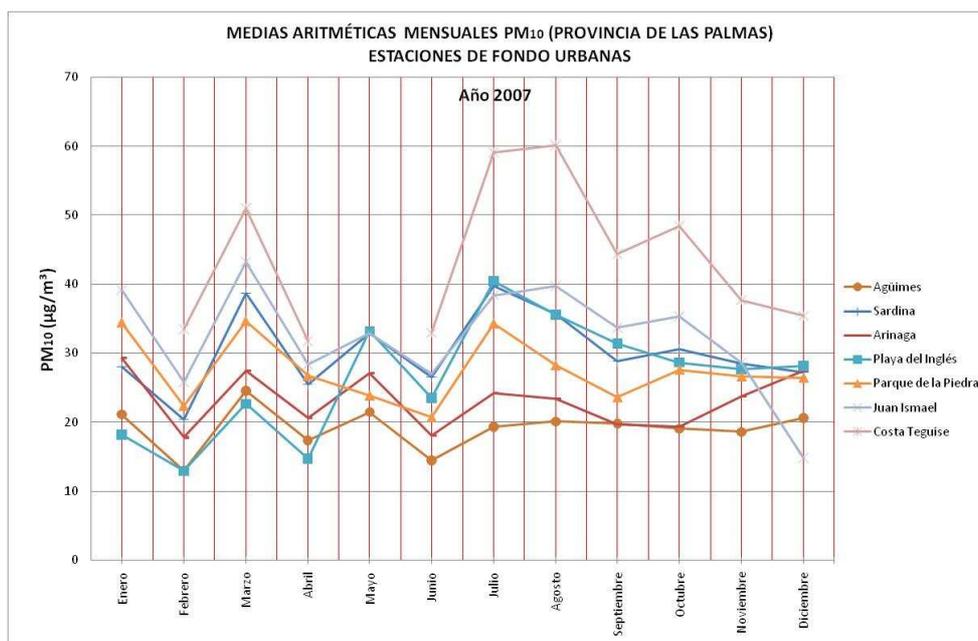


FIGURA 4.1.16.- EVOLUCIÓN MENSUAL DE PM₁₀ ESTACIONES DE FONDO URBANAS AÑO 2007

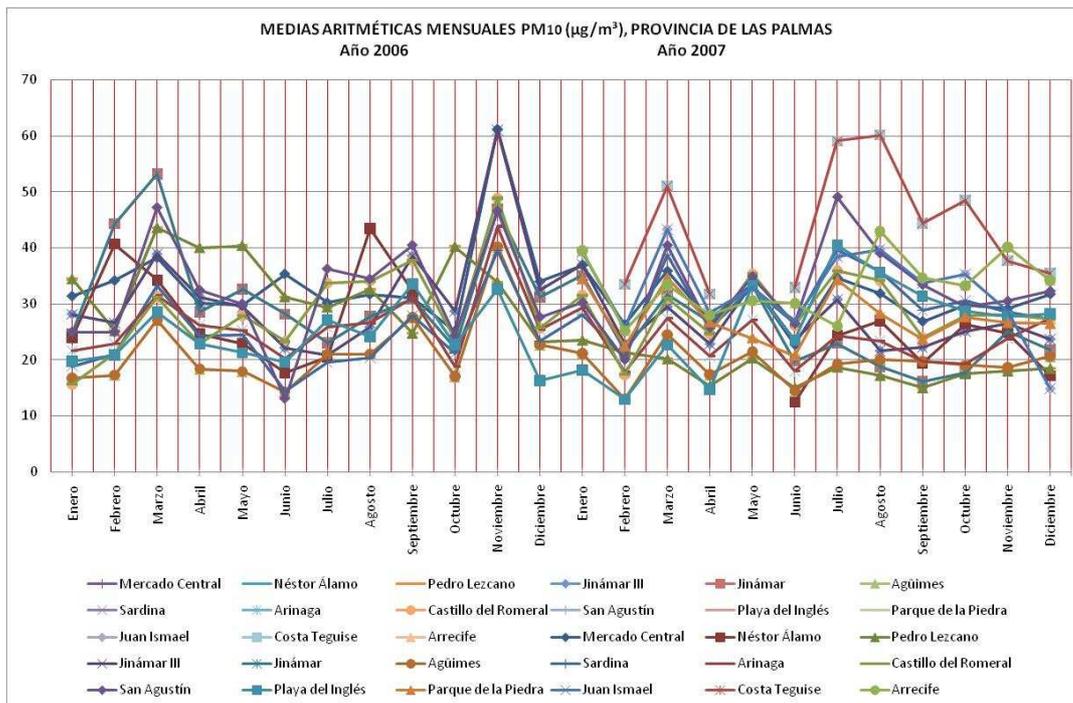


FIGURA 4.1.17.- EVOLUCIÓN MENSUAL DE PM₁₀ AÑOS 2006 Y 2007

En la figura 4.1.17, se presentan los datos mensuales de PM₁₀ de los años 2006 y 2007, para observar de una manera más clara su evolución, en el período considerado.

Con el fin de cuantificar lo dicho, se ha realizado un estudio de correlación de Pearson, de los años 2006 y 2007. Los resultados se muestran en las tablas 4.1.9 y 4.1.10.

En dichas tablas, que muestran las correlaciones entre cada par de variables, se expone, entre paréntesis, el número de pares de datos utilizados para calcular cada coeficiente. El tercer número en cada bloque de la tabla es un valor (*p*) que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas. Valores *p* por debajo de 0,05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95,0%. En el año 2006, se han omitido, debido a la escasez de datos las estación de Néstor Álamo y en 2007 las de Néstor Álamo, Parque de la Piedra y Costa Tegüise.

En referencia al primero de los años citados, se observa que las estaciones del sureste de la isla presentan una alta correlación entre ellas: Agüimes, Arinaga, Sardina, mientras que con la situada en Castillo del Romera (considerada industrial aunque situada también en el sureste) baja ligeramente. San Agustín (urbana), está en el sur de la isla y en el límite con las estaciones del sureste (muy cerca físicamente con Castillo del Romeral) y presenta una correlación alta con dichas estaciones. Por último en Playa del Inglés (fondo urbano), situada al igual que San Agustín en el sur de la isla, se observa una correlación media (0,63) con ella; con las estaciones del sureste la correlación es ligeramente menor y con el resto es baja.

Las estaciones industriales presentan correlaciones dispares: las concentraciones de PM₁₀ de Jinámar III tienen correlaciones elevadas (entre 0,70 y 0,80) con varias estaciones: Mercado Central, Jinámar, Arinaga, Agüimes, Castillo del Romeral y San Agustín. La de Jinámar presenta altas correlaciones con Jinámar III (0,75), Arinaga (0,67) y Mercado central (0,65). Pedro Lezcano presenta correlaciones de tipo medio con el resto de las estaciones, excepto con Playa del Inglés.

Las concentraciones registradas en Mercado Central se encuentran altamente correlacionadas con las de Arinaga (0,72) y Jinámar (0,70). Con las demás el coeficiente se mueve entre 0,65 y 0,70, excepto con las de Pedro Lezcano (0,48) y Playa del Inglés (0,44) en que este es mucho más bajo.

Esta última estación (Playa del Inglés), es la que presenta peor coeficiente de correlación con el resto de las estaciones, excepto con San Agustín (0,63), a la que está físicamente muy cercana.

Con respecto al año 2007, los coeficientes de correlación disminuyen de manera general y especialmente entre las estaciones del sureste de la isla de Gran Canaria.

Las estaciones de Fuerteventura y Lanzarote presentan coeficientes de correlación muy bajos, el coeficiente de correlación más alto se da entre ellas (0,46).

Los resultados obtenidos, pueden estar claramente marcados por el número de datos utilizados para calcular los coeficientes de correlación. Se observa en las tablas, que en el año 2006 el número de datos es 7287 (83 %) y en 2007 es 5786 (66 %). El estudio de los coeficientes de correlación para PM₁₀, sugiere un componente común en las estaciones del sureste de Gran Canaria, influenciado por el viento procedente del continente africano.

Las industriales, sobre todo, las ubicadas en el polígono de Jinámar (Gran Canaria) parecen estar más influenciadas por las emisiones generadas en el cercano complejo central térmica-potabilizadora.

Mercado Central, estaría influenciada por el tráfico, así como por los períodos de intrusiones africanas. Las estaciones de Fuerteventura y Lanzarote, están marcadas de manera más acusada por los vientos e intrusiones africanas que afectan más frecuentemente en esas islas del archipiélago que en Gran Canaria, por lo que sus coeficientes de correlación con ellas son bajos.

4.1.5.2 VARIACIÓN HORARIA

En el impacto que sobre nuestra salud tienen los contaminantes atmosféricos, no solo debe tenerse en cuenta la exposición a medio y largo plazo de las vías respiratorias a determinadas concentraciones medias de los mismos, sino que también deben considerarse aquellos momentos, de corta duración, en los que estas concentraciones son lo suficientemente altas como para superar las defensas pulmonares (Delfino et al, 2002).

En el caso que concierne al presente apartado, existe evidencia experimental que vincula concentraciones horarias de PM₁₀ con isquemias cardiacas (Lanki et al, 2008). Dichas evidencias conducen a implicaciones a largo alcance, sobre todo cuando se consideran los actuales conocimientos sobre los mecanismos de daño pulmonar.

El estudio de la variación horaria se ha realizado también según la clasificación confeccionada por categoría, realizada en el apartado 4.1.2. Distinguiendo, para cada estación, el año considerado y realizando un gráfico final que recoge el período completo estudiado.

TABLA 4.1.9.- CORRELACIÓN DE PM₁₀ ENTRE ESTACIONES AÑO 2006

	Mercado Central	Jinámar	Jinámar III	Pedro Lezcano	Arinaga	Agüimes	Sardina	Castillo del Romeral	San Agustín	Playa del Inglés
Mercado Central		0,65	0,70	0,48	0,72	0,69	0,65	0,68	0,68	0,44
		(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)
		0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,008	0,00	0,00
Jinámar	0,65		0,75	0,53	0,68	0,64	0,63	0,63	0,64	0,40
	(7287)		(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)
	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Jinámar III	0,70	0,75		0,68	0,80	0,76	0,74	0,77	0,74	0,50
	(7287)	(7287)		(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)
	0,00	0,00		0,00	0,00	0,006	0,00	0,00	0,00	0,00
Pedro Lezcano	0,48	0,53	0,68		0,59	0,556	0,58	0,52	0,56	0,36
	(7287)	(7287)	(7287)		(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)
	0,00	0,00	0,00		0,00	0,006	0,00	0,00	0,00	0,00
Arinaga	0,72	0,68	0,80	0,59		0,766	0,74	0,79	0,76	0,51
	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)		(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)
	0,00	0,00	0,00	0,00		0,006	0,00	0,00	0,00	0,00
Agüimes	0,69	0,64	0,76	0,55	0,76		0,79	0,77	0,81	0,52
	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)		(7287)	(7287)	(7287)	(7287)
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
Sardina	0,65	0,63	0,74	0,58	0,74	0,79		0,77	0,81	0,52
	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)		(7287)	(7287)	(7287)
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
Castillo del Romeral	0,68	0,63	0,77	0,52	0,79	0,77	0,77		0,78	0,54
	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)		(7287)	(7287)
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00		0,00	0,00
San Agustín	0,68	0,64	0,74	0,56	0,76	0,81	0,81	0,78		0,63
	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)		(7287)
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,002	0,002	0,00		0,00
Playa del Inglés	0,44	0,40	0,50	0,36	0,51	0,52	0,52	0,54	0,63	
	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	(7287)	
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

TABLA 4.1.10.- CORRELACIÓN DE PM₁₀ ENTRE ESTACIONES AÑO 2007

	Mercado Central	Jinámar	Jinámar III	Pedro Lezcano	Arinaga	Agüimes	Sardina	Castillo del Romeral	San Agustín	Playa del Inglés	Centro Juan Ismael	Arrecife
Mercado Central	0,72 (5786)	0,67 (5786)	0,57 (5786)	0,62 (5786)	0,67 (5786)	0,53 (5786)	0,61 (5786)	0,54 (5786)	0,46 (5786)	0,47 (5786)	0,35 (5786)	
		0,002	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Jinámar	0,72 (5786)	0,74 (5786)	0,66 (5786)	0,61 (5786)	0,68 (5786)	0,55 (5786)	0,62 (5786)	0,51 (5786)	0,40 (5786)	0,44 (5786)	0,35 (5786)	
		0,002	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Jinámar III	0,67 (5786)	0,74 (5786)	0,81 (5786)	0,58 (5786)	0,62 (5786)	0,53 (5786)	0,59 (5786)	0,49 (5786)	0,43 (5786)	0,42 (5786)	0,31 (5786)	
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pedro Lezcano	0,57 (5786)	0,66 (5786)	0,81 (5786)	0,54 (5786)	0,55 (5786)	0,45 (5786)	0,52 (5786)	0,41 (5786)	0,34 (5786)	0,35 (5786)	0,26 (5786)	
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Arinaga	0,62 (5786)	0,61 (5786)	0,58 (5786)	0,54 (5786)	0,59 (5786)	0,47 (5786)	0,61 (5786)	0,46 (5786)	0,40 (5786)	0,43 (5786)	0,28 (5786)	
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agüimes	0,67 (5786)	0,68 (5786)	0,63 (5786)	0,55 (5786)	0,59 (5786)	0,74 (5786)	0,69 (5786)	0,73 (5786)	0,63 (5786)	0,39 (5786)	0,32 (5786)	
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sardina	0,53 (5786)	0,55 (5786)	0,53 (5786)	0,45 (5786)	0,47 (5786)	0,74 (5786)	0,64 (5786)	0,66 (5786)	0,57 (5786)	0,40 (5786)	0,29 (5786)	
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Castillo del Romeral	0,61 (5786)	0,62 (5786)	0,59 (5786)	0,52 (5786)	0,61 (5786)	0,69 (5786)	0,64 (5786)	0,58 (5786)	0,54 (5786)	0,44 (5786)	0,33 (5786)	
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
San Agustín	0,54 (5786)	0,51 (5786)	0,49 (5786)	0,41 (5786)	0,46 (5786)	0,73 (5786)	0,66 (5786)	0,58 (5786)	0,82 (5786)	0,30 (5786)	0,22 (5786)	
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Playa del Inglés	0,46 (5786)	0,40 (5786)	0,43 (5786)	0,34 (5786)	0,40 (5786)	0,63 (5786)	0,57 (5786)	0,54 (5786)	0,82 (5786)	0,24 (5786)	0,18 (5786)	
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Centro Juan Ismael	0,47 (5786)	0,44 (5786)	0,42 (5786)	0,35 (5786)	0,43 (5786)	0,39 (5786)	0,40 (5786)	0,44 (5786)	0,30 (5786)	0,24 (5786)	0,46 (5786)	
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Arrecife	0,34 (5786)	0,35 (5786)	0,31 (5786)	0,26 (5786)	0,28 (5786)	0,31 (5786)	0,29 (5786)	0,34 (5786)	0,22 (5786)	0,18 (5786)	0,46 (5786)	
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

4.1.5.2.1 ESTACIONES URBANAS

La estación Mercado Central presenta una evolución horaria, muy parecida en los años considerados.

La evolución a lo largo del día (figura 4.1.18), es la típica de una zona urbana con influencia directa del tráfico. En horas de madrugada, la PM₁₀ presenta los valores más bajos (poco tráfico). Empieza a aumentar a partir de las 5 de la mañana hasta alcanzar el máximo a las 9 manteniéndose en valores estables las siguientes dos horas; estos valores más altos coinciden también con el incremento del tráfico en la zona durante esta franja horaria. A las 11 horas empiezan a descender, aunque solo ligeramente, manteniéndose prácticamente constante hasta las 21 horas, momento en que el volumen de tráfico disminuye notablemente, como consecuencia de la llegada de los ciudadanos a sus domicilios.

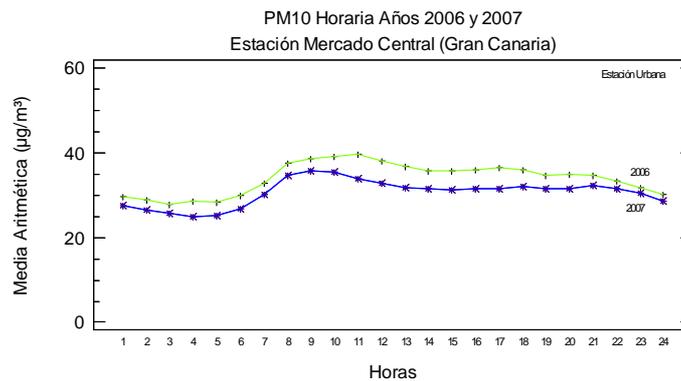


FIGURA 4.1.18.- EVOLUCIÓN HORARIA PM₁₀ ESTACIÓN MERCADO CENTRAL AÑOS 2006 Y 2007

La estación San Agustín, ubicada en la zona turística del sur de la isla, presenta, al igual que la anterior, una evolución horaria similar en los años 2006 y 2007. También aparece, un máximo a las 9 de la mañana (situado en torno a los 40 µg/m³ en ambos años) del mismo orden que el de la estación Mercado Central. Ello se debe, fundamentalmente, a que diariamente los trabajadores de la zona turística se desplazan, en su inmensa mayoría, desde otros municipios situados al norte de la estación. Una vez incorporados a sus puestos de trabajo, los valores de PM₁₀ bajan significativamente. Entre las 16 y 17 horas, aparece otro repunte, que puede ser debido a la finalización de la jornada laboral o a que la misma se realiza de forma escalonada a lo largo de la tarde, y no es tan significativo como el de las 9 de la mañana (figura 4.1.19)

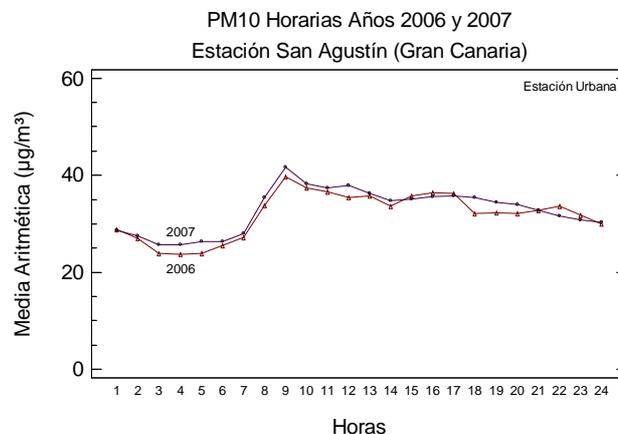


FIGURA 4.1.19.- EVOLUCIÓN HORARIA PM₁₀ ESTACIÓN SAN AGUSTÍN AÑOS 2006 Y 2007

La tercera de las estaciones típicamente urbanas de la red, la de Arrecife, presenta una evolución (figura 4.1.20) en las primeras horas diurnas, parecida a la de las otras dos (Mercado Central y San Agustín) con un máximo a las 9 (38 µg/m³). A partir de las 10 horas aumenta hasta alcanzar los 55 µg/m³ a las 12 horas.

Esta diferencia en los niveles de PM₁₀ durante las horas centrales del día (entre las 11 y las 19 horas), con respecto a las estaciones de Mercado Central y San Agustín en el mismo período, puede deberse principalmente a su cercanía a la central térmica situada al noreste de la estación (dirección dominante de los vientos alisios), cuyas emisiones podrían influir decisivamente en sus valores y no sería más que un reflejo de la propia actividad empresarial e industrial durante las horas diurnas. También, la cercanía al continente africano la hace más sensible a las intrusiones africanas.

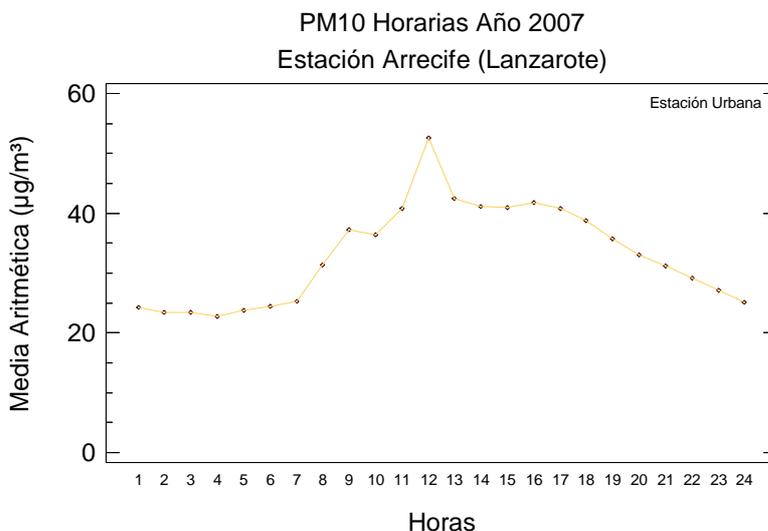


FIGURA 4.1.20.- EVOLUCIÓN HORARIA PM₁₀ ESTACIÓN ARRECIFE AÑO 2007

En la figura 4.2.21, se presenta la evolución media horaria de PM₁₀, en las estaciones urbanas durante los años 2006 y 2007.

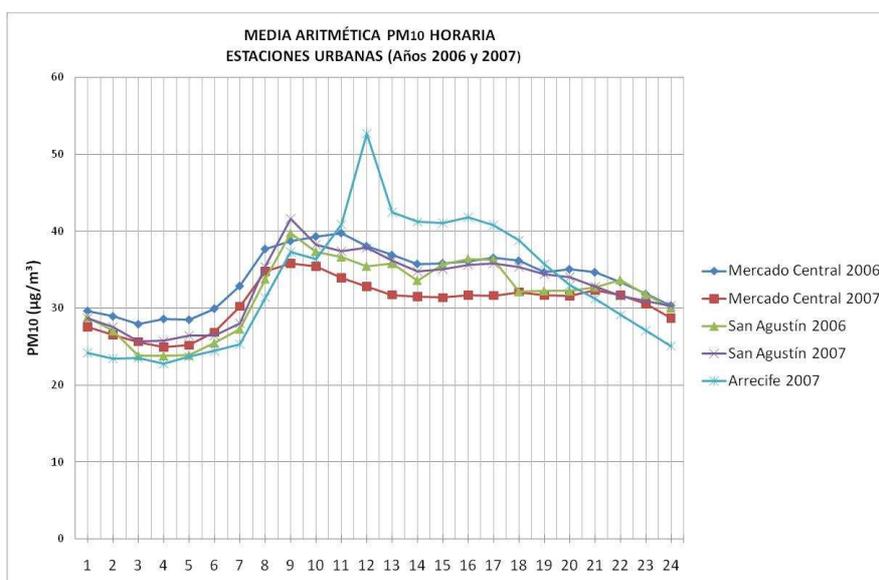


FIGURA 4.1.21.- EVOLUCIÓN HORARIA PM₁₀ ESTACIONES URBANAS AÑOS 2006 Y 2007

4.1.5.2.2 ESTACIONES INDUSTRIALES

Tal como se ha comentado anteriormente, todas estas estaciones están ubicadas en el polígono de Jinámar y físicamente cercanas unas de otras, a excepción de la estación Castillo del Romeral. Néstor Álamo y Jinámar III son las más cercanas entre sí, con influencia directa de la autovía del sur (la vía con más tráfico de toda la isla) y del complejo central térmica-potabilizadora de Jinámar.

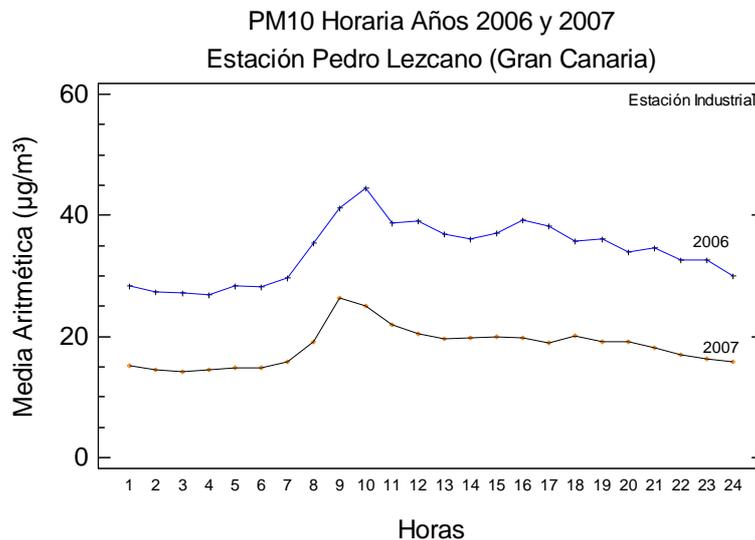


FIGURA 4.1.22.- EVOLUCIÓN HORARIA PM₁₀ ESTACIÓN PEDRO LEZCANO AÑOS 2006 Y 2007

Tal como puede apreciarse (figuras 4.1.22 a 4.1.25), las estaciones ubicadas en Jinámar presentan un máximo entre las 8-10 horas, que en Castillo del Romeral se traslada a las 12 horas.

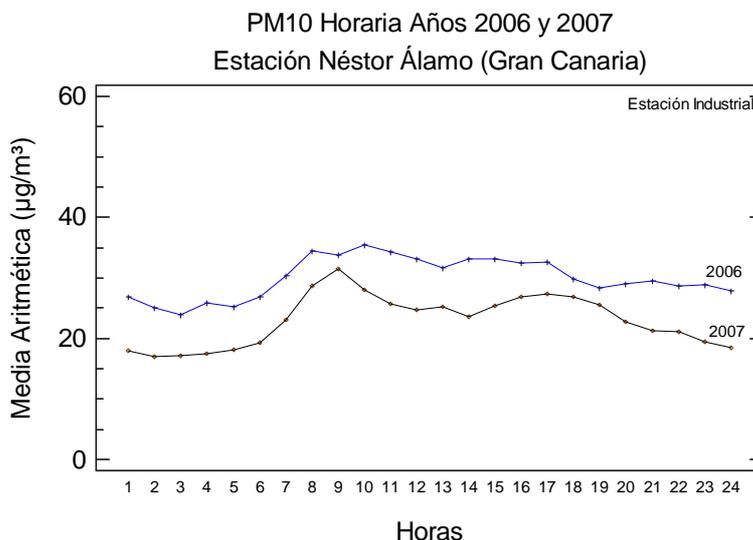


FIGURA 4.1.23.- EVOLUCIÓN HORARIA PM₁₀ ESTACIÓN NÉSTOR ÁLAMO. AÑOS 2006 Y 2007

El año 2007 presenta medias horarias más bajas que el 2006, siendo en Pedro Lezcano (figura 4.1.22) y Jinámar (figura 4.1.24) más significativas; la primera presenta el descenso más acusado, pasando a ser la concentración mínima de 27,2 µg/m³ en 2006 a 14,2 µg/m³ en 2007, lo que representa una disminución cercana al 50 %, mientras que en la de Jinámar se observa una diferencia importante a primeras horas del día y últimas de la noche (figura 4.1.24), siendo

prácticamente coincidente entre las 10-12 horas. En el año 2006 aparecen valores inusualmente altos en horas de madrugada (1-5 horas).

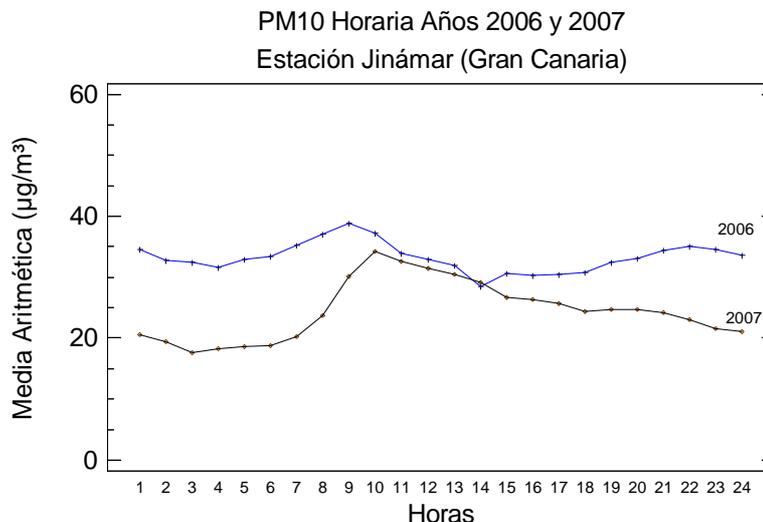


FIGURA 4.1.24.- EVOLUCIÓN HORARIA PM₁₀ ESTACIÓN JINÁMAR AÑOS 2006 Y 2007

La estación Jinámar III, presenta la misma evolución los dos años estudiados. Con niveles bajos entre la 1-5 horas que aumentan hasta situarse por encima de 40 µg/m³ a las 10 horas. En horas de tarde, en el año 2006 la curva (figura 4.1.25), presenta dientes de sierra con máximos y mínimos relativos para bajar durante las horas nocturnas al igual que en el año 2007.

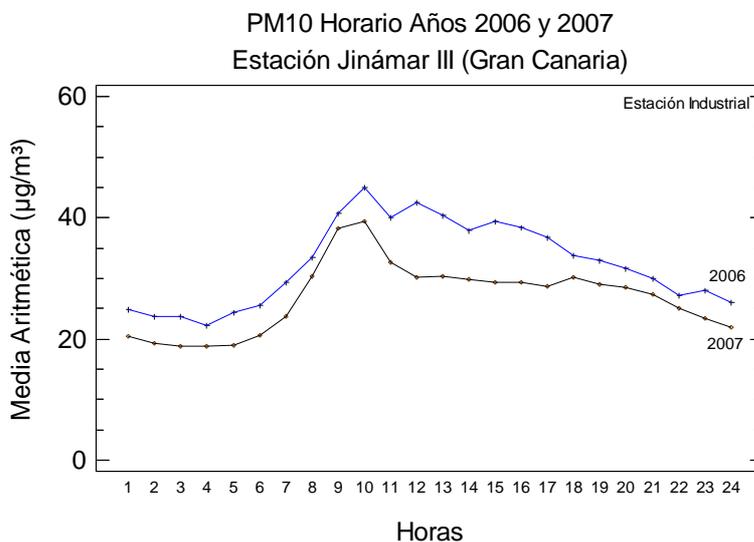


FIGURA 4.1.25.- EVOLUCIÓN HORARIA PM₁₀ ESTACIÓN JINÁMAR III AÑOS 2006 Y 2007

La evolución horaria en la estación Castillo del Romeral (figura 4.1.26), es muy similar en los dos años, presentando cierto parecido con la encontrada en Arrecife. Se observa un máximo relativo a las nueve horas, de mayor cuantía que en Arrecife, y un máximo absoluto (40 µg/m³) un 23% inferior a la encontrada en la estación citada (52 µg/m³). Los entornos de ambas estaciones son similares, con la central térmica al noreste y vientos de cierta intensidad. Las dos estaciones también se encuentran afectadas por las masas de aire procedentes de las regiones africanas del Sáhara y del Sahel. La diferencia fundamental entre ellas estriba en el tráfico, que es más abundante en los alrededores de la estación Arrecife.

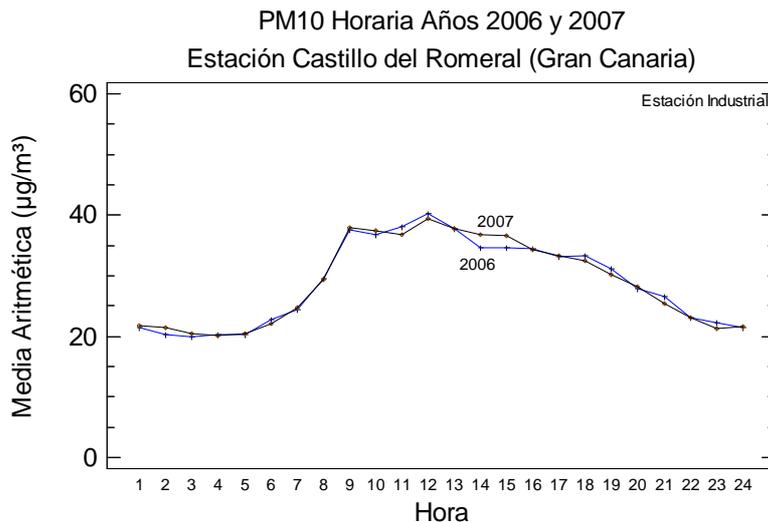


FIGURA 4.1.26.- EVOLUCIÓN HORARIA PM₁₀ ESTACIÓN CASTILLO DEL ROMERAL AÑOS 2006 Y 2007

A modo de resumen, en la fig. 4.1.27, se presenta de manera conjunta la evolución de los niveles medios horarios de PM₁₀, observándose lo siguiente.

- 1.- La que presenta el mayor máximo es la estación Jinámar III, sobre los 43 µg/m³
- 2.- Los máximos de todas las estaciones se presentan en las primeras horas de la mañana (entre las 9-10 horas), con el comienzo de la actividad laboral.
- 3.- Castillo del Romeral y Arrecife siguen patrones parecidos.
- 4.- En contra de lo que sucede en las otras estaciones, en la de Jinámar, se observa valores inusualmente altos en horas de madrugada (entre las 1-5 horas).

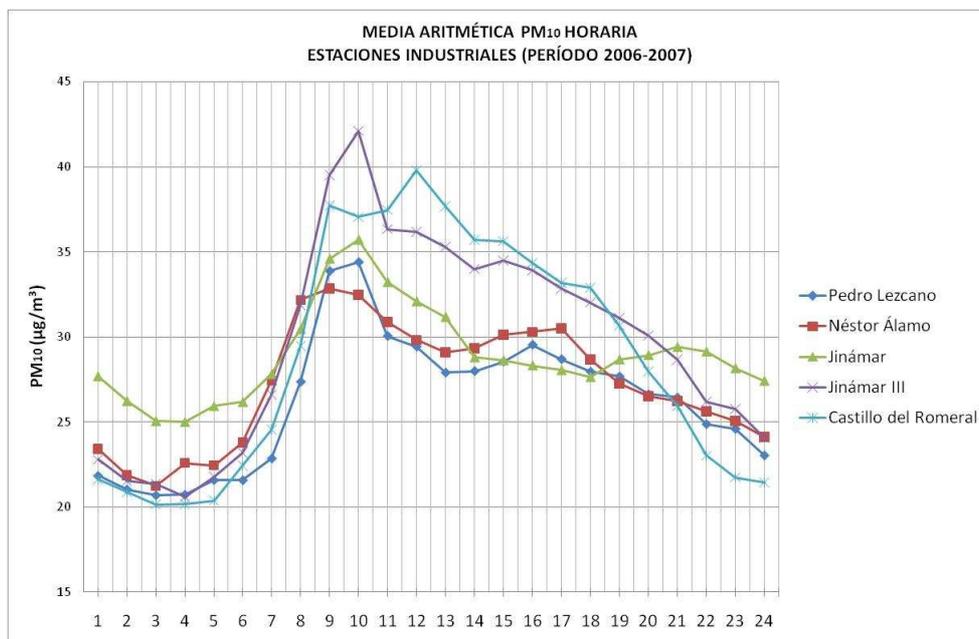


FIGURA 4.1.27.- EVOLUCIÓN HORARIA PM₁₀ ESTACIONES URBANAS PERÍODO 2006-2007

4.1.5.2.3 ESTACIONES DE FONDO URBANAS

Estas estaciones, exceptuando Costa Tegui, presentan valores comprendidos entre 22 y 33 µg/m³. Las pertenecientes a Gran Canaria, están situadas en el sureste y sur de la misma y se encuentran más influenciadas, al igual, que las de Lanzarote y Fuerteventura, por el polvo procedente del continente africano.

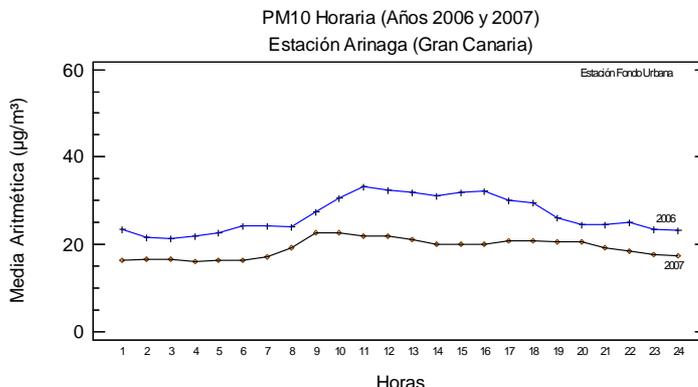


FIGURA 4.1.28.- EVOLUCIÓN HORARIA PM₁₀ ESTACIÓN ARINAGA AÑOS 2006 Y 2007

Las curvas horarias presentan la misma evolución en los años 2006 y 2007, en todas las estaciones. En Arinaga (figura 4.1.28) y Agüimes (figura 4.1.29), el año 2006 registra las medias horarias más altas mientras que en las otras dos estaciones situadas en el sur de Gran Canaria, Sardina (figura 4.1.30) y Playa del Inglés (figura 4.1.31), estas corresponden al año 2007, hecho relevante si se tiene en cuenta que no sucede en ninguna de las otras estaciones.

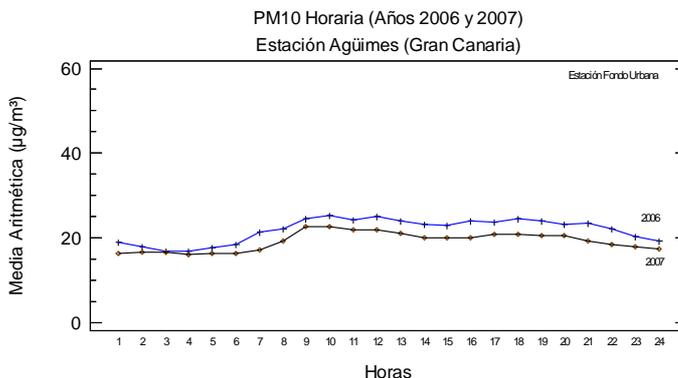


FIGURA 4.1.29.- EVOLUCIÓN HORARIA PM₁₀ ESTACIÓN AGÜIMES AÑOS 2006 Y 2007

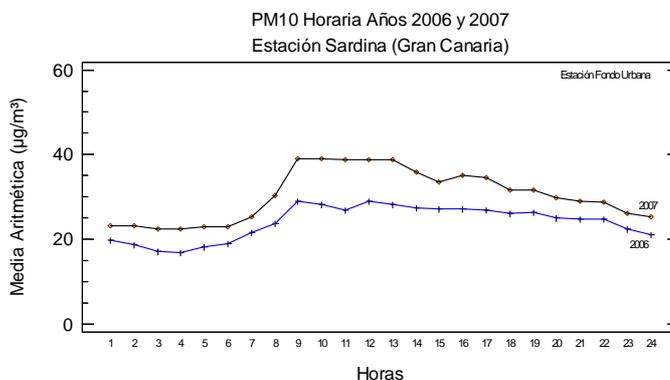


FIGURA 4.1.30.- EVOLUCIÓN HORARIA PM₁₀ ESTACIÓN SARDINA AÑOS 2006 Y 2007

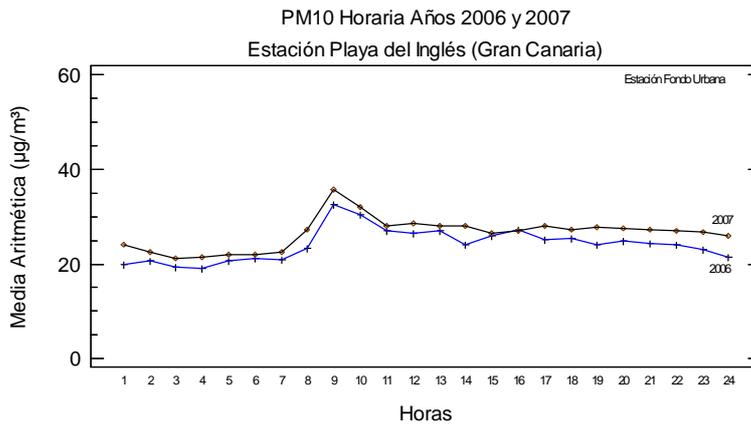


FIGURA 4.1.31.- EVOLUCIÓN HORARIA PM₁₀ ESTACIÓN PLAYA DEL INGLÉS AÑOS 2006 Y 2007

Analizando la figura 4.1.32, en la que aparece de manera conjunta la evolución horaria de las estaciones, se puede destacar lo siguiente:

1.- La estación Costa Teguisse, presenta valores entre las 9 y las 10 horas altísimos, los más elevados, con diferencia, de la provincia de Las Palmas.

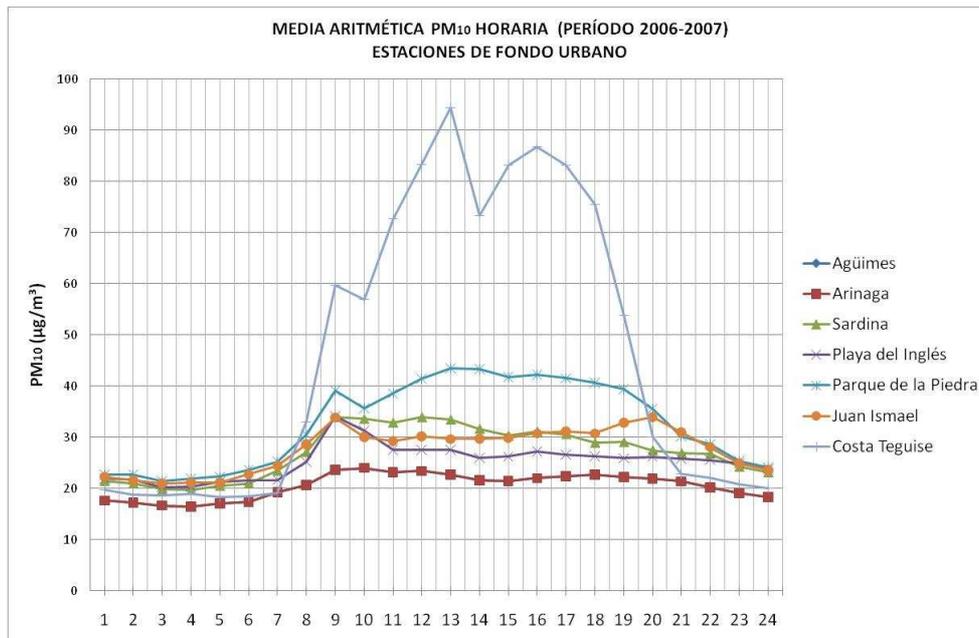


FIGURA 4.1.32.- EVOLUCIÓN HORARIA PM₁₀ ESTACIONES DE FONDO URBANO (PERÍODO 2006-2007)

2.- Todas las estaciones, siguen el mismo patrón de concentraciones bajas en horas nocturnas, entre las 1-8 horas y entre las 20-24 horas.

3.- Todas presentan un pico, ya sea relativo o absoluto, a las 9 horas como consecuencia, básicamente, del aumento del tráfico.

4.- Entre las 10-20 horas, los niveles de PM₁₀, se mantienen sin grandes variaciones, excepto en Parque de la Piedra y Costa Teguisse.

5.- En la estación Parque de la Piedra, aparece un aumento en los niveles de PM₁₀, a partir de las 10 de la mañana hasta alcanzar su máximo absoluto a las 13 horas, con un valor de 45

$\mu\text{g}/\text{m}^3$. Debe indicarse que al noreste de la estación está situada la central térmica de Puerto del Rosario.

Examinando buena parte de la producción científica sobre el tema, se ha encontrado que en los centros urbanos las concentraciones más altas de PM₁₀ se registran durante la semana: entre lunes y viernes y disminuyen los fines de semana (sábados y domingos). Este hecho se produce tanto en ciudades europeas: como Milán (Lonati et al., 2006) norteamericanas, como las situadas en el sur de California (Blanchard y Tannebaum, 2003; Qin et al., 2004), australianas, como Brisbane (Chan et al., 1997) o asiáticas como Kolkata (Karar et al., 2006). Estas diferencias entre las concentraciones según sean días laborables o fines de semana y festivos es más significativa en zonas urbanas afectadas por emisiones debidas a actividades antropogénicas.

4.1.5.3 VARIACIÓN POR DÍA DE LA SEMANA

En el presente apartado se pretende evaluar el efecto fin de semana en la provincia de Las Palmas.

4.1.5.3.1 ESTACIONES URBANAS

Las estaciones urbanas, junto con algunas industriales son las que presentan las medias aritméticas anuales más elevadas como se mostró en las tablas 4.1.1 y 4.1.2. Para estudiar la variación de PM₁₀ a lo largo de la semana se ha recurrido a la media geométrica, que está menos afectada por los valores extremos que la aritmética. En la tabla 4.1.11, se muestran estas medias de los días de la semana en los años 2006 y 2007.

TABLA 4.1.11.- MEDIAS GEOMÉTRICAS DÍAS DE LA SEMANA ESTACIONES URBANAS (2006 Y 2007)

Día	Mercado Central		San Agustín		Arrecife
	Media Geométrica ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
	2006	2007	2006	2007	2007
Lunes	30,7	28,3	25,4	27,8	28,0
Martes	29,8	27,8	26,2	27,7	27,5
Miércoles	31,7	26,9	26,3	26,0	26,3
Jueves	28,8	29,5	24,9	27,7	30,0
Viernes	28,3	29,6	23,3	27,7	29,0
Sábado	27,2	27,5	23,3	27,5	27,4
Domingo	27,1	25,4	23,2	25,3	25,9

En el año 2006, Mercado Central presenta las medias más altas los primeros días de la semana, para disminuir ligeramente el jueves y el viernes, terminando la semana con los valores más bajos. La disminución experimentada por las concentraciones entre el día de mayor concentración y el de menor es del 15% en el año 2006; en el año 2007, este porcentaje es muy similar, 14 %.

En San Agustín, el año 2007 presenta valores más elevados que 2006. En éste último año, la tendencia es la misma que en Mercado Central pero con valores más bajos. En 2007, de lunes a sábado el valor obtenido es prácticamente el mismo, siendo el domingo el día que registra las concentraciones más bajas.

En Arrecife, se observan valores muy parecidos a los de Mercado Central, incluso los fines de semana.

En las figuras 4.1.33, 4.1.34 y 4.1.35, se presentan, para una mejor visualización, las gráficas de la evolución diaria de la media aritmética anual, según día de la semana, por estación de medida y año.

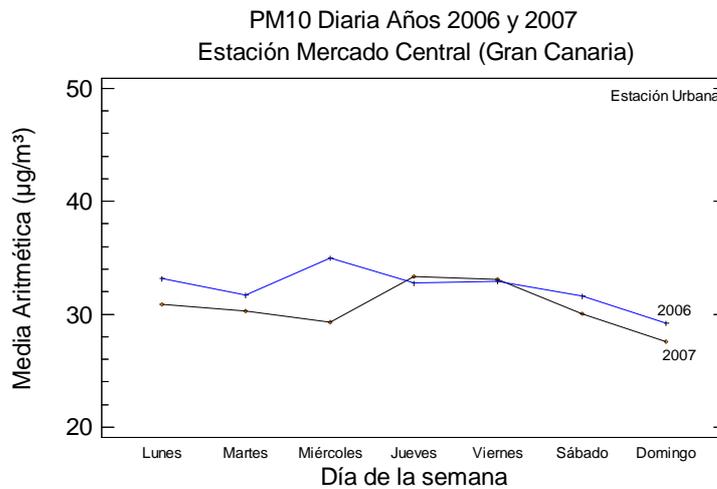


FIGURA 4.1.33.- EVOLUCIÓN DIARIA PM₁₀ ESTACIÓN MERCADO CENTRAL AÑOS 2006 Y 2007

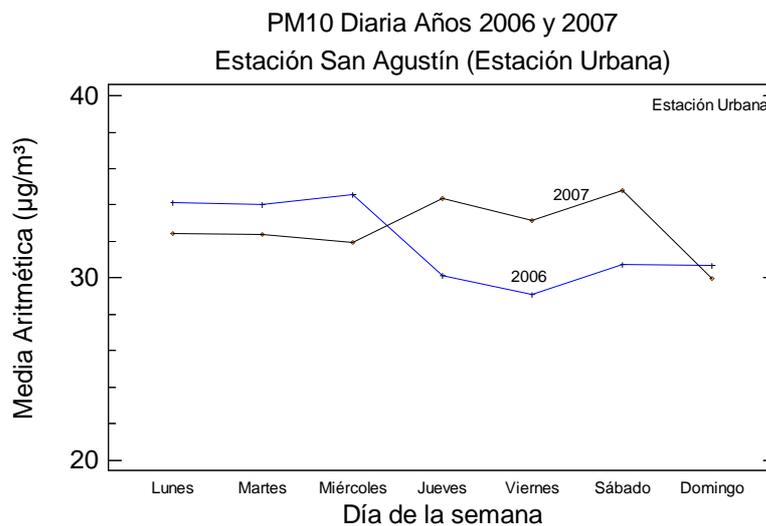


FIGURA 4.1.34.- EVOLUCIÓN DIARIA PM₁₀ ESTACIÓN SAN AGUSTÍN AÑOS 2006 Y 2007

En la figura 4.1.36, se representa la evolución diaria correspondiente a 2007 de las estaciones urbanas; de manera general se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- 1.- Los lunes (en todas las estaciones) si se comparan con el día anterior (domingo), experimentan un aumento de los niveles de PM₁₀; este es más acusado en las estaciones de Arrecife y San Agustín.
- 2.- De lunes a miércoles disminuyen los niveles de PM₁₀, en Mercado Central y Arrecife, en San Agustín la disminución es ligera.
- 3.- La concentración máxima de PM₁₀, se registra los jueves, excepción hecha de la estación San Agustín donde este máximo es relativo, siendo el absoluto el sábado. Este hecho podría deberse a que al ser la zona de San Agustín turística y de ocio, suele recibir más visitantes los fines de semana y sobre todo la tarde-noche de los sábados.

4.- El domingo es el día en el que se observa el mínimo semanal, excepto en Arrecife que es el segundo mínimo.

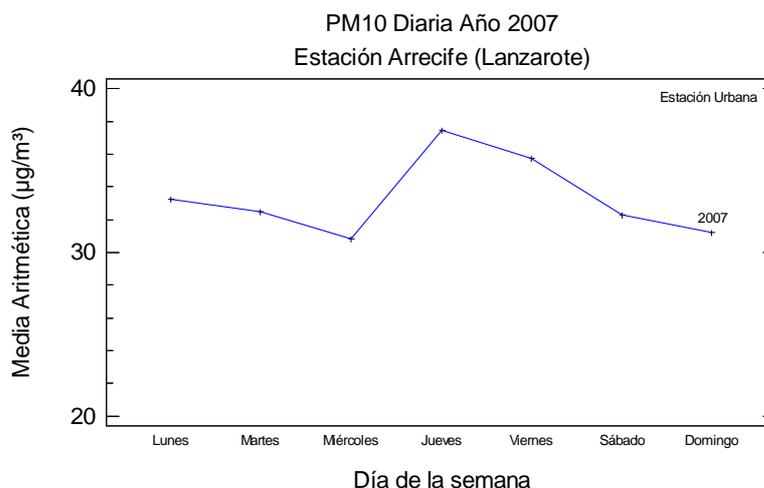


FIGURA 4.1.35.- EVOLUCIÓN DIARIA PM₁₀ ESTACIÓN ARRECIFE AÑOS 2006 Y 2007

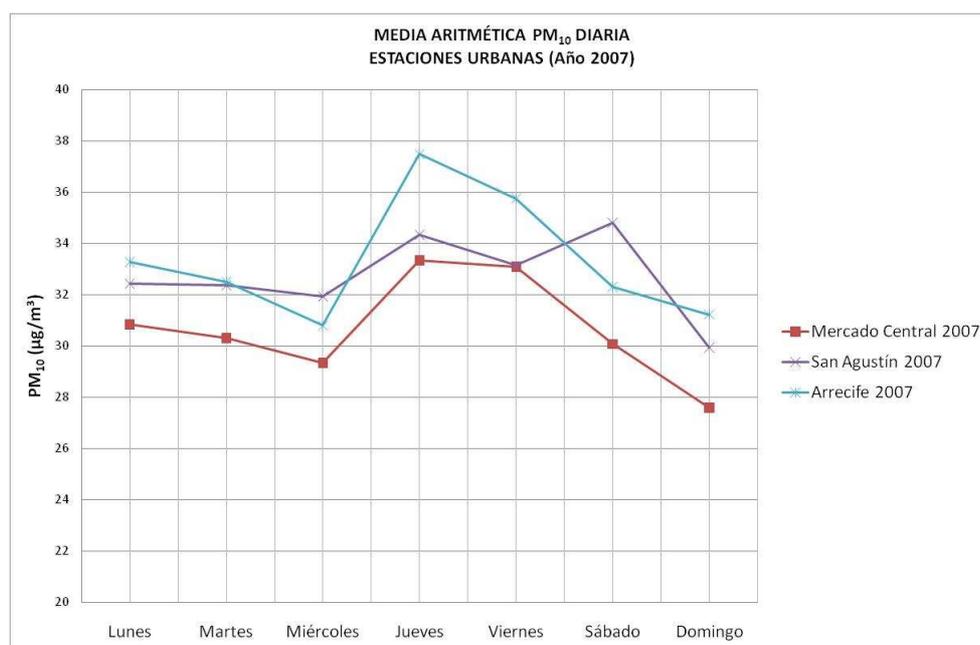


FIGURA 4.1.36.- EVOLUCIÓN DIARIA PM₁₀ ESTACIONES URBANAS AÑO 2007

En la figura 4.1.37, se muestra a modo de ejemplo para las estaciones urbanas, la variación de PM₁₀ horaria en función del día de la semana en los años 2006 y 2007. Se observa, que en horas de mediodía 12-13 horas, se alcanza la mayor concentración de lunes a viernes, siendo el miércoles el día con las medias horarias más elevadas. Con respecto a los fines de semana, los sábados aparece un desplazamiento del máximo hacia las 19 horas, debido seguramente a las salidas nocturnas; los domingos, las concentraciones de PM₁₀ disminuyen considerablemente y se observan tres máximos de magnitud similar, sobre las 11 horas, las 16 horas y las 21 horas, aproximadamente.

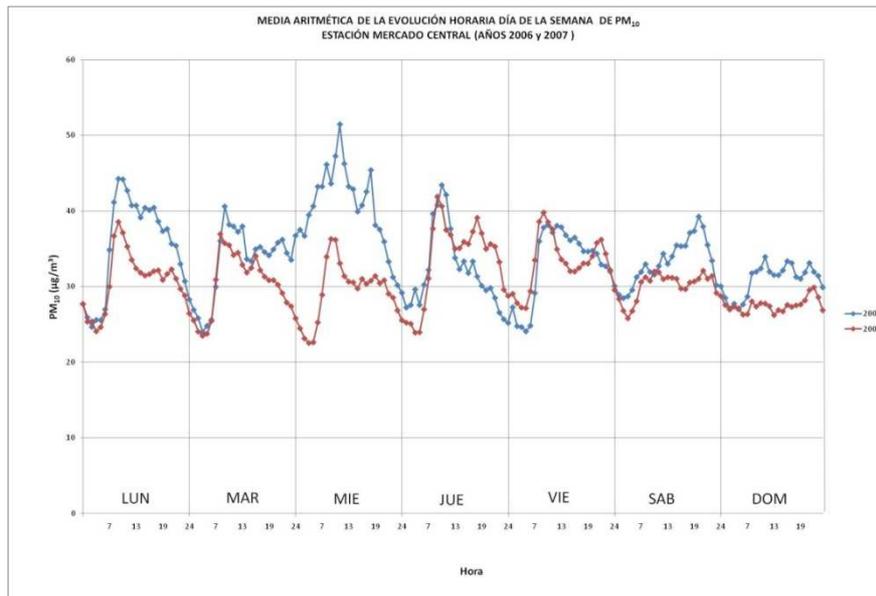


FIGURA 4.1.37.- EVOLUCIÓN HORARIA DE PM₁₀ DÍA DE LA SEMANA ESTACIÓN MERCADO CENTRAL (AÑO 2006)

4.1.5.3.2 ESTACIONES INDUSTRIALES

En las figuras 4.1.38 a 4.1.42 se presentan las gráficas de la evolución diaria de estas estaciones, según día de la semana y año.

En la figura 4.1.43, se representa la evolución diaria correspondiente al período 2006-2007; de manera general se pueden extraer las siguientes observaciones:

- 1.- Todas las estaciones, excepto la de Pedro Lezcano, presentan el lunes su máximo nivel de PM₁₀.
- 2.- Las estaciones Jinámar y Jinámar III, presentan una evolución similar, con mayores niveles de PM₁₀ en Jinámar III de lunes a viernes y niveles similares los fines de semana.
- 3.- En las estaciones Pedro Lezcano y Néstor Álamo, se observa una evolución similar de martes a domingos, aumentando ligeramente los niveles de PM₁₀ de sábado a domingo.
- 4.- Los niveles de PM₁₀, en la estación Castillo del Romeral, evolucionan a la baja durante toda la semana; siendo especialmente pronunciada los fines de semana.

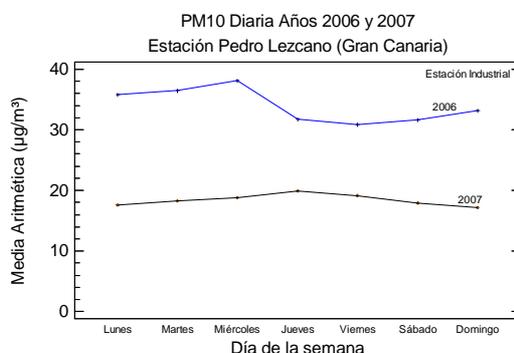


FIGURA 4.1.38.- EVOLUCIÓN DIARIA PM₁₀ ESTACIÓN PEDRO LEZCANO AÑOS 2006 Y 2007

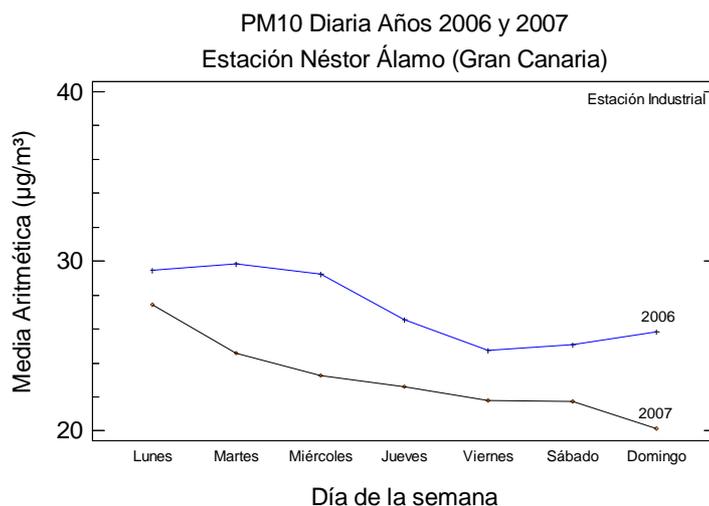


FIGURA 4.1.39.- EVOLUCIÓN DIARIA PM₁₀ ESTACIÓN NÉSTOR ÁLAMO AÑOS 2006 Y 2007

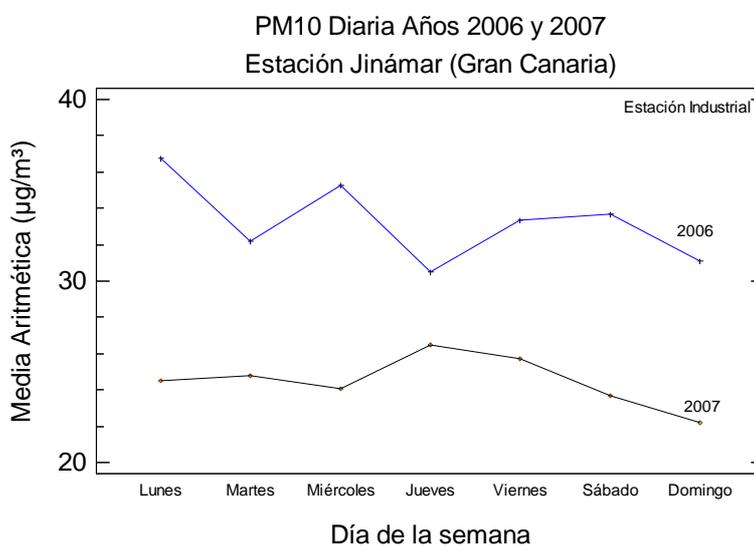


FIGURA 4.1.40.- EVOLUCIÓN DIARIA PM₁₀ ESTACIÓN JINÁMAR AÑOS 2006 Y 2007

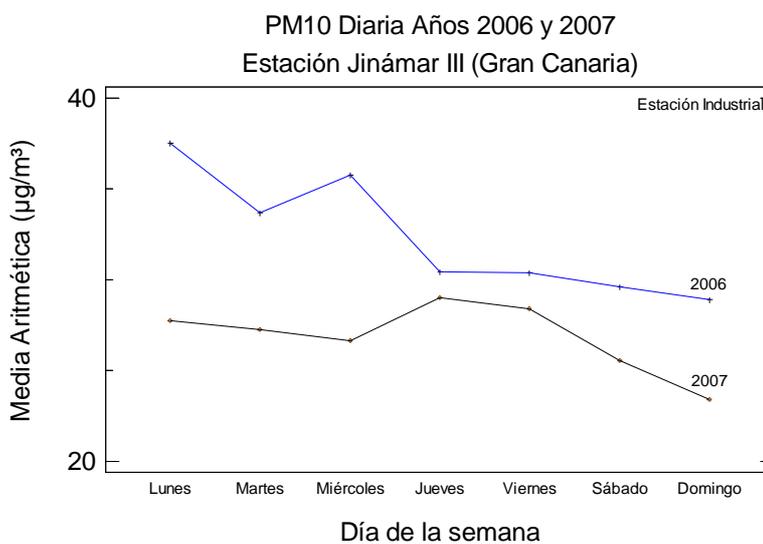


FIGURA 4.1.41.- EVOLUCIÓN DIARIA PM₁₀ ESTACIÓN JINÁMAR III AÑOS 2006 Y 2007

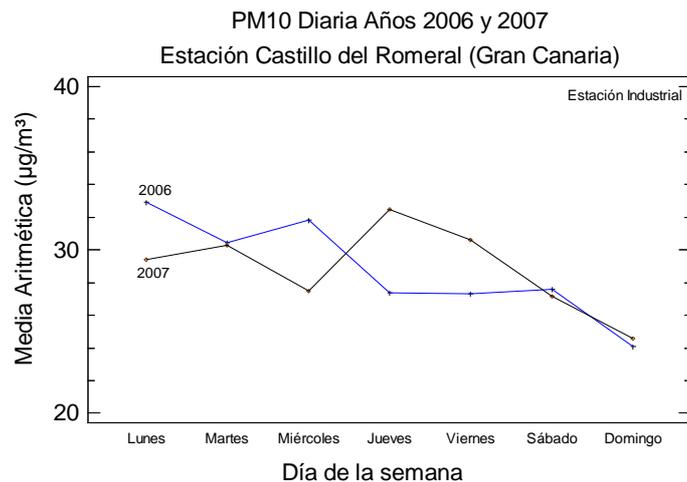


FIGURA 4.1.42.- EVOLUCIÓN DIARIA PM₁₀ ESTACIÓN CASTILLO DEL ROMERAL AÑOS 2006 Y 2007

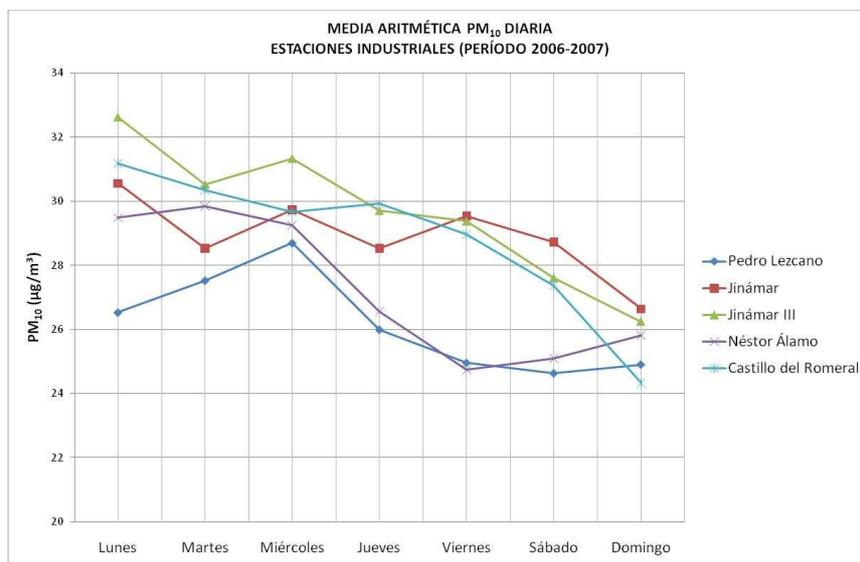


FIGURA 4.1.43.- EVOLUCIÓN DIARIA PM₁₀ ESTACIONES INDUSTRIALES PERÍODO 2006-2007

La evolución horaria en función del día de la semana se muestra en la figura 4.1.44. Las concentraciones más elevadas aparecen los martes y los jueves en horas de mediodía. Los fines de semana, sobre todo los sábados, aparecen concentraciones mayores que los lunes. El domingo las concentraciones horarias son mayores que las del viernes. Por tanto, el efecto fin de semana no se produce al igual que las estaciones urbanas, como la de Mercado Central.

4.1.5.3.3 ESTACIONES DE FONDO URBANAS

En las figuras 4.1.45 a 4.1.50 se presentan las gráficas de evolución diaria de las estaciones de fondo urbanas, según día de la semana y año.

La siguiente, Figura 4.1.51, representa la evolución diaria correspondiente a la totalidad del período 2006-2007 de dichas estaciones; de manera general se hacen las siguientes observaciones:

1.- La estación Costa Teguisse (Lanzarote), presenta una evolución parecida a la de las estaciones situadas en Fuerteventura, pero con niveles muy superiores. Además, se aprecia una bajada muy importante durante los fines de semana.

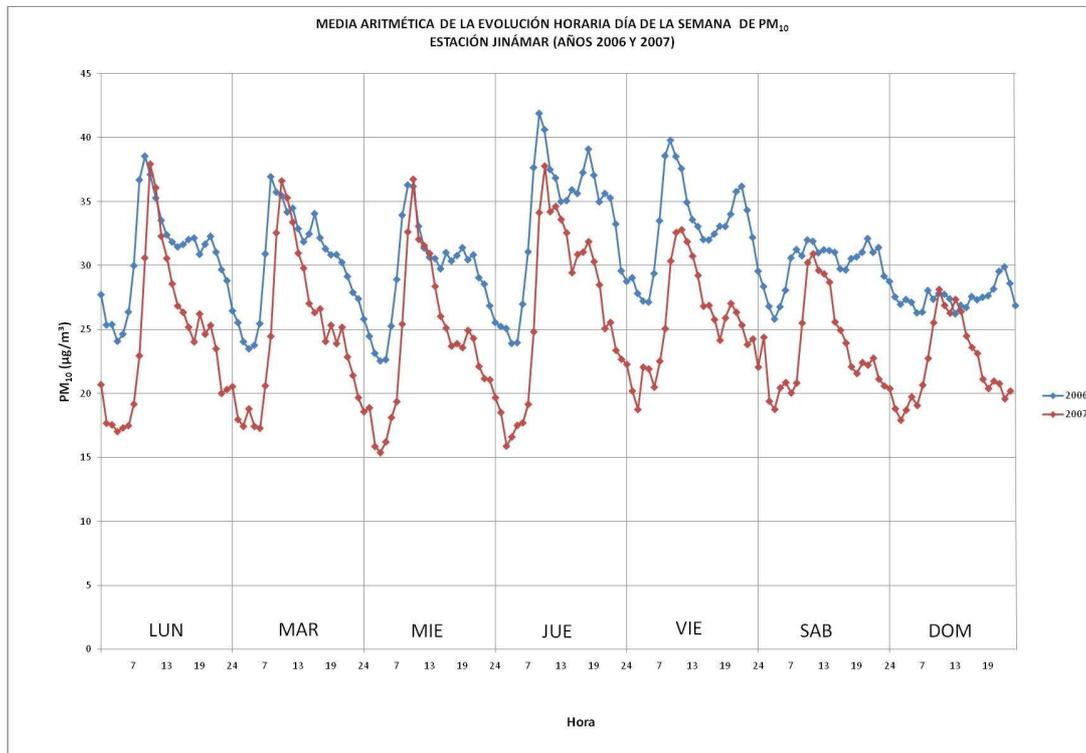


FIGURA 4.1.44.-EVOLUCIÓN HORARIA DE PM₁₀ DÍA DE LA SEMANA ESTACIÓN JINÁMAR (AÑOS 2006 Y 2007)

2.- En las estaciones de Fuerteventura, se aprecia, la misma evolución de los niveles de PM₁₀, durante la semana.

3.- En las estaciones de Gran Canaria, se observan muy pocas variaciones a lo largo de la semana, siendo las curvas muy planas. Las de las estaciones Arinaga y Playa del Inglés son prácticamente iguales. En las estaciones de Agüimes y Sardina, hay una ligera bajada de las concentraciones de PM₁₀ a lo largo del fin de semana. En Arinaga y Playa del Inglés aparece un ligerísimo repunte el fin de semana que puede explicarse en que al ser zonas de playa aumentan sus residentes y visitantes los fines de semana.

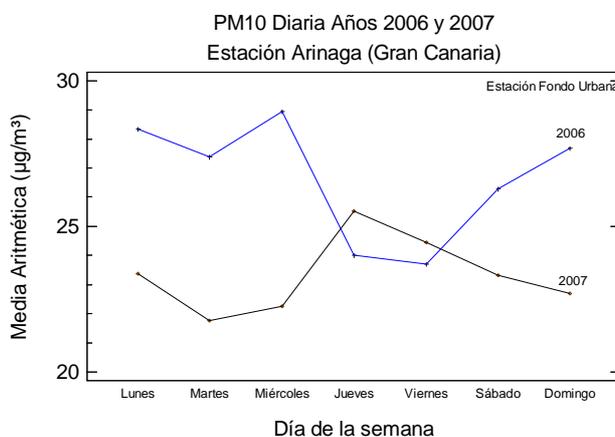


FIGURA 4.1.45.- EVOLUCIÓN DIARIA PM₁₀ ESTACIÓN ARINAGA AÑOS 2006 Y 2007

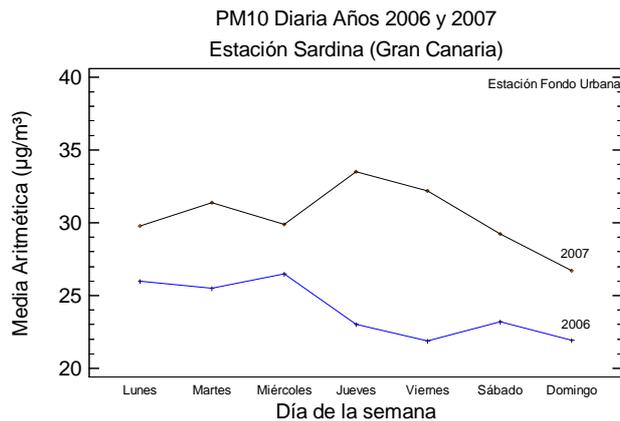


FIGURA 4.1.46.- EVOLUCIÓN DIARIA PM₁₀ ESTACIÓN SARDINA AÑOS 2006 Y 2007

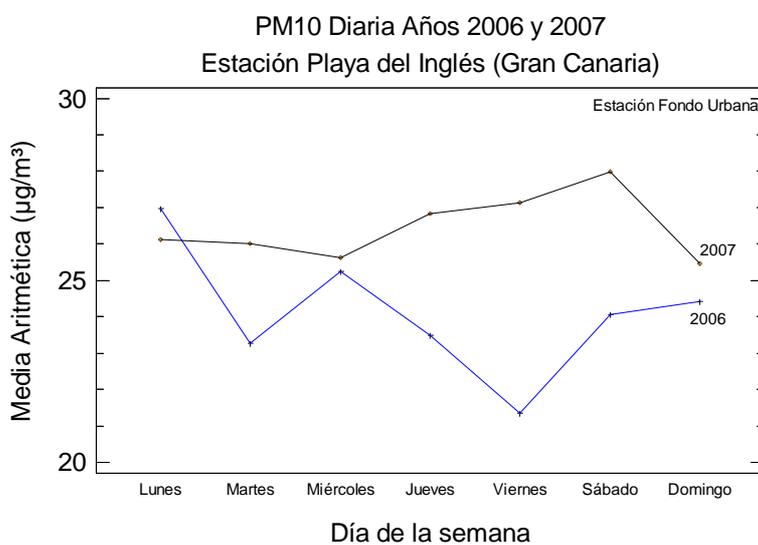


FIGURA 4.1.47.- EVOLUCIÓN DIARIA PM₁₀ ESTACIÓN PLAYA DEL INGLÉS AÑOS 2006 Y 2007

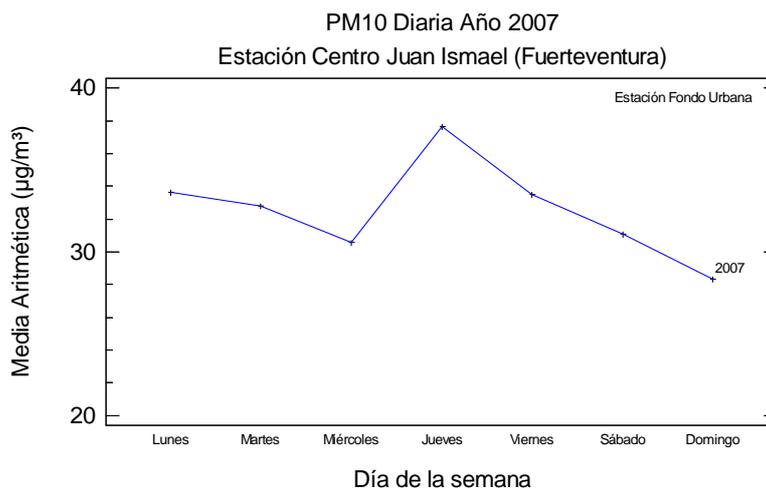


FIGURA 4.1.48.- EVOLUCIÓN DIARIA PM₁₀ ESTACIÓN CENTRO JUAN ISMAEL AÑO 2007

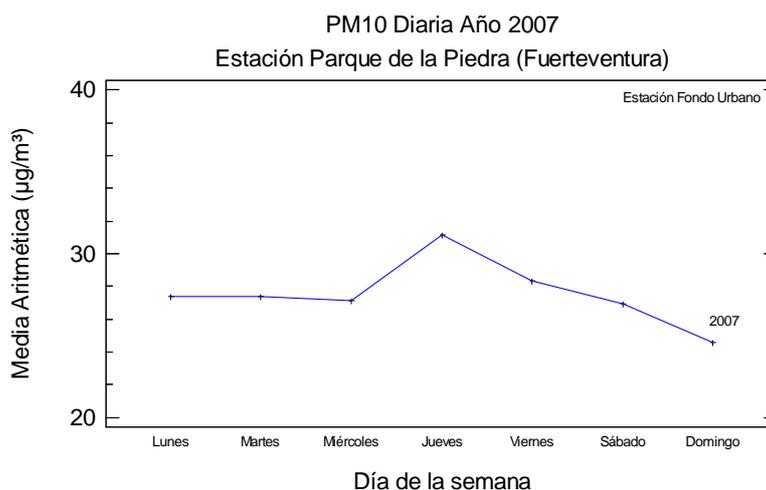


FIGURA 4.1.49.- EVOLUCIÓN DIARIA PM₁₀ ESTACIÓN PARQUE DE LA PIEDRA AÑOS 2006 Y 2007

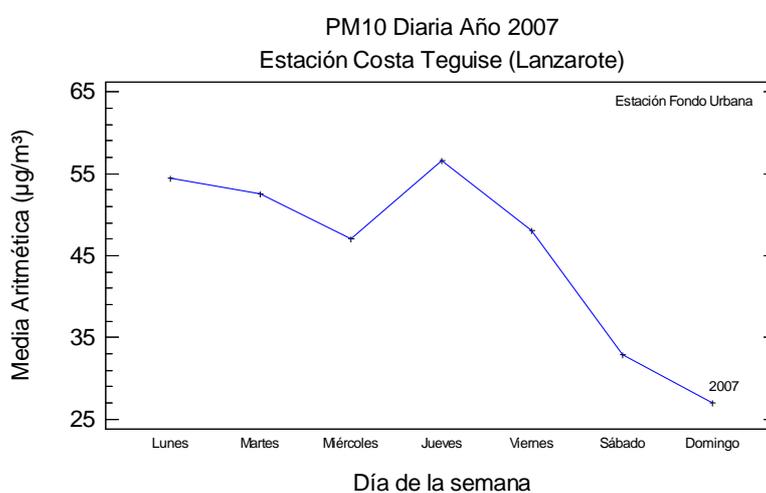


FIGURA 4.1.50.- EVOLUCIÓN DIARIA PM₁₀ ESTACIÓN COSTA TEGUISE AÑOS 2006 Y 2007

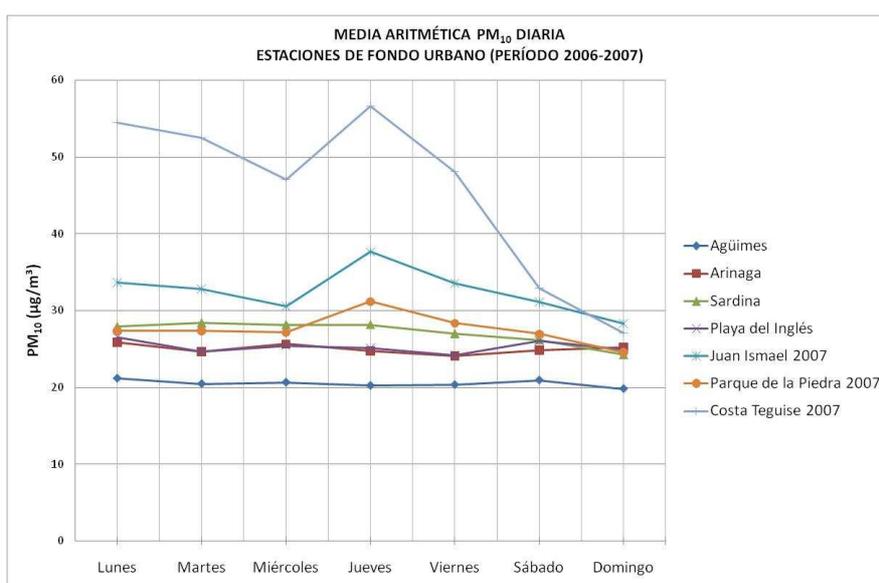


FIGURA 4.1.51.- EVOLUCIÓN DIARIA PM₁₀ ESTACIONES FONDO URBANO AÑOS 2006 Y 2007

La figura 4.1.52 muestra la evolución horaria en función del día de la semana de la estación Playa del Inglés para los años 2006 y 2007. Se observa, que todos los días de la semana, excepto el domingo, presentan un patrón parecido. La concentración de PM_{10} , aumenta paulatinamente desde aproximadamente las 7 horas hasta alcanzar su máximo diario sobre las 10-11 horas, para luego presentar dientes de sierra a lo largo de la tarde; a las 20-21 horas empieza a decrecer la concentración hasta alcanzar su mínimo en horas de madrugada. Los sábados el máximo es del mismo orden que los de los martes y miércoles. Los domingos presentan un patrón parecido a los otros días de la semana, pero con dos salvedades: la primera es que las concentraciones horarias son menores y la segunda que el máximo absoluto aparece sobre las 21 horas.

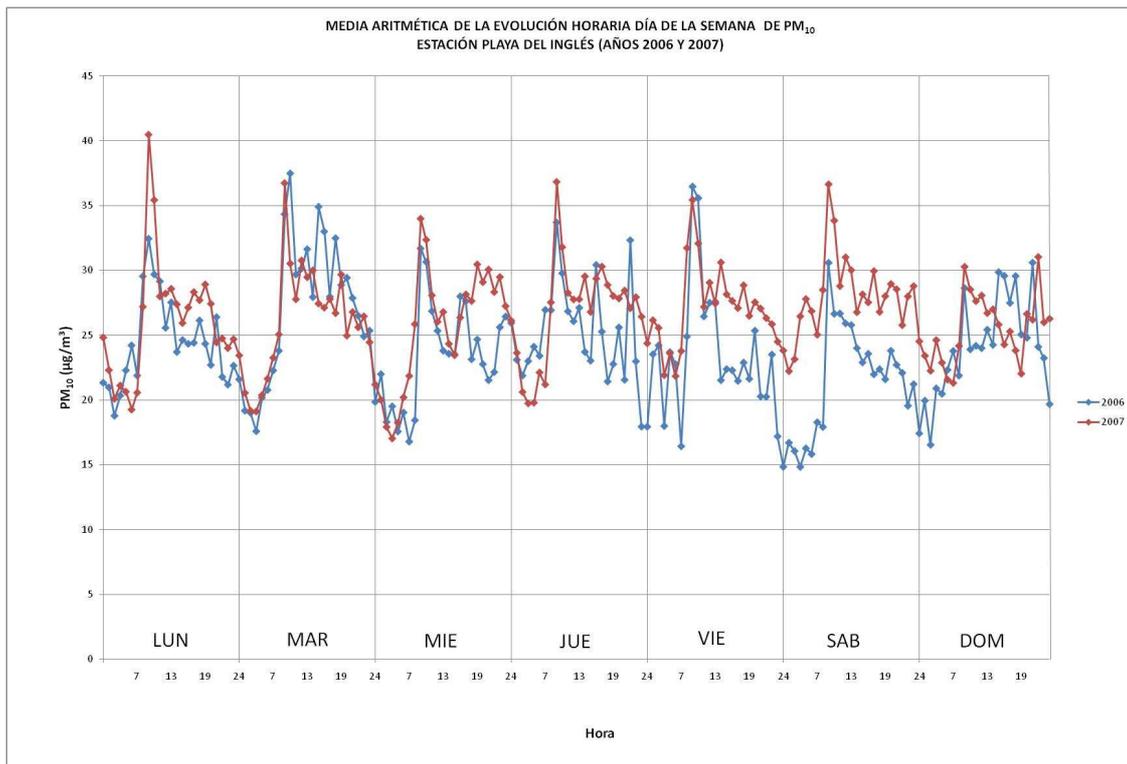


FIGURA 4.1.52.- EVOLUCIÓN HORARIA DE PM_{10} DÍA DE LA SEMANA ESTACIÓN PLAYA DEL INGLÉS (AÑO 2007)

4.1.5.4 VARIACIÓN: DÍAS ENTRE SEMANA -FINES DE SEMANA

Seguidamente se realiza una comparación entre los días laborales y los fines de semana para cada estación. En la tabla 4.1.12, se presenta para cada estación los valores medios (aritméticos) de los días laborales (lunes a viernes) y de los fines de semana (sábado y domingo). Además, se ha realizado la relación días entre-semana frente a días de fin de semana. Todo ello, se ha confeccionado para el período 2006-2007.

De manera general, se podría decir:

- 1.- En casi todas las estaciones, los niveles medios de PM_{10} de los días entre semanas, son superiores a los de los fines de semana.
- 2.- Solamente en Playa del Inglés se invierten los términos, pero con una diferencia mínima. Esto podría deberse a que dicha estación se encuentra situada en zonas de playa y ocio, y podría tener una mayor afluencia de visitantes los fines de semana.

3.- Las estaciones que presentan mayor diferencia entre los días laborables y los fines de semana en Gran Canaria son las estaciones industriales, del orden de 4 µg/m³.

4.- La estación Costa Teguisse presenta la mayor diferencia entre estos días, del orden de 24 µg/m³.

5.- Las estaciones de Fuerteventura, que son de fondo urbano, presentan diferencias de unos 4 µg/m³, como máximo.

TABLA 4.1.12.- MEDIA ARITMÉTICA DÍAS LABORALES, FIN DE SEMANA Y RELACIÓN ENTRE AMBAS (PERÍODO 2006-2007)

Estación	Días laborales (µg/m ³)	Fin de semana (µg/m ³)	Días Laborales/ Fin de semana
Mercado Central	32,9	30,9	1,06
Néstor Álamo	31,2	27,1	1,15
Pedro Lezcano	26,9	24,3	1,11
Jinámar	29,2	28,2	1,03
Jinámar III	30,6	27,3	1,12
Agüimes	20,6	20,4	1,01
Arinaga	25,0	25,0	1,00
Sardina	27,9	25,2	1,11
Castillo del Romeral	30	25,9	1,16
San Agustín	32,6	31,5	1,03
Playa del Inglés	25,2	25,5	0,99
Centro Juan Ismael	33,6	29,7	1,13
Parque de la Piedra	28,3	25,8	1,14
Arrecife	33,9	31,8	1,07
Costa Teguisse	51,7	30,1	1,72

Observando la relación días laborables/fin de semana presente en la tabla 4.1.12, la relación más alta (>1,1), exceptuando Costa Teguisse, se da en las estaciones industriales. Del mismo orden están las estaciones de Fuerteventura, consideradas de fondo urbano.

En las estaciones urbanas, la relación varía entre 1,03 de San Agustín y 1,07 de Arrecife; Mercado Central presenta 1,06. Por último, las menores relaciones (entre 0,99 y 1,01) corresponden a las estaciones de fondo urbano situadas en el sureste y sur de Gran Canaria, excepto Sardina.

En términos absolutos, las estaciones que presentan los valores más elevados los días laborables son las urbanas: Mercado Central, San Agustín y Arrecife, seguidas de las industriales y las de fondo urbana. Las estaciones de Fuerteventura, catalogadas de fondo urbano, muestran valores de urbana (Centro Juan Ismael) e industrial (Parque de la Piedra). Se debe tener en cuenta, que tanto en Fuerteventura como en Lanzarote hay terrenos eriales abandonados muy cerca de las estaciones de medida, que pueden provocar fenómenos de resuspensión local de polvos debido a los vientos que azotan a ambas islas durante todo el año. Mención aparte merece la estación de Costa Teguisse, debido a sus altos valores de PM₁₀ y su altísima relación entre días laborables y fines de semana (1,72). En dicho valor puede haber influido, además de lo comentado anteriormente, el proceso constructivo de grandes hoteles en la zona, que comporta un movimiento de tierras considerable.

Las figuras 4.1.53, 4.1.54 y 4.1.55 representan de forma gráfica los valores de la media aritmética anual de PM₁₀ días laborables y fin de semana, de las estaciones urbanas, industriales y fondo urbano, respectivamente.

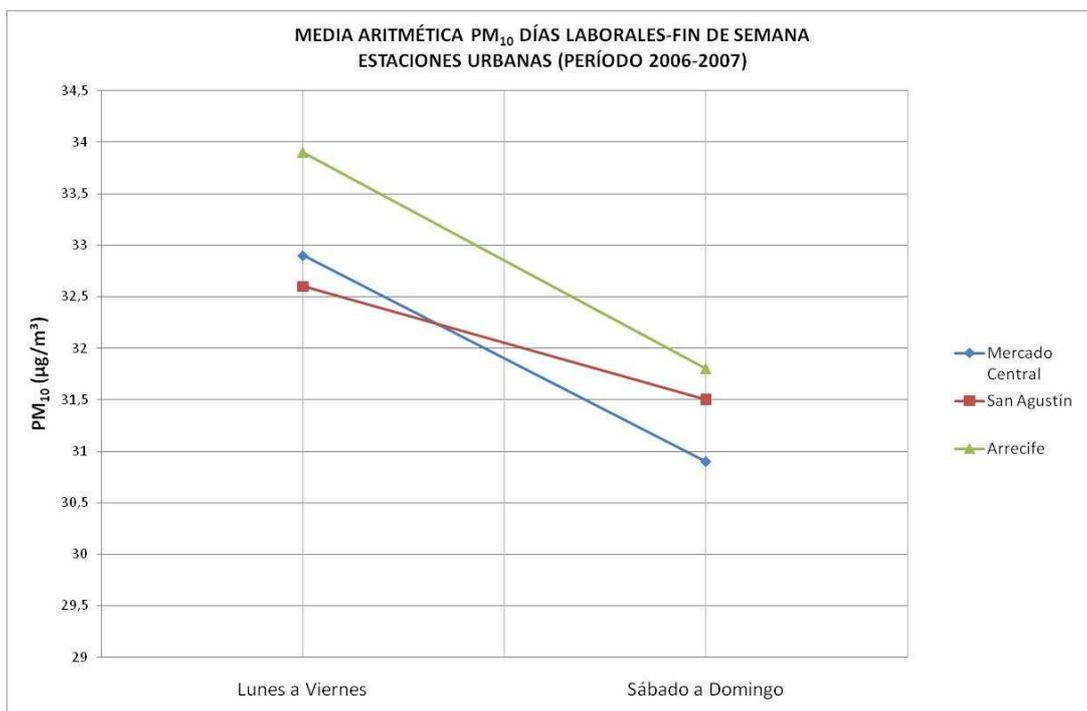


FIGURA 4.1.53.- MEDIA ARITMÉTICA ANUAL DE PM₁₀ DÍAS LABORALES-FIN DE SEMANA ESTACIONES URBANAS (PERÍODO 2006-2007)

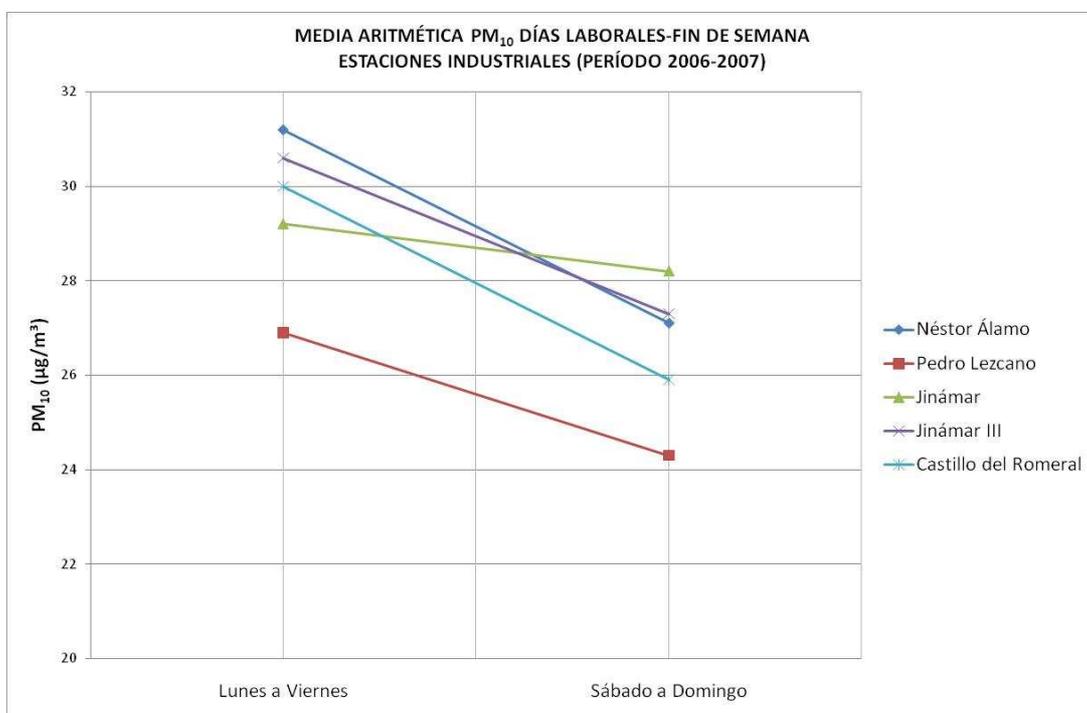


FIGURA 4.1.54.- MEDIA ARITMÉTICA ANUAL DE PM₁₀ DÍAS LABORALES-FIN DE SEMANA ESTACIONES INDUSTRIALES (PERÍODO 2006-2007)

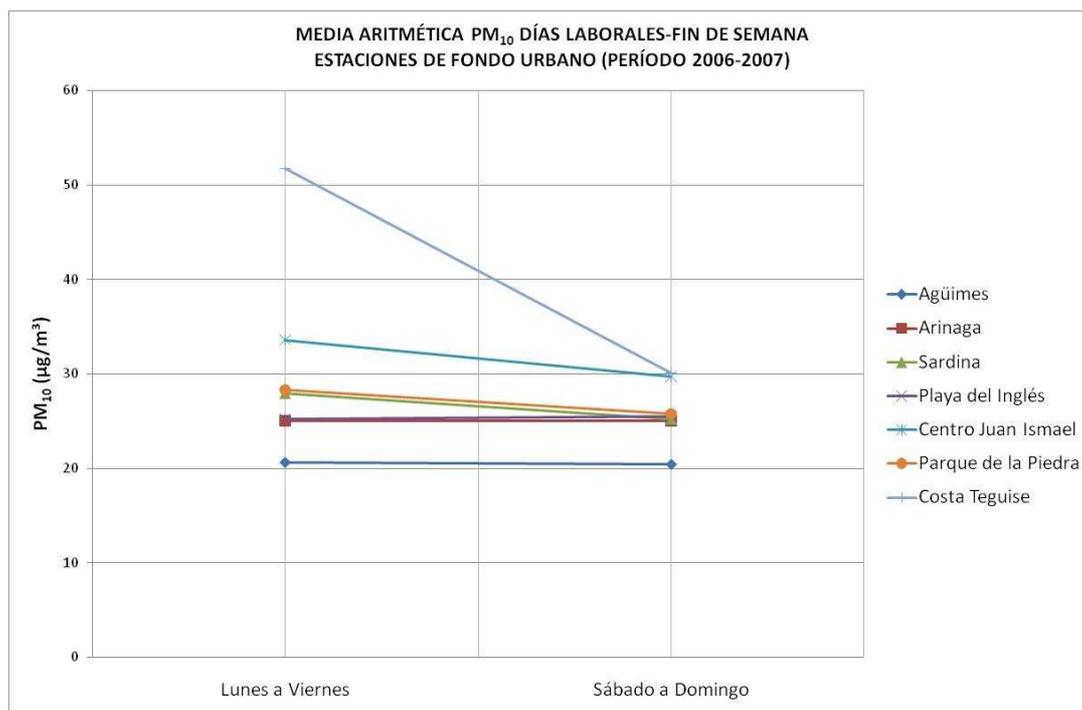


FIGURA 4.1.55.- MEDIA ARITMÉTICA ANUAL DE PM₁₀ DÍAS LABORALES-FIN DE SEMANA ESTACIONES DE FONDO URBANA (PERÍODO 2006-2007)

4.1.5.5 VARIACIÓN ESTACIONAL

El interés que presenta el análisis de la variación estacional de las concentraciones de PM₁₀ (así como las de cualquier otro contaminante) radica en que permite apreciar la posible existencia de determinados patrones de cambio debido a la influencia ejercida por las condiciones climáticas existentes en la zona de estudio, cambios que además pueden afectar a la mayor o menor actividad humana en la misma.

En el presente apartado se pretende determinar si existe cierto comportamiento estacional en el contenido atmosférico de PM₁₀ y si el mismo se manifiesta de igual forma en cada una de los tipos de estación y en cada uno de los emplazamientos sometidos a estudio. Más adelante se examinará la influencia de las diferentes variables meteorológicas.

La variación estacional se ha realizado siguiendo las diferentes estaciones del año: primavera, verano, otoño e invierno.

4.1.5.5.1 ESTACIONES URBANAS

La figura 4.1.56, representa los valores de PM₁₀, en las diferentes estaciones del año para los años 2006 y 2007. Se observa lo siguiente.

- 1.- En todas las estaciones se cumple que en primavera los valores PM₁₀ son los más bajos del año.
- 2.- Las estaciones situadas en el sur presentan los máximos valores en verano.
- 3.- Las estaciones más abiertas a los vientos alisios, suelen tener sus máximos en otoño o invierno (Mercado Central y Arrecife)

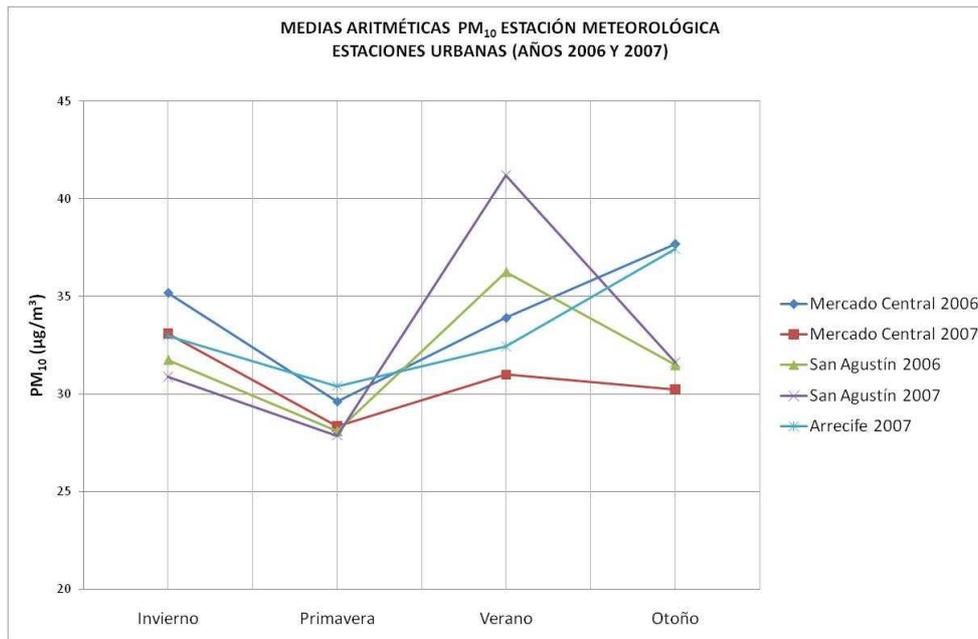


FIGURA 4.1.56.- EVOLUCIÓN ESTACIONAL PM₁₀ ESTACIONES URBANAS AÑOS 2006 Y 2007

4.1.5.5.2 ESTACIONES INDUSTRIALES

La figura 4.1.57, representa la evolución estacional de las localizaciones industriales. Se observa lo siguiente:

- 1.- Los máximos se presentan durante el otoño o invierno.
- 2.- Aparecen localizaciones que tienen un comportamiento muy diferente en 2006 y 2007; tal es el caso de Pedro Lezcano. Para ellas sería conveniente hacer un estudio temporal más amplio.
- 3.- La estación del Castillo del Romeral ubicada muy cerca del sur geográfico de Gran Canaria, presenta su máximo en verano, al igual que la estación urbana de San Agustín y tiene un comportamiento muy similar en ambos años.

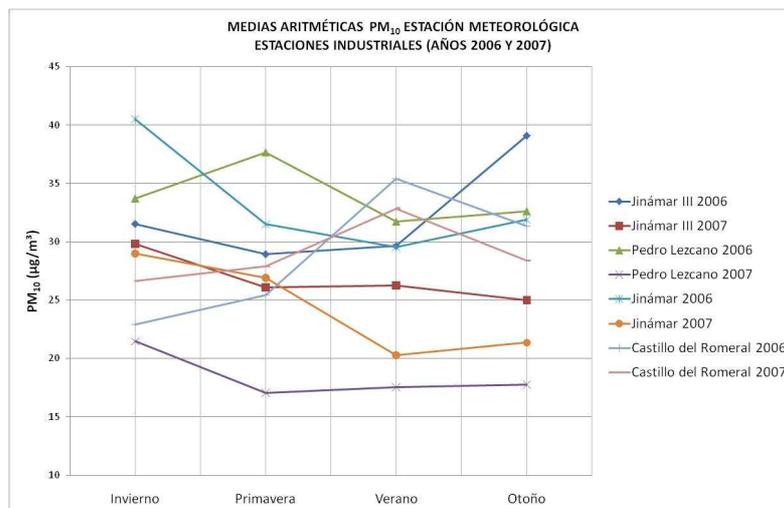


FIGURA 4.1.57.- EVOLUCIÓN ESTACIONAL PM₁₀ ESTACIONES INDUSTRIALES AÑOS 2006 Y 2007

4.1.5.5.3 ESTACIONES DE FONDO URBANAS

La figura 4.1.58 representa la evolución estacional de PM₁₀ de las localizaciones de fondo urbano. Observando la figura, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- 1.- Todas las localizaciones presentan su mínimo en primavera.
- 2.- Las del sureste de Gran Canaria, presentan su máximo, mayoritariamente, en otoño o invierno, aunque las variaciones estacionales son pequeñas.
- 3.- Fuerteventura y Lanzarote acusan sus máximos en verano, al igual que la estación Playa del Inglés situada en el sur de Gran Canaria.
- 4.- Costa Tegüise, se destaca de todas las demás localizaciones, marcando unos niveles superiores a todas ellas, especialmente en verano.

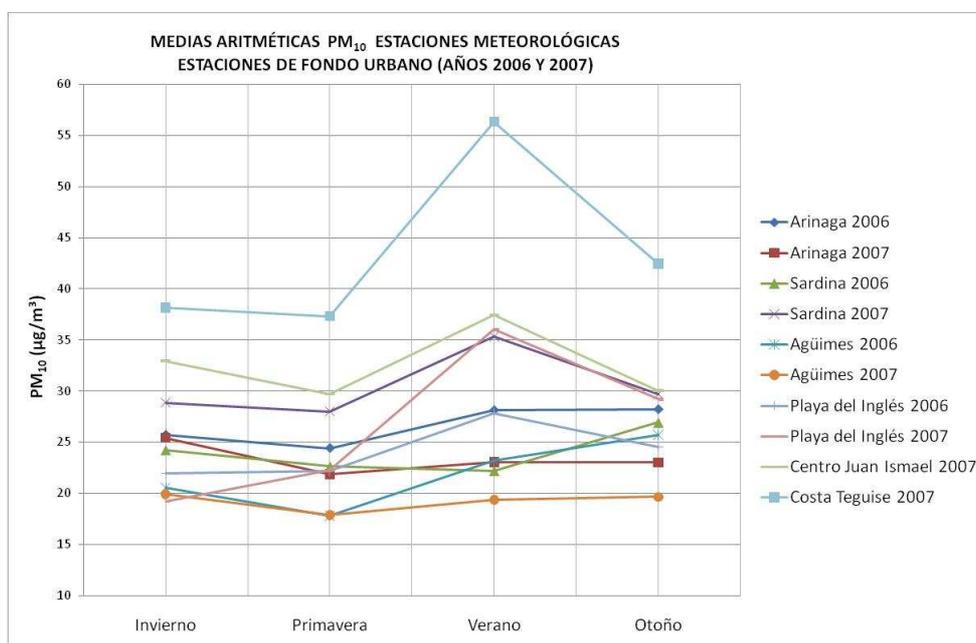


FIGURA 4.1.58.- EVOLUCIÓN ESTACIONAL PM₁₀ ESTACIONES FONDO URBANO AÑOS 2006 Y 2007

4.1.5.5.4 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

En los apartados anteriores se han comentado los valores obtenidos en los diferentes tipos de estaciones de medida, según la época del año. Se ha observado, de manera general, que las estaciones presentan sus máximos en el período otoño-invierno, pero en las situadas al sur de Gran Canaria, Fuerteventura y Lanzarote, el máximo se observa en verano. Ello se debe muy posiblemente a que estas estaciones están más afectadas por los vientos procedentes del continente africano.

A continuación se realiza un análisis de la varianza (procedimiento ANOVA simple), que está diseñado para construir un modelo estadístico que describa el impacto de un solo factor categórico (invierno, primavera, verano, otoño), sobre una variable dependiente (PM₁₀). Este procedimiento se aplica a estaciones tipo; en nuestro caso las estaciones urbanas están representadas por la de Mercado Central, las industriales por Jinámar y las de fondo urbano por Playa del Inglés.

La tabla ANOVA descompone la varianza de PM₁₀ en dos componentes: uno entre grupos (invierno, primavera, verano, otoño) y el otro dentro de grupos o intragrupos. La tabla 4.1.13, muestra los parámetros obtenidos para Mercado Central, una vez aplicado el análisis de varianza. La razón-F, que en este caso es igual a 36,65, es el cociente entre los estimados entre grupos e intragrupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de PM₁₀ entre las estaciones del año, con un nivel del 95,0% de confianza.

TABLA 4.1.13.- TABLA ANOVA ESTACIÓN MERCADO CENTRAL (PERÍODO 2006-2007)

Fuente	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón F	Valor <i>p</i>
Entre grupos	72383,6	24127,9	36,65	0,0000
Intra grupos	1,13637. 10 ⁷	658,306		
Total (Corr.)	1,14361.10 ⁷			

Esto no implica que cada una de las medias sea significativamente diferente las otras. Simplemente confirma que no todas las medias son iguales. Determinar qué medias son significativamente diferentes requiere pruebas adicionales. Por ello, se ha aplicado la prueba de *rangos múltiples*. La realización de ésta prueba implica la elección de un intervalo; los más comúnmente elegidos son el *LSD* (menor diferencia significativa) de Fisher y el *HSD* (honesta diferencia significativa) de Tukey. El procedimiento de Tukey es más conservador que el de Fisher, ya que hace más difícil declarar que cualquier par específico de medias sea significativamente diferente. Debido a que algunas estaciones presentan escasez de datos en algunos de los años estudiados, se ha considerado elegir el intervalo de Tukey. El período considerado ha sido 2006-2007 en su conjunto.

Una vez realizado la prueba de rangos múltiples a los datos registrados en la estación Mercado Central y considerando este intervalo, se han obtenido los resultados mostrados en la tabla 4.1.4.

TABLA 4.1.14.- PRUEBA DE RANGOS MÚLTIPLES MERCADO CENTRAL MÉTODO: 95,0 % TUKEY HSD

Estación	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Primavera	4331	28,9926	X
Verano	4362	32,4594	X
Otoño	4264	33,8574	XX
Invierno	4309	34,1411	X

En dicha tabla, aparecen grupos homogéneos marcados con X. Un grupo homogéneo es aquel que no presenta diferencias significativas. En este caso, la primavera está en un grupo por sí sola, indicando este hecho que es significativamente diferente a las demás. Lo mismo sucede con el invierno, significativamente diferente del verano, algo que no ocurre en otoño.

Un gráfico útil para determinar qué medias son significativamente diferentes es el de medias (figura 4.1.59). Los intervalos que se traslapan verticalmente no son significativamente diferentes. Se observa, que el intervalo de primavera no se traslapa con ningún otro y por tanto es significativamente diferente a los demás.

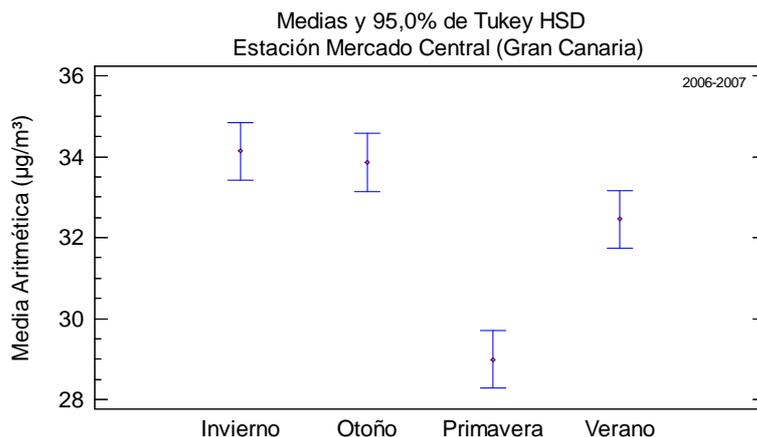


FIGURA 4.1.59.- MEDIAS ESTACIÓN MERCADO CENTRAL (ANÁLISIS DE VARIANZA)

Una vez explicado el método para Mercado Central, se aplica el mismo procedimiento para Jinámar y Playa del Inglés, exponiendo los gráficos de medias que se muestran en las figuras 4.1.60 y 4.1.61. En ambas figuras se observan que se forman grupos significativamente diferentes, ya que no se traslapan entre sí los intervalos, por lo que se puede decir que al no aparecer ningún grupo homogéneo las épocas del año son significativamente diferentes entre sí, en ambas estaciones.

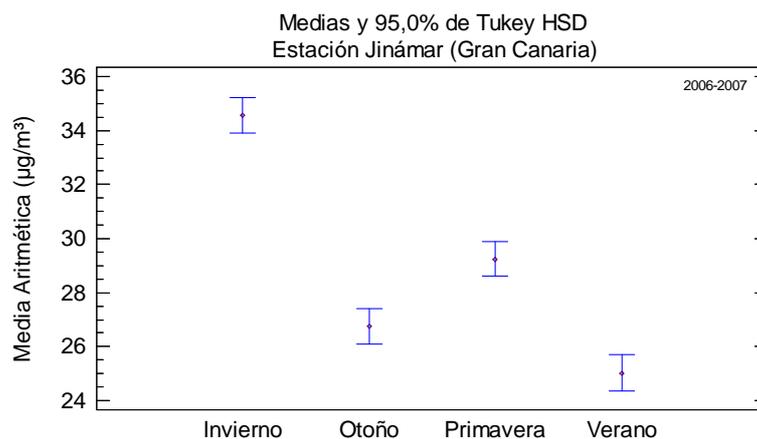


FIGURA 4.1.60.- MEDIAS ESTACIÓN JINÁMAR (ANÁLISIS DE VARIANZA)

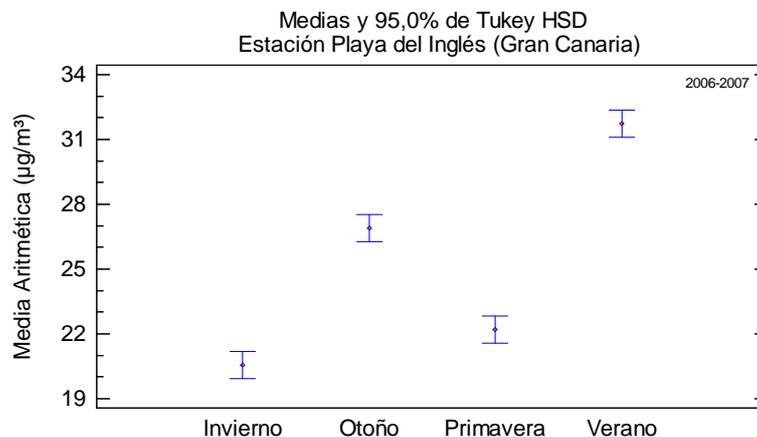


FIGURA 4.1.61.- MEDIAS ESTACIÓN PLAYA DEL INGLÉS (ANÁLISIS DE VARIANZA)

4.1.6 EXCEDENCIAS DE PM₁₀ SEGÚN LA DIRECTIVA 2008/50/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO

La Directiva 2008/50/CE del parlamento europeo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa, en su Anexo XI, apartado B, marca los valores límites permitidos de PM₁₀; dichos valores se muestran en la tabla 4.1.15.

TABLA 4.1.15.- VALORES LÍMITES DE PM₁₀ (DIRECTIVA 2008/50/CE)

VALORES LÍMITES DE PM ₁₀			
Período medido	Valor límite	Margen de tolerancia	Fecha en la que debe alcanzarse
1 día	50 µg/m ³ , que no podrá superarse más de 35 veces por año civil	50 %	En vigor desde 1 de enero de 2005
Año civil	40 µg/m ³	20 %	En vigor desde 1 de enero de 2005

De acuerdo con esta directiva, se ha procedido a determinar las concentraciones medias de PM₁₀ (anuales y diarias), y compararlas con la misma, anotando el número de excedencias; estas se exponen en la tabla 4.1.16.

TABLA 4.1.16.-MEDIA ARITMÉTICA ANUAL Y DIARIA CON MARGEN DE TOLERANCIA DE PM₁₀ DE LAS ESTACIONES DE MEDIDA DE LA PROVINCIA DE LAS PALMAS (AÑOS 2006 Y 2007)

ESTACIÓN	TIPO ESTACIÓN TIPO ÁREA	AÑO 2006			AÑO 2007		
		MEDIA AÑO CIVIL ≤ 40 µg/m ³	MEDIA DIARIA ≥ 50 µg/m ³ (≤ 35 veces año civil)	50 % MARGEN TOLERANCIA MEDIA DIARIA	MEDIA ANUAL ≤ 40 µg/m ³	MEDIA DIARIA ≥ 50 µg/m ³ ≤ 35 veces año civil)	50 % MARGEN TOLERANCIA MEDIA DIARIA
Agüimes	Fondo Urbana	21,8	15	8	19,2	9	2
Arinaga	Fondo Urbana	26,6	19	12	23,3	16	3
Jinámar III	Industrial Urbana	31,8	31	15	26,8	24	3
Néstor Álamo	Industrial Urbana	26,0	27	9	-	-	-
Mercado Central	Tráfico Urbana	33,4	19	12	30,5	24	2
San Agustín	Tráfico Urbana	31,9	35	12	32,7	41	15
Playa del Inglés	Fondo Urbana	24,1	14	5	26,4	21	3
Castillo del Romeral	Industrial Urbana	28,8	25	11	28,8	32	5
Sardina	Fondo Urbana	24,0	15	8	30,4	37	7
Pedro Lezcano	Industrial Urbana	33,5	34	9	18,4	3	0
Jinámar	Industrial Urbana	32,8	37	13	24,5	21	4
Parque de la Piedra	Fondo Urbana	-	-	-	27,5	15	1
Centro Juan Ismael	Fondo Urbana	-	-	-	33,7	45	11
Arrecife	Tráfico Urbana	-	-	-	33,4	46	5
Costa Teguiise	Fondo Urbana	-	-	-	45,7	82	35

Tal como puede observarse (en color rojo en la tabla), exceptuando la estación situada en Costa Teguisse que presenta una concentración media anual de 45,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en ninguna de las estaciones de control se supera el valor de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estipulado para este periodo. Con respecto a la media diaria, que no puede superar los 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 35 días al año, se aprecia que es sobrepasada ligeramente, en las estaciones de Jinámar en el año 2006 (37 días) y Sardina en 2007 (37 días) y en mayor medida en las estaciones de San Agustín, sur de Gran Canaria (en 2006 y 2007 con 40 y 41 días respectivamente), Centro Juan Ismael en la isla de Fuerteventura (45 días) y Arrecife de Lanzarote (46 días).

La estación Costa Teguisse presenta un número de excedencias bastante alto (82 días) y se mantiene en el límite para el 50 % de tolerancia, cifrado en 35 días. Esta estación, como se ha comentado anteriormente, se encuentra emplazada en un terreno árido por lo que se ve más afectada que las otras por fenómenos de resuspensión local de polvos, como lo demuestra el hecho de que el mayor número de excedencias se produzca los meses de julio y agosto (con 17 y 16 excedencias respectivamente) que es cuando los vientos alisios tiene su mayor intensidad y velocidad y el terreno se encuentra más seco. Estos fenómenos podrían ser más acusados, debido a que en la zona se ha construido en los últimos años, una serie de grandes hoteles que han comportado un movimiento de tierras considerable.

4.1.7 ORIGEN DE LAS MASAS DE AIRE

Con el fin de profundizar más en el estudio de las concentraciones de PM₁₀ se ha analizado el origen de las masas de aire que alcanzaron a las estaciones de medida durante el año 2006. Para ello se utilizó el modelo de dispersión HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model), desarrollado por el Air Resources Laboratory de NOAA, Maryland, EEUU, calculándose las retrotrayectorias de cinco días para los 365 días del año. Los cálculos se realizaron a las 12:00 horas UTC y a intervalos de 12 horas, siendo tres las alturas consideradas: las de la estación de medida, 500 m y 1000 m (Viana et al., 2002; Querol et al., 2004; Moreno et al., 2006; Escudero et al., 2007; Alonso-Pérez et al., 2007; Zabalza et al., 2007; Karlsson et al., 2008)

El origen de las masas de aire es diverso por lo que para facilitar y clarificar el presente estudio se han considerado cuatro zonas geográficas: Atlántico Norte (AN), Atlántico Suroeste (ASW), Norte de África (NAF) y Europa (E).

La zona Atlántico Norte recoge masas de aire procedentes de: Atlántico Norte, Atlántico Noroeste y Atlántico Oeste. Las masas de aire procedentes del Atlántico Suroeste suelen estar asociadas a bajas presiones que implican, generalmente, la aparición de lluvias en las islas (Font, 1956). Las masas de aire asociadas al norte de África son las que proceden del este, sureste y sur de dicho continente. Las asociadas a Europa provienen del continente europeo, aunque podrían tener recorrido marítimo o africano.

En la tabla 4.1.17 se muestra el número de días por mes, en los que las masas de aire llegaron a la estación Mercado Central procedentes de cada una de estas zonas durante el año 2006. Asimismo también se indica su frecuencia anual.

En dicha tabla, se observa claramente que estas masas de aire vinieron mayoritariamente del Atlántico Norte (73%), siendo las procedentes del cercano continente africano mucho menos frecuentes de lo que cabría suponer por su cercanía. De hecho estas últimas se dieron en la misma proporción que las del continente europeo (14% y 13% de los días respectivamente).

TABLA 4.1.17.- NÚMERO DE DÍAS Y FRECUENCIA MEDIA ANUAL DEL ORIGEN DE LAS MASAS DE AIRE

	Origen Masa de Aire			
	Atlántico Norte	Atlántico Suroeste	Norte de África	Europa
Enero	16	2	8	6
Febrero	19	3	3	3
Marzo	23	0	5	3
Abril	25	1	2	2
Mayo	25	0	0	6
Junio	30	0	0	0
Julio	28	0	0	3
Agosto	22	0	0	9
Septiembre	20	0	7	3
Octubre	23	6	0	4
Noviembre	15	3	12	0
Diciembre	9	0	13	9
Total días	255	13	50	47
Frecuencia Media Anual (%)				
	70 %	3 %	14 %	13 %

La frecuencia de las trayectorias, expuestas en la tabla 4.1.17, está relacionada con la meteorología de las Islas Canarias, fuertemente influenciada por las altas presiones del anticiclón de las Azores (figura 4.1.62) y en menor medida por el del Norte de África cuyos desplazamientos originan la circulación y los vientos de las islas (Viana, 2003).

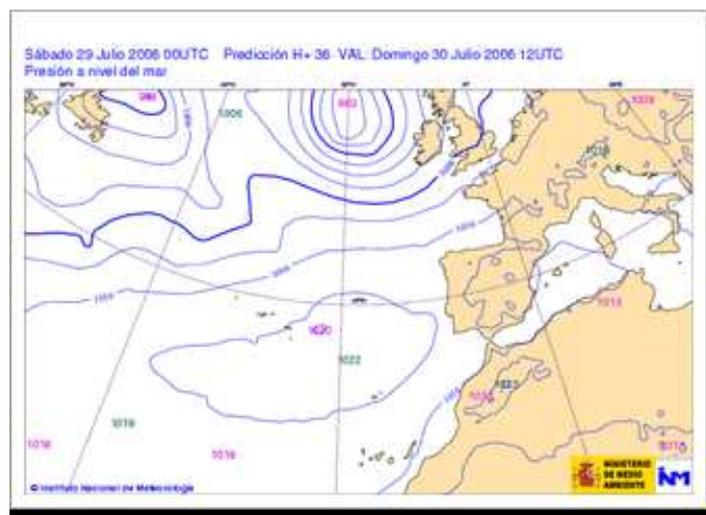


FIGURA 4.1.62.- ANTICICLÓN DE LAS AZORES (30 JULIO 2006)

Las masas de aire que alcanzan el archipiélago de origen africano (más frecuentes en las estaciones de otoño-invierno) se deben a un sistema de altas presiones que, situado sobre el Norte de África, genera un flujo de aire del este sobre las islas. En verano, debido a las altas temperaturas que se alcanzan en el continente africano, se genera un sistema de bajas presiones en superficie sobre el norte de África, llamada *depresión o baja térmica del Sahara*. Ello provoca la aparición de los vientos alisios en las capas bajas de la atmósfera con dirección norte-noreste (Bustos et al., 1998). Esta es la razón por la que las masas de aire entre los meses de mayo y septiembre proceden mayoritariamente del Atlántico Norte. Por otro lado, el anticiclón del norte de África se desplaza en altura y provoca en las capas altas de la atmósfera de las islas de mayor relieve masas de aire de origen africano.

En los anticiclones predomina la subsidencia, es decir, el aire que desciende. Esta situación provoca un calentamiento y como consecuencia favorece la formación de una inversión térmica conocida como inversión *por subsidencia*.

La atmósfera de la región en la que se encuentran las islas Canarias se caracteriza por un régimen generalizado de subsidencia en la troposfera libre. La presencia frecuente de un anticiclón tropical en sus inmediaciones, la frecuencia de los vientos alisios que soplan en los niveles más bajos de la troposfera sobre un océano relativamente frío (corriente fría de Canarias) y la cercanía del litoral africano, determinan una inversión térmica por subsidencia, asociada a los vientos alisios denominada *inversión del alisio* (Dorta, 1996; Bustos, 1998; Torres, 2001). Los vientos alisios del norte-noreste provienen del borde meridional del anticiclón de las Azores y son muy constantes, con una frecuencia media de 50 % en enero y de 70 % en verano siendo su velocidad media mayor debido a la intensificación del anticiclón (Font, 1956).

La inversión térmica asociada a estos vientos da como resultado dos regiones bien diferenciadas: la capa límite marítima en la baja troposfera y la troposfera libre por encima de ella. En los niveles más bajos, el aire aparece húmedo y seco y por encima de la base de la inversión seca y templada. En verano, se refuerza la capa de inversión debida a la subsidencia y se desplaza a menores altitudes. La base de la inversión *del alisio* oscila entre los 700 m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar) en verano y los 1500 m.s.n.m. el resto del año, variando su espesor entre los 600 m de enero y los 300 m de julio; esta situación provoca una reducción de la capa de mezcla marítima (Font, 1956; Dorta, 1996; Rodríguez, 1999; Torres et al., 2001; Viana, 2002; Guerra, 2004). En verano, el transporte de las masas de aire procedentes del norte de África se produce por encima de la capa límite marítima; por eso en los lugares que están situados por encima de la inversión del alisio llega aire seco y cálido y en los que están por debajo de esta inversión, aire fresco y húmedo. En invierno, el transporte de masas de aire procedentes del norte de África se produce dentro de la capa límite. (Prospero et al., 1981, Chiapello et al., 1995 y 1997, Bustos et al., 1998, Rodríguez 1999, Rodríguez et al., 2001, Torres et al., Viana 2003).

Cuando aparecen invasiones de aire caliente africano, generalmente en verano, se sigue manteniendo la capa húmeda inferior, aunque su espesor disminuye considerablemente. Debido a la corriente fría de Canarias, en la costa africana la temperatura de agua del mar es menor que en las islas, para la misma latitud, y, principalmente en verano, se forma una “barrera de aire frío”, que las invasiones de aire caliente del interior del continente africano no pueden mover por lo que tienen que remontarla para penetrar en el océano. Se da el caso paradójico de que la influencia de las masas de aire caliente africano se puede sentir más en las islas que en la misma costa sahariana. Una vez salvada la barrera, puede entrar en contacto con la superficie fría del mar, descendiendo su temperatura lo suficiente para que al llegar a las islas dé lugar a una importante inversión de temperatura sobre el nivel del mar. En otros casos más frecuentes, detrás de dicha barrera se mantiene el aire frío marítimo de la capa húmeda superficial y el aire caliente llega a las islas sin modificación importante de sus características físicas (debido a la presencia de la capa húmeda superficial de aire frío que impide que el aire caliente entre en contacto con la superficie del mar) (Font, 1956).

4.1.8 INTRUSIONES DE MASAS DE AIRE DE ORIGEN AFRICANO

Las islas Canarias están situadas muy cerca de la costa noroeste de África, siendo la isla de Fuerteventura la más próxima al continente africano, (unos 100 km aproximadamente). Ello

comporta que las islas estén afectadas, en diferentes épocas del año, por episodios de calima, que se caracterizan por un elevado aporte de material particulado a la atmósfera del archipiélago (Alonso-Pérez et al., 2007; Querol X. et al., 2006; Querol X. et al., 2004). El origen de éste material particulado suele situarse, predominantemente, en el desierto del Sahara, cuando las masas de aire que alcanzan las islas provienen del este o del noreste con recorrido africano.

También, pueden proceder (aunque menos frecuentemente) del desierto del Sahel (Viana et al., 2002; Viana, 2003), y las masas de aire suelen tener un origen del sureste o sur. En ambos casos el aporte de material particulado es importante, siendo a veces extraordinariamente elevado. Dichos episodios se suelen presentar en los meses de otoño-invierno, aunque pueden ocurrir a lo largo de todo el año.

La selección de los días de intrusiones africanas se ha realizado a partir de la información suministrada en la dirección web (<http://www.calima.ws/>), fruto del convenio de colaboración para el *“estudio y evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado en suspensión en España”* entre el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas. En la figura 4.1.63, a modo de ejemplo, se presenta los períodos de intrusión africana sobre Canarias en el período enero-abril de 2006, tal como aparecen en la página web anteriormente mencionada. Así, en el mes de enero de 2006, los días de intrusiones africanas confirmados fueron: 1, 10, 12, 13, 14, 22, 23 y 24.

Una vez realizada la selección se ha aplicado el: *“Procedimiento para identificación de episodios naturales africanos de PM₁₀ y PM_{2,5} y la demostración de causa en lo referente a las superaciones del valor límite diario de PM₁₀”*, que ha sido elaborado por varios organismos (entre ellos el Instituto de Ciencias de la Tierra, CSIC) para los Ministerios de Medio Ambiente de España y Portugal y está basado en el procedimiento admitido y publicado por la Comisión Europea (<http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/finalwgreportes.pdf>) para identificar las superaciones del valor límite diario de PM₁₀ causadas por aportes naturales.

Dicho procedimiento recomienda realizar una serie de tareas para asignar un origen africano a las superaciones del valor límite diario de PM₁₀ registradas en las estaciones de medida.

En esta tesis, una vez estudiado el procedimiento propuesto, se ha resumido la identificación de los días de intrusiones africanas en el estudio de los siguientes puntos:

- 1.- Interpretación de las situaciones meteorológicas diarias. En este trabajo, se han utilizado mapas de isobaras facilitados por la AEMET (Agencia Estatal de Meteorología) en los niveles de superficie, 700 hPa y 500 hPa.
- 2.- Obtención de trayectorias de masas de aire diarias calculadas a las 12 horas, para 750, 1500 y 2500 m.s.n.m. y cinco días atrás, mediante el modelo Hysplit
- 3.- Consulta de los mapas de índices de aerosoles OMI.
- 4.- Consulta de mapas del modelo meteorológico de mesoescala Skiron.
- 5.- Identificación, en todas las estaciones de medida, de los días de origen africano que superen el valor límite diario de PM₁₀ y cálculo del aporte africano.

4.1.8.1 ESTACIONALIDAD DE LAS INTRUSIONES DE MASAS DE AIRE AFRICANAS

Tal como se ha comentado, los episodios de intrusiones africanas en Canarias se suelen dar con mayor frecuencia los meses de otoño-invierno y destacan por su gran aporte de material particulado; la frecuencia anual es de 6-7 episodios por año con una duración de 2 a 10 días. En verano, también se producen períodos de intrusiones africanas que se distribuyen generalmente durante los meses de julio y agosto, aunque a finales de verano (en septiembre), suelen aparecer estos períodos con elevada carga de material particulado y con una duración de varios días como ocurrió en 2006 (*de 12 días de duración y, 55 superaciones de los valores límites de PM₁₀ en el cómputo global de las estaciones y 4 superaciones en la media de las estaciones de medida de Gran Canaria*) (ver tablas Anexo D). A continuación, se tratan a modo de ejemplo, varios casos de intrusiones africanas, en diferentes períodos estacionales.

										
ENERO 2006										
	CANARIAS (MADEIRA)	OESTE	SUROESTE	SURESTE	LEVANTE	CENTRO	NOROESTE	NORTE	NORESTE	BALEARES
COMBUSTIÓN BIOMASA										
EUROPEO SULFATOS										
AFRICANOS	1 10 12-14 22-24 (23-24)									

FEBRERO 2006										
	CANARIAS (MADEIRA)	OESTE	SUROESTE	SURESTE	LEVANTE	CENTRO	NOROESTE	NORTE	NORESTE	BALEARES
COMBUSTIÓN BIOMASA							7-9 11-13			
EUROPEO SULFATOS										
AFRICANOS	7-8 (8) 12 (12-13)	10-14	9-14	10-11	10-11	10-14	10-13			

MARZO 2006										
	CANARIAS (MADEIRA)	OESTE	SUROESTE	SURESTE	LEVANTE	CENTRO	NOROESTE	NORTE	NORESTE	BALEARES
COMBUSTIÓN BIOMASA									25-26	
EUROPEO SULFATOS										
AFRICANOS	7-9 31									

ABRIL 2006										
	CANARIAS (MADEIRA)	OESTE	SUROESTE	SURESTE	LEVANTE	CENTRO	NOROESTE	NORTE	NORESTE	BALEARES
COMBUSTIÓN BIOMASA										
EUROPEO SULFATOS										
AFRICANOS	1-3 (3) 26-28 (27)	4 24-27	3-4 15 23-27	3-4 23-28	3-4 22-27	3-4 23-26	23-26	4 25-26	3-4 24-25	4 15-16 22-27

FIGURA 4.1.63.- DÍAS DE INTRUSIONES DE MASAS DE AIRE AFRICANO SOBRE LAS ISLAS CANARIAS CORRESPONDIENTES AL AÑO 2006

4.1.8.1.1 INTRUSIONES DE OTOÑO

El mes de noviembre de 2006, se presentó con varios días de intrusiones africanas, tal como puede apreciarse en la figura 4.1.64, donde se muestra gráficamente las concentraciones medias diarias en la estación Mercado Central. Así, por ejemplo, el día 11 se llegó a alcanzar los 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

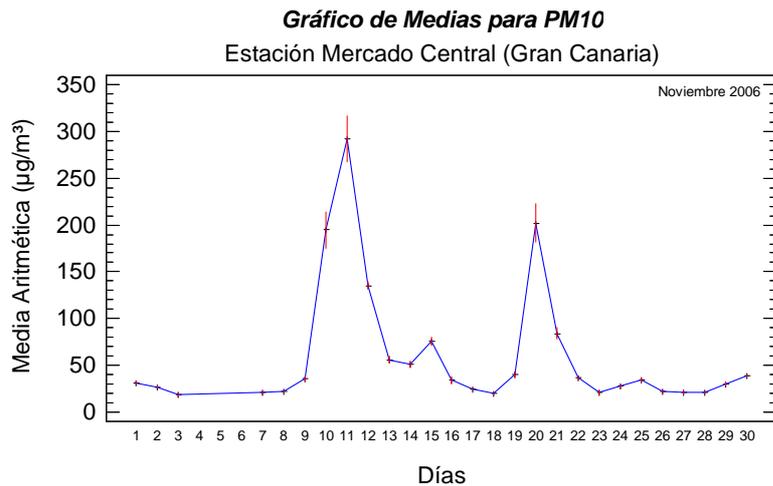


FIGURA 4.1.64.- MEDIAS DIARIAS DE PM₁₀ ESTACIÓN MERCADO CENTRAL (NOVIEMBRE 2006)

En la figura 4.1.65, se observa la distribución horaria a lo largo de dicho día. Como puede apreciarse, ésta distribución presenta un aspecto bimodal con los máximos situados entre las 5 y las 7 de la mañana el primero y entre las 18 y 21 horas el segundo, siendo este último de mucha mayor intensidad. Por el contrario las concentraciones mínimas se han registrado en las horas centrales del día (entre las 10 y las 14 horas). Creemos que esta disminución ha sido motivada en gran medida por la velocidad del viento. El examen de los datos de viento facilitados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) (tabla 4.1.18), refleja un incremento de la velocidad del mismo en horas de mediodía. En horas de tarde, con el descenso de tal velocidad, hay un aumento de la concentración atmosférica de PM₁₀ como se observa claramente en la figura 4.1.65.

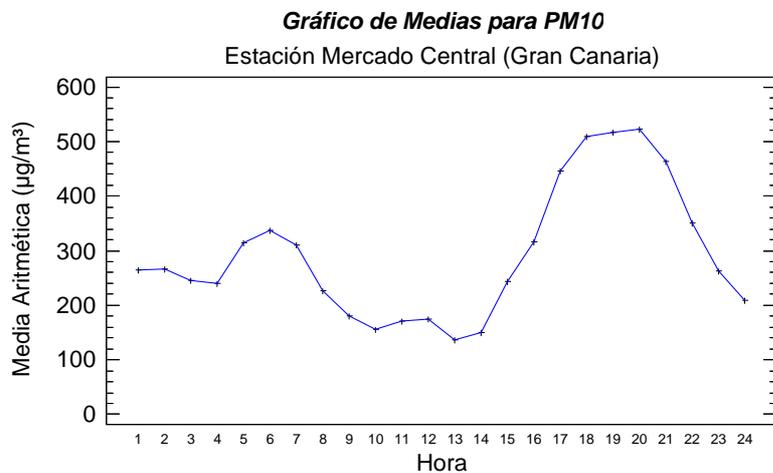


FIGURA 4.1.65.- VALORES HORARIOS DE PM₁₀ ESTACIÓN MERCADO CENTRAL (11/11/2006)

TABLA 4.1.18.- DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DE VIENTO DEL DÍA 11/11/2006 EN LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA SAN CRISTÓBAL (LAS PALMAS DE GRAN CANARIA) FUENTE: AEMET

Estación Meteorológica San Cristóbal (Hora)	Dirección Viento (grados)	Velocidad Viento (km/h)
00	130	2
07	170	26
13	140	36
18	170	11

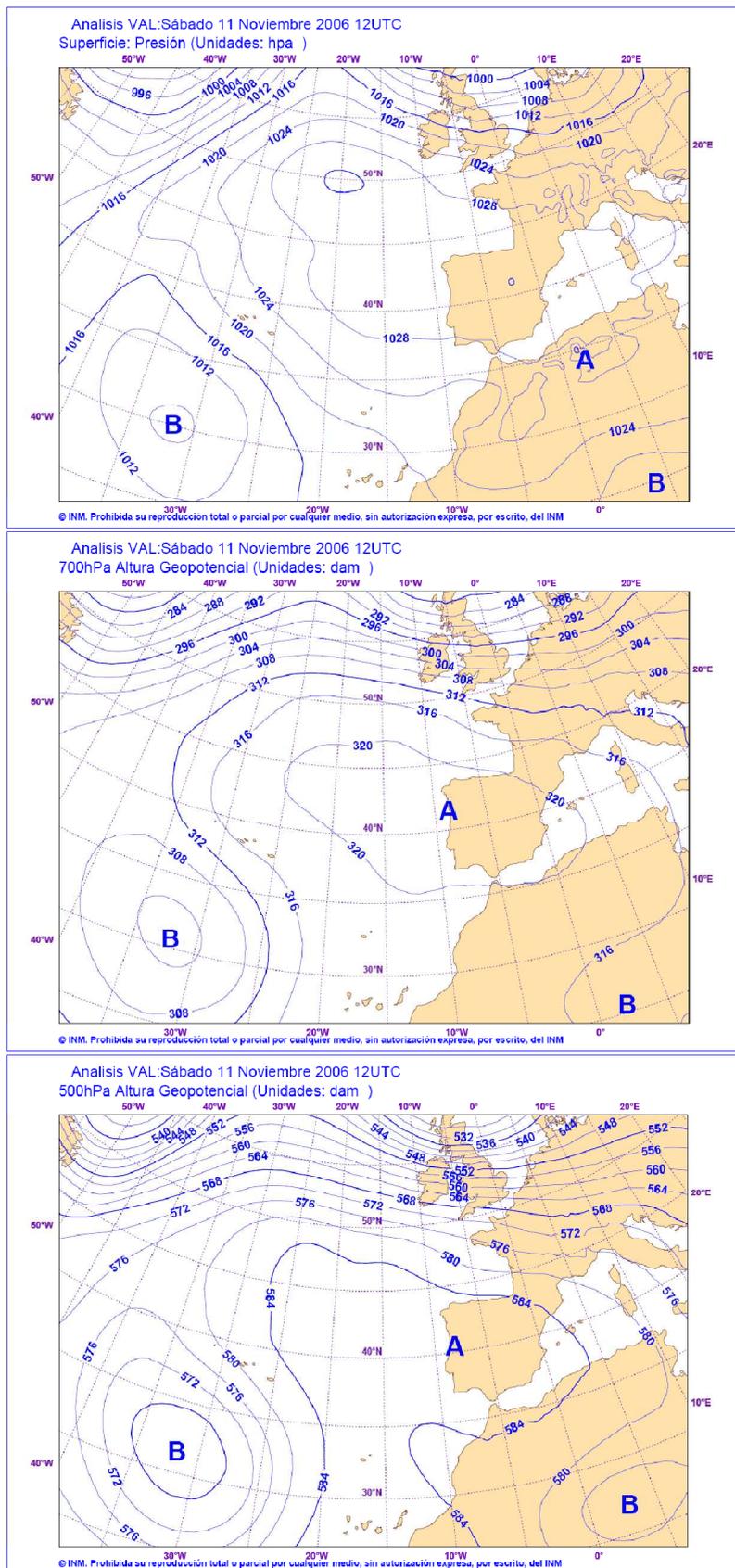


FIGURA 4.1.66.- PRESIÓN A NIVEL DE SUPERFICIE, 700 hPa Y 500 hPa PREVISTA PARA EL DÍA 11/11/2006

La figura 4.1.66, representa los mapas de isobaras facilitados por la AEMET, a nivel de superficie, 700 hPa y 500 hPa, para el día que se está analizando (11 de noviembre de 2006). Se observa que la presencia de una depresión al suroeste de las islas Azores y un anticiclón instalado en el norte de África, da lugar a un flujo de aire del sureste proveniente del interior del desierto del Sahara, que aporta polvo en suspensión a las islas Canarias.

Por otro lado, como se observa en las retrotrayectorias del Hysplit obtenidas a 33, 500 y 1000 m (figura 4.1.67) todas ellas (indicadas con distintos colores en la figura) provienen del interior del desierto del Sahara y tienen dirección sureste.

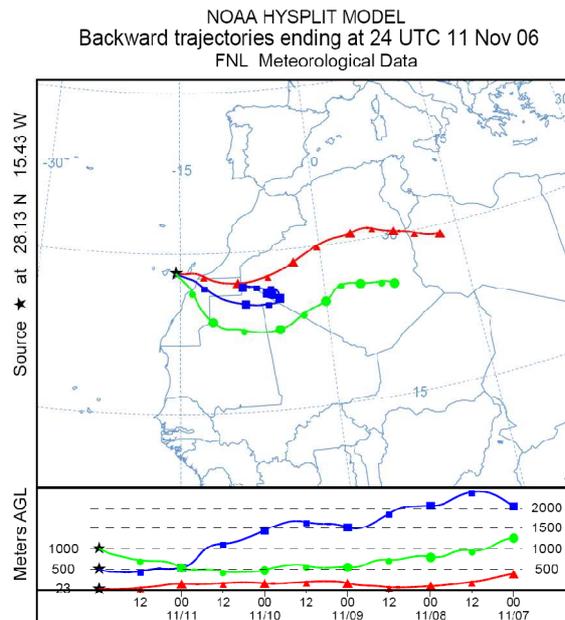


FIGURA 4.1.67.- RETROTRAYECTORIAS ESTACIÓN MERCADO CENTRAL (11/11/2006)

En la figura 4.1.68, se puede observar la carga de polvo prevista por el modelo Skiron a las 18 UTC, y cómo las islas quedan claramente, bajo la capa de polvo africano.

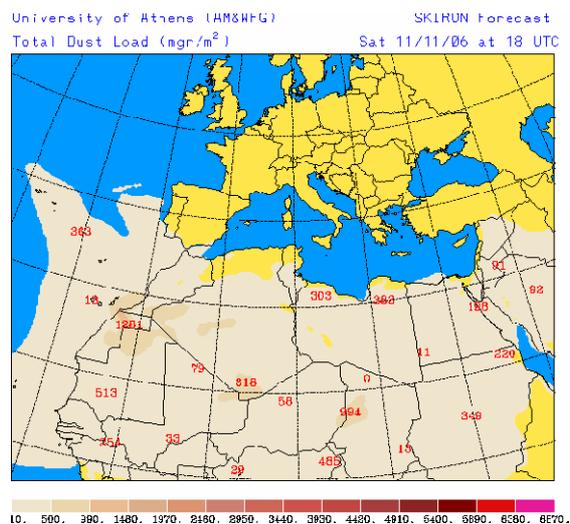


FIGURA 4.1.68.- CARGA TOTAL DE POLVO PREDICHA POR EL MODELO SKIRON PARA EL DÍA 11/11/2006 A LAS 18 HORAS UTC (Fuente: www.calima.ws/)

En la figura 4.1.69, se observa el índice de aerosoles OMI que afecta a la provincia de Las Palmas. Si el transporte de polvo se hubiera producido a nivel de superficie (500-1000 m de

altura), no hubiese sido detectado por los mapas OMI, por lo que en el día señalado este también se produjo en altura.

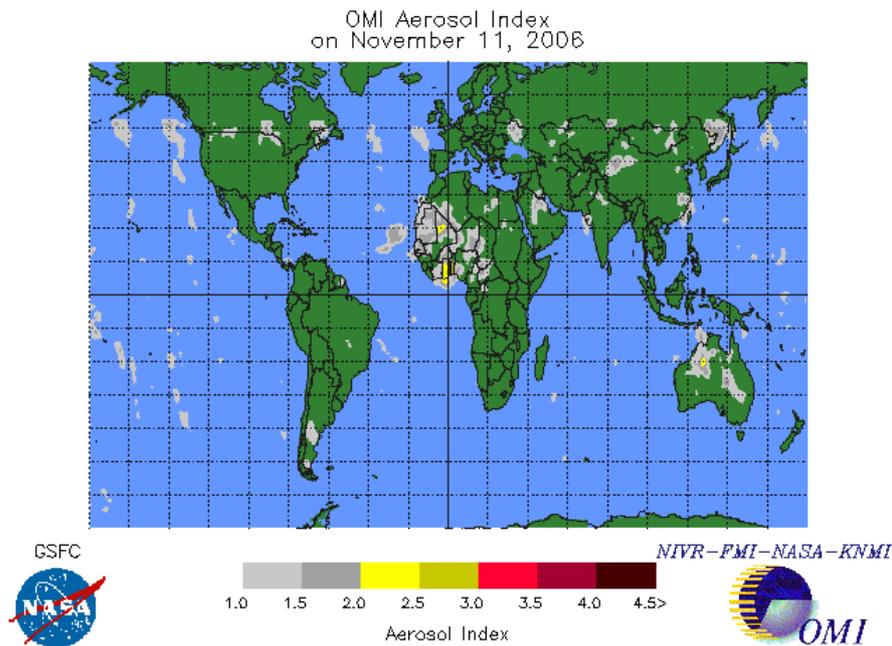


FIGURA 4.1.69.- MAPA DE ÍNDICE DE AEROSOLES OMI (NASA) 11/11/2006

Con el fin de analizar más detenidamente la influencia de estas masas de polvo en el día señalado, se ha aplicado el modelo de emisiones de PM₁₀ provenientes de tormentas de polvo del programa Hysplit. Los resultados obtenidos, que se presentan en la figura 4.1.70, indican que la cantidad de partículas PM₁₀ fue significativa en alturas inferiores a 1500 m, y elevada por debajo de los 1000 m. La tormenta afectó en mayor medida a Fuerteventura y Lanzarote, como fue predicho en diferentes modelos presentes en www.calima.ws/, entre ellos el Skiron.

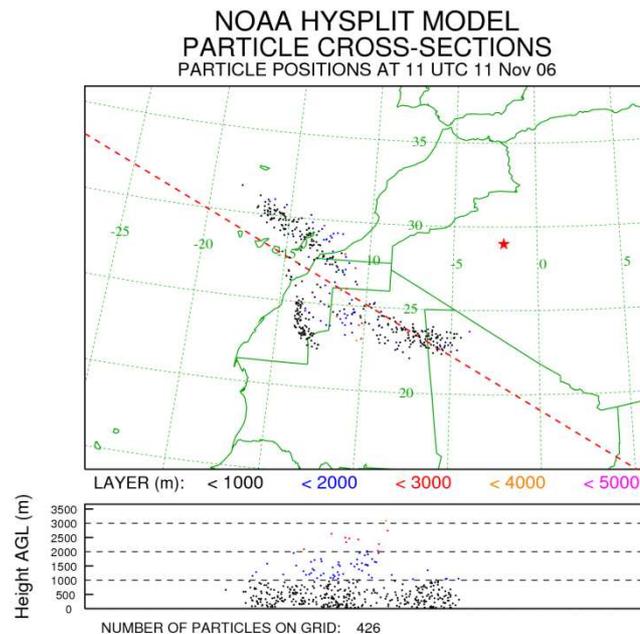


FIGURA 4.1.70.- SIMULACIÓN DE TORMENTA DE POLVO SOBRE LAS ISLAS CANARIAS (11/11/2006)

La figura 4.1.71, representa las retrotrayectorias obtenidas con el programa Hysplit e implementadas en el Google Earth para una mejor visualización.



FIGURA 4.1.71.- RETROTRAYECTORIAS (GOOGLE EARTH) ESTACIÓN MERCADO CENTRAL (11/11/2006)

La figura 4.1.72 presenta una combinación de la imagen tomada por el satélite Terra de la Nasa y el Google Earth el día 11 de noviembre de 2006 a las 11:15 UTC, en la que se muestra la tormenta de polvo sobre Canarias; se observa una mayor incidencia de la tormenta sobre las islas de Fuerteventura y Lanzarote.



FIGURA 4.1.72.- IMAGEN TOMADA (11/11/2006) A LAS 11:15 UTC POR EL SATÉLITE TERRA DE LA NASA E IMPLEMENTADA EN GOOGLE EARTH

4.1.8.1.2 INTRUSIONES DE INVIERNO

Algunas de las intrusiones de invierno se caracterizan por tener alguna de las componentes, si no todas, provenientes del Sahel. Durante este período, a veces, se detecta una franja de elevada temperatura superficial sobre dicho desierto, en la que se producen importantes procesos convectivos que inyectan cantidades importantes de material particulado en la capa de mezcla (Viana, 2003). Se ha tomado como ejemplo de intrusión africana *de invierno* el día 11 de enero de 2007 y se han realizando las retrotrayectorias para la estación Mercado Central, debido no solo a que presenta el valor medio diario de PM₁₀ más elevado de la estaciones de Gran Canaria para ese día, sino también el mayor valor medio diario de PM₁₀ de todo el año 2007 de la estación Mercado Central. En la tabla 4.1.19, aparecen las concentraciones medias diarias de las estaciones de la provincia de Las Palmas, pudiéndose notar que son las situadas en Fuerteventura y Lanzarote, las que han presentado los mayores registros.

TABLA 4.1.19.- VALORES MEDIOS DIARIOS DE PM₁₀ EN LAS ESTACIONES DE LA PROVINCIA DE LAS PALMAS (11/01/07)

Día	Estaciones														Media
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Ar.	Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	J.I.	P.P.	A.	C.T.	
11 Enero 2007	Valor Medio Diario de PM ₁₀ (µg/m ³)														
	95,4	52,9	75,8	88,2	66,3	81,4	54,0	85,3	77,0	43,7	123,5	95,7	106,0	-	80,4

De acuerdo con lo comentado anteriormente, se pasa a representar (figura 4.1.73), los valores medios diarios de PM₁₀ del día 11 de enero de 2007 en la estación Mercado Central. Como puede observarse, la evolución horaria vuelve a ser bimodal, con el modo principal situado también en horas de tarde.

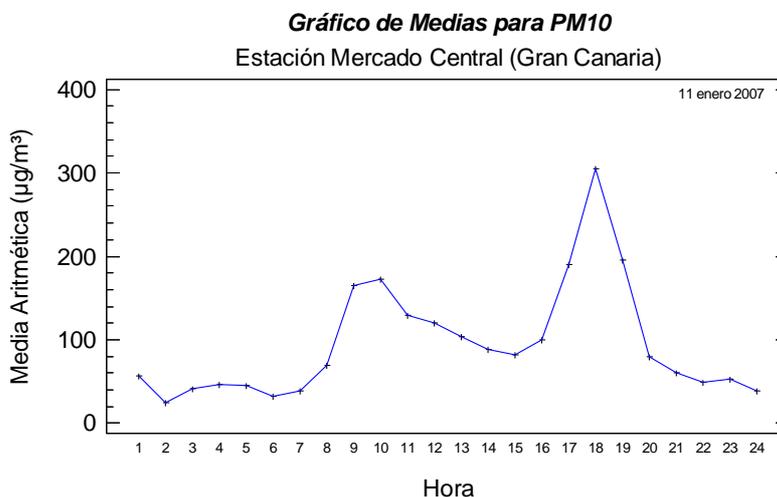


FIGURA 4.1.73.- VALORES HORARIOS DE PM₁₀ ESTACIÓN MERCADO CENTRAL (11/01/2007)

Estas intrusiones invernales se caracterizan por la presencia de un anticiclón sobre el norte de África, que en ésta ocasión abarca el Atlántico Occidental (Oeste), la península Ibérica y el Mediterráneo, como se muestra en el mapa de isobaras a nivel de superficie (figura 4.1.74). Ello produce, un flujo de aire del interior del desierto del Sahara y en altura del desierto del Sahel, con la presencia de una borrasca (que se observa en los niveles de 700 y 500 hPa), que produjo lluvias en días posteriores, concretamente el día 16 de noviembre con 77 L/m² en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria.

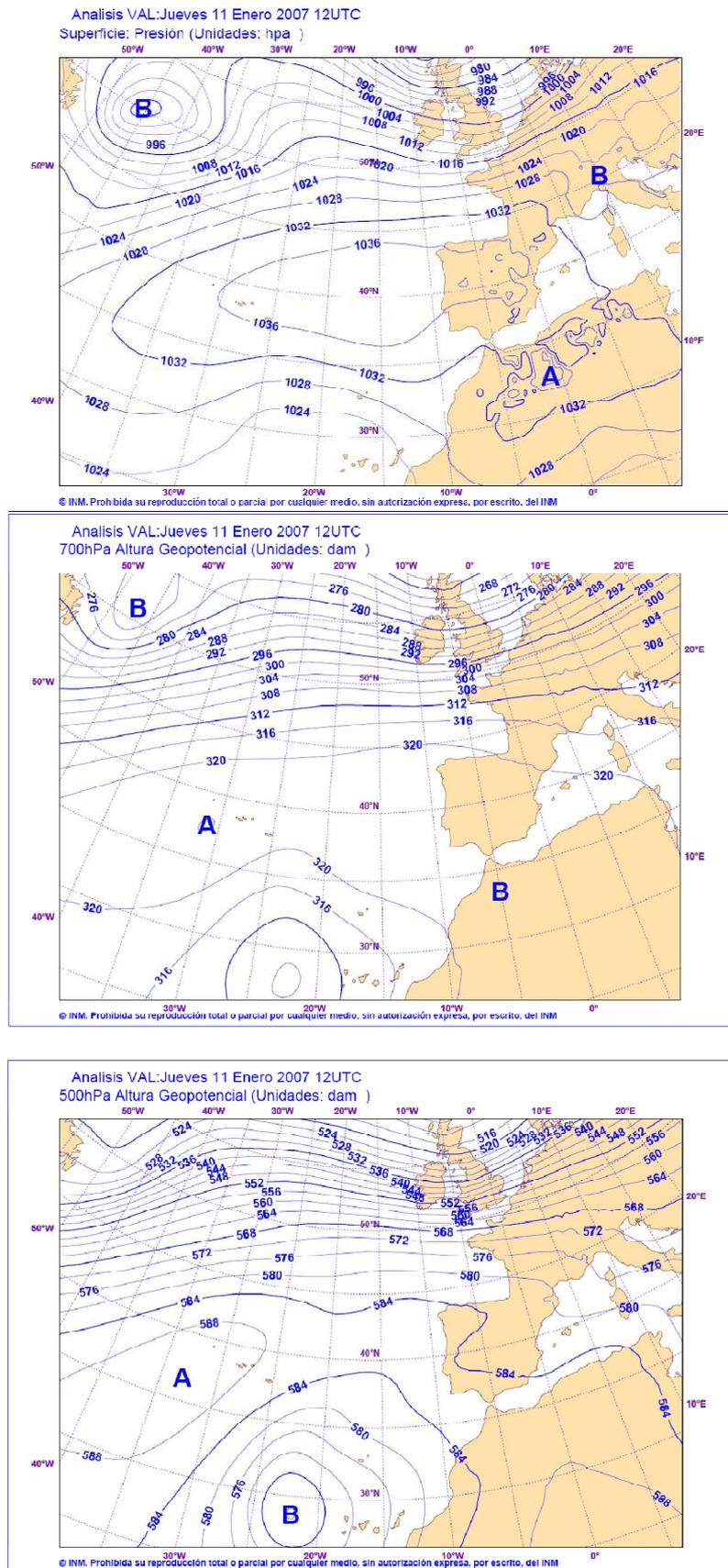


FIGURA 4.1.74.- PRESIÓN A NIVEL DE SUPERFICIE, 700 hPa Y 500 hPa PREVISTA PARA EL DÍA 11/01/2007

El estudio de retrotrayectorias (figura 4.1.75) se realizó partiendo tres días antes, comenzando el día 8 y terminando el día 11 a las 8 horas UTC del día en cuestión. Tal como puede observarse en dicha figura, las masas de aire en alturas de 500 y 1500 m procedían del sur del desierto del Sahara y la de 2500 m del desierto del Sahel.

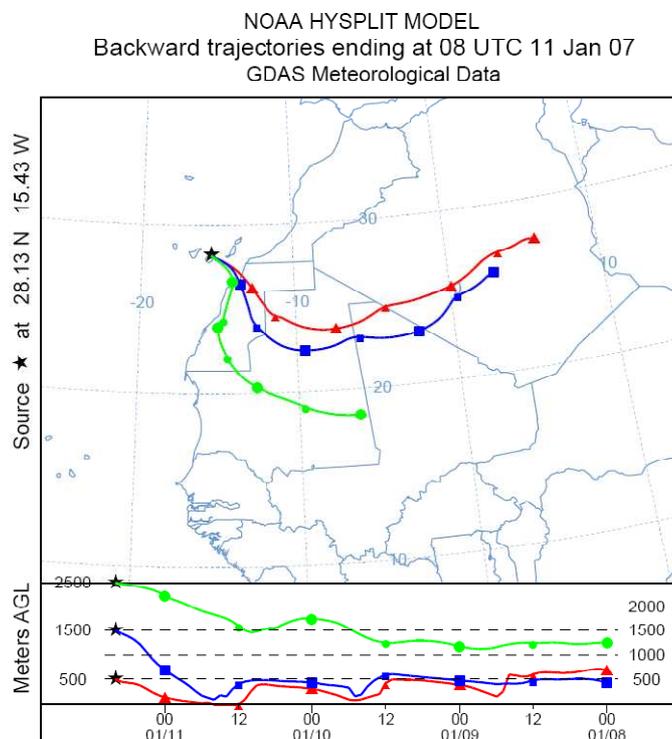


FIGURA 4.1.75.- RETROTRAYECTORIAS ESTACIÓN MERCADO CENTRAL (11/01/2007)



FIGURA 4.1.76.- RETROTRAYECTORIAS (GOOGLE EARTH) ESTACIÓN MERCADO CENTRAL (11/01/2007)

El modelo Skiron preveía para las 6 UTC carga de polvo sobre Canarias, el desierto del Sahel y el sur del desierto del Sahara, aumentando dicha carga en horas de la tarde y extendiéndose al norte del desierto del Sahara. En la figura 4.1.77, se observa la carga de polvo en el norte de África y la pluma que afecta a las islas.

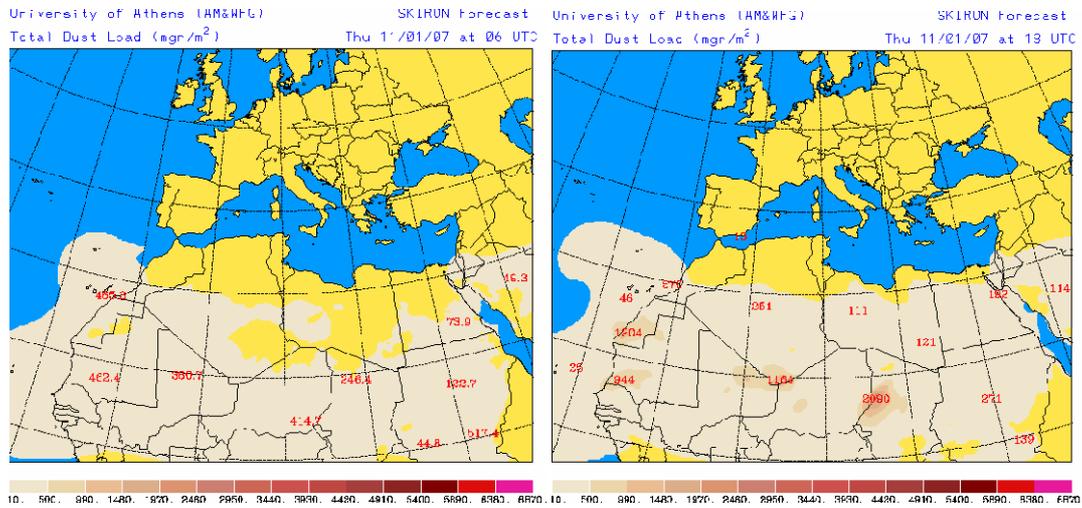


FIGURA 4.1.77.- CARGA TOTAL DE POLVO PREDICHA POR EL MODELO SKIRON PARA EL DÍA 11 ENERO DE 2007. A LA IZQUIERDA PREDICCIÓN A LAS 6 UTC Y A LA DERECHA A LAS 18 UTC.

En el mapa de índice de aerosoles (figura 4.1.78), no se observa claramente carga de polvo sobre Canarias, aunque si aparece en las cercanías de las islas occidentales.

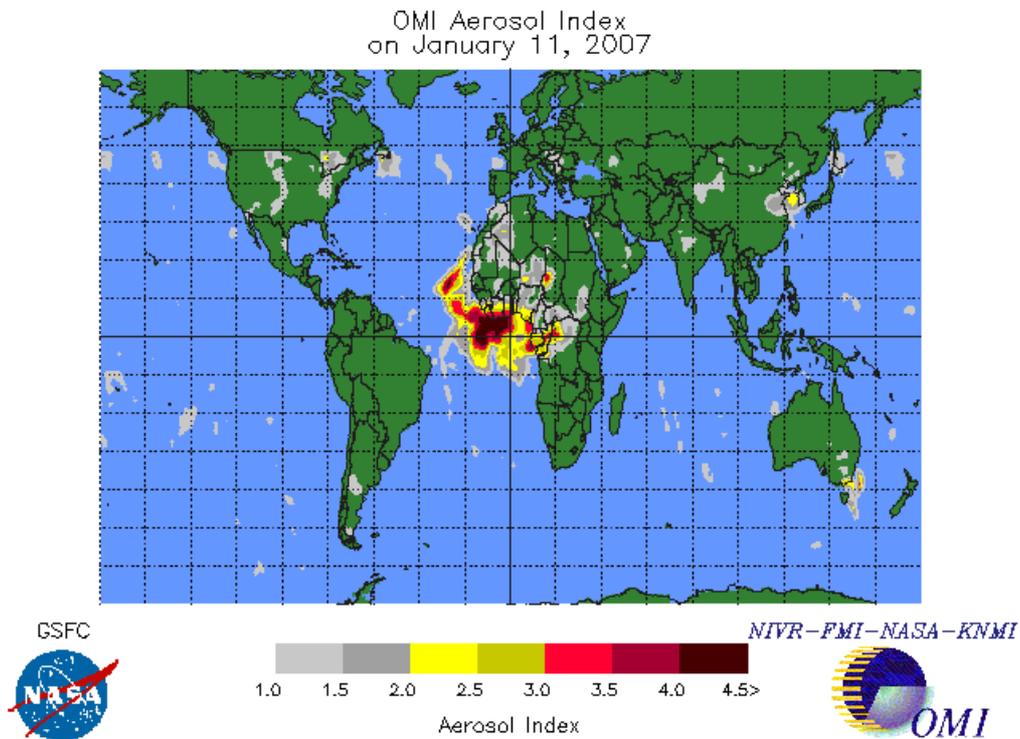


FIGURA 4.1.78.- MAPA DE ÍNDICE DE AEROSOLES OMI (NASA) 11/01/2007

4.1.8.1.3 INTRUSIONES DE VERANO

Las intrusiones correspondientes a verano se suelen producir durante los meses de junio a agosto y se pueden ver reflejadas en las series temporales de PM₁₀ con aumento prolongados de los niveles de fondo (Viana, 2003). Los niveles de PM₁₀, de las estaciones de Gran Canaria, correspondientes al año 2006, durante estos meses se encuentran por debajo de los 50 µg/m³, y solamente las estaciones de Castillo del Romeral y San Agustín presentan algunos días concentraciones por encima de este valor. En la figura 4.1.79, se observa como los meses de julio y agosto presentan concentraciones por encima del valor medio.

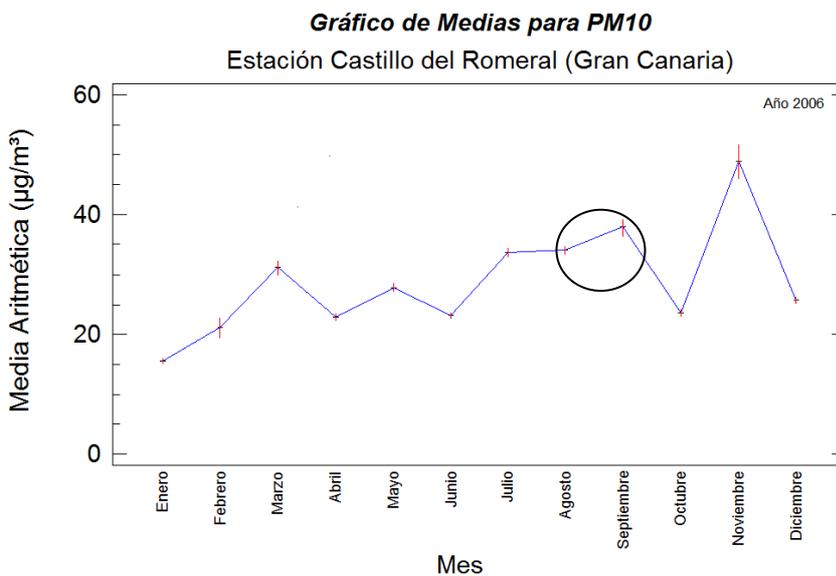


FIGURA 4.1.79.- MEDIA MENSUAL DE PM₁₀ ESTACIÓN CASTILLO DEL ROMERAL (AÑO 2006)

La figura 4.1.80, representa los valores medios diarios de PM₁₀ del año 2006 de la estación Castillo del Romeral y en la misma se observa cómo en verano se produce un aumento ligero de los niveles de fondo.

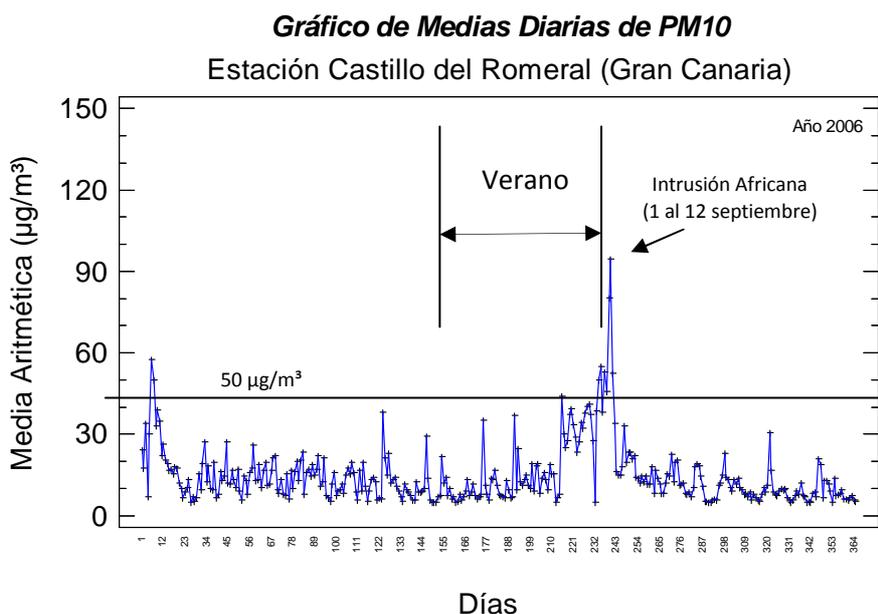


FIGURA 4.1.80.- MEDIAS DIARIAS DE PM₁₀ DE LA ESTACIÓN CASTILLO DEL ROMERAL (AÑO 2006)

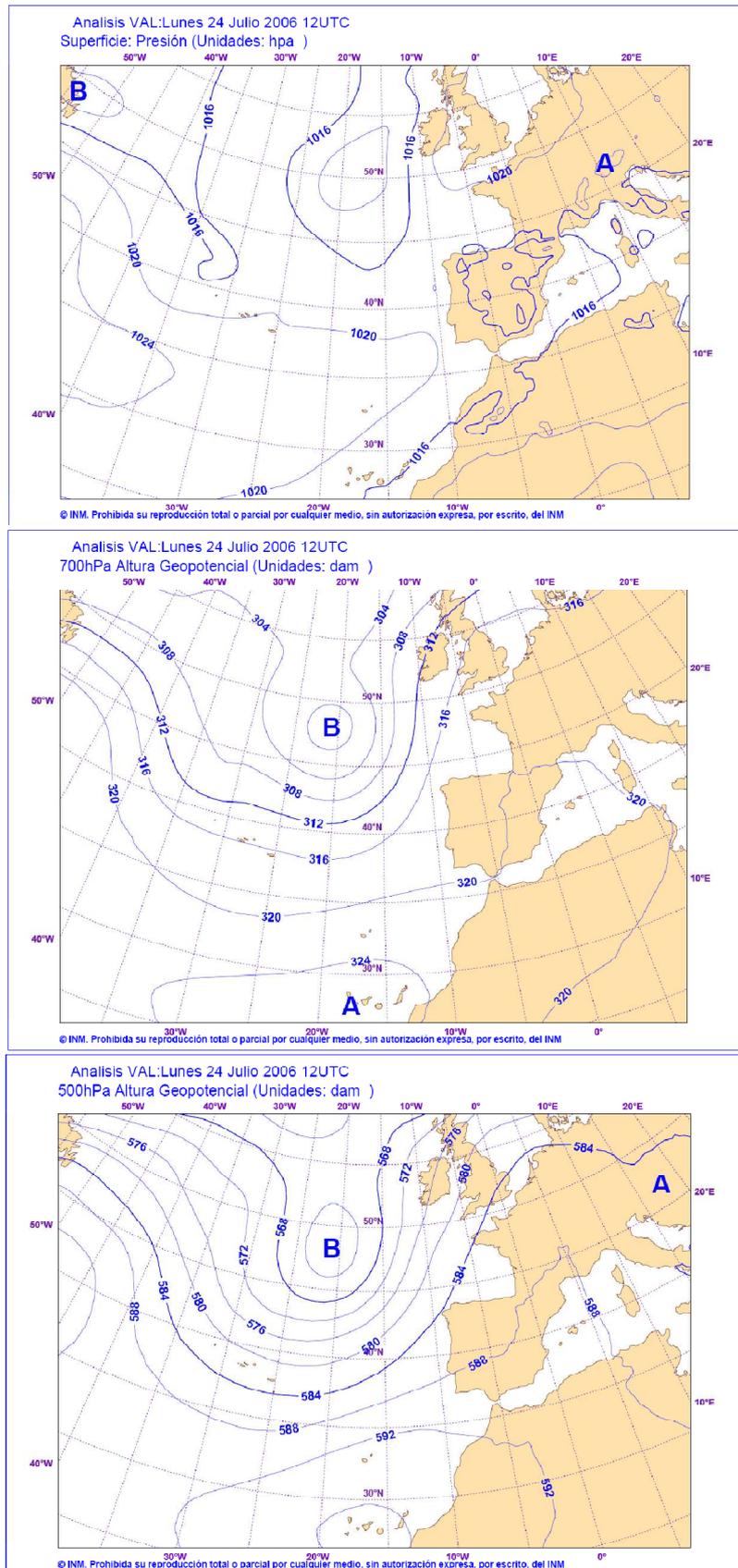


FIGURA 4.1.81.- PRESIÓN A NIVEL DE SUPERFICIE, 700 hPa Y 500 hPa PREVISTA PARA EL DÍA 24/07/2006

En este período, la meteorología a nivel de superficie, está regida por la baja térmica del Sahara que junto con el anticiclón de las Azores crea un flujo de aire, a nivel de superficie, del noreste; es decir, típico tiempo de verano en el archipiélago canario con dominio claro de los vientos alisios. El anticiclón del norte de África se desplaza en altura y es observable en los niveles de 700 y 500 hPa, creando un flujo de aire en altura (> 1500 m) del desierto del Sahara, como se observa en la figura 4.1.81.

El estudio de retrotrayectorias muestra en superficie, generalmente, dominio de los vientos alisios con amplio recorrido marítimo. A alturas superiores a los 1500 m, en verano, se genera una capa semi-permanente de polvo que algunos autores denominan capa de aire del Sahara (Prospero et al., 1981, D’Almeida G. A., 1986) y las retrotrayectorias muestran un origen africano de las masas de aire (figuras 4.1.82 y 4.1.83). Debido a la presencia de esta componente africana, si las condiciones de la capa límite lo permiten, puede aparecer una caída vertical de polvo que afectaría a las capas inferiores incidiendo especialmente en las estaciones ubicadas en el sur de Gran Canaria.

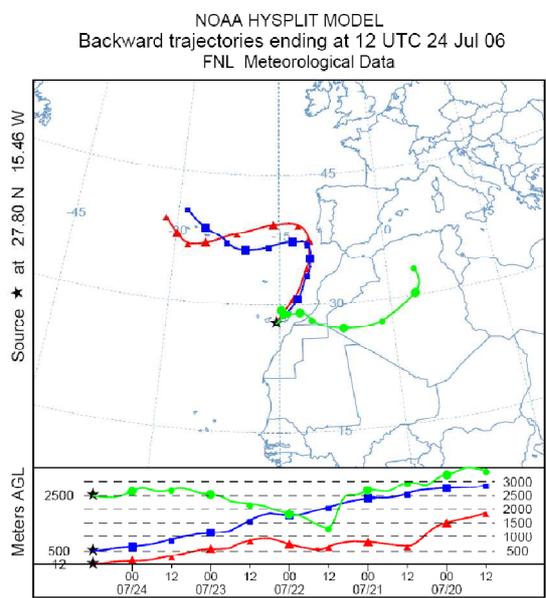


FIGURA 4.1.82.- RETROTRAYECTORIAS ESTACIÓN CASTILLO DEL ROMERAL 24/07/06

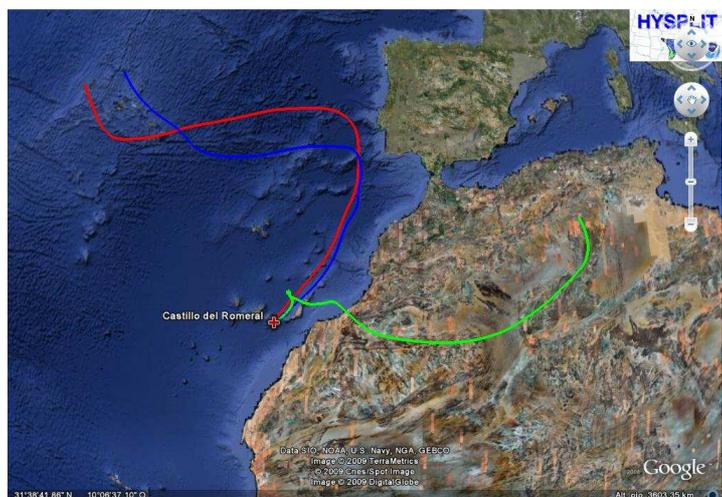


FIGURA 4.1.83.- RETROTRAYECTORIAS ESTACIÓN CASTILLO DEL ROMERAL E IMPLEMENTADA EN GOOGLE EARTH (24/07/2006)

El día 24 de julio de 2006, las estaciones que presentaban una media diaria de PM_{10} más elevada fueron las de Castillo del Romeral, San Agustín y Playa de Inglés: 55,3; 67,0 y 50,2 $\mu g/m^3$, respectivamente, todas ellas emplazadas al sur de Gran Canaria.

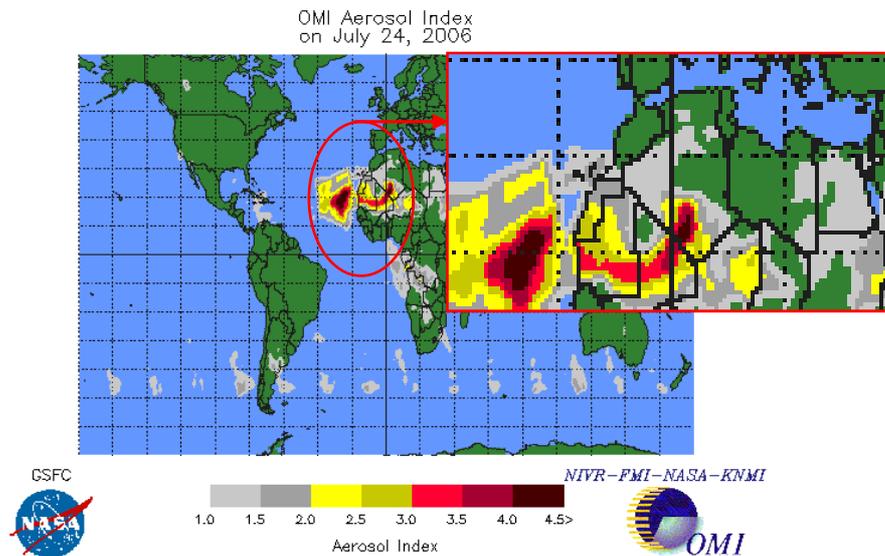


FIGURA 4.1.84.- MAPA DE ÍNDICE DE AEROSOLES OMI (NASA) 24/07/2006

En el mapa de índice de aerosoles (figura 4.1.84) muestra la capa de polvo sobre las islas Canarias.

4.1.9 IDENTIFICACIÓN DE EPISODIOS NATURALES AFRICANOS DE PM_{10}

En la Directiva 2008/50/CE, en sus considerandos, apartado 15, dice lo siguiente: *“Las contribuciones de fuentes naturales pueden evaluarse pero no controlarse. Por consiguiente, cuando las contribuciones naturales a los contaminantes del aire ambiente puedan determinarse con la certeza suficiente, y cuando las superaciones sean debidas en todo o en parte a esas contribuciones naturales se podrán sustraer, en las condiciones establecidas... al evaluar el cumplimiento de los valores límites de la calidad del aire”.*

Por otro lado la citada directiva, en su artículo 2, apartado 15, define que son aportaciones de fuentes naturales: *“las emisiones de agentes contaminantes no causadas directa ni indirectamente por actividades humanas, lo que incluye los fenómenos naturales tales como erupciones volcánicas, actividades sísmicas, actividades geotérmicas, o incendios de zonas silvestres, fuertes vientos, **aerosoles marinos o resuspensión atmosférica o transporte de partículas procedentes de regiones áridas**”.*

El procedimiento para la identificación de superaciones del valor del límite diario de PM_{10} causadas por aportes africanos, así como la asignación de causas antropogénicas o naturales de tales superaciones, se ha realizado aplicando el *“Procedimiento para Identificación de Episodios Naturales Africanos de PM_{10} y $PM_{2,5}$ y la Demostración de Causa en lo Referente a las Superaciones del Valor Límite Diario de PM_{10} ”*

Dicho procedimiento se basa en aplicar la metodología aceptada por la Dirección General de Medio Ambiente de la CE en el documento *“Guía de los Estados Miembros sobre Medidas de PM_{10} e intercomparación con el método de referencia”* (Querol et al., 2008).

Para la realización del punto 5 de dicha guía (apartado 4.1.8), se han elaborado una serie de tablas (Anexo D), en las que aparece la PM₁₀ media diaria, de todas las estaciones de medida, de los días identificados como intrusiones africanas. A modo de ejemplo, se presenta la realizada para el mes de octubre de 2006 (tabla 4.1.20).

TABLA 4.1.20.- VALORES MEDIOS DIARIOS DE PM₁₀ EN LAS ESTACIONES DE MEDIDA DE LA ISLA DE GRAN CANARIA EN DÍAS DE INTRUSIONES AFRICANAS CORRESPONDIENTES AL MES DE OCTUBRE DE 2006

Días	Estaciones												
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)			Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	Media
	PM ₁₀	Percentil 30	Carga neta Polvo africano	PM ₁₀									
3	26,3	23,9	26,4	32,5	35,6	29,4	-	-	28,9	41,4	45,2	44,3	
4	28,1	61,0 (49,5)	26,0	32,8	19,9	25,3	13,8	11,5	12,5	39,9	29,1	31,9	
8	26,1	32,5	23,2	29,8	26,2	22,7	-	-	30,6	36,3	49,7	-	
9	25,0	45,3	26,9	33,8	29,5	19,4	-	-	22,9	31,9	35,9	31,4	
29	15,5	26,6	16,7	15,9	11,8	14,6	-	-	9,8	9,9	11,8	16,3	
30	26,5	40,0	28,4	31,3	12,5	12,3	-	-	19,4	13,7	15,3	15,6	
31	28,3	68,0 (63,9)	25,0	43,2	27,6	19,6	15,5	4,1	25,9	27,6	24,0	27,2	

En ella, se muestran los días que son considerados como intrusiones africanas, los nombres abreviados de las estaciones de medida y el valor de la PM₁₀ obtenido para ese día. Si la medida de PM₁₀, supera el límite medio diario marcado por la Directiva Europea (50 µg/m³), aparece en rojo. Se calcula el aporte africano (procedimiento explicado en el apartado 4.1.9) y se descuenta de la medida obtenida en la estación. Si el valor encontrado es menor que 50 µg/m³, el dato final aparece en color negro y si es mayor en color azul. Solamente, debe considerarse como excedencia (aplicando la Directiva Europea) el valor que aparece en azul. Así, en octubre de 2006, la única excedencia de PM₁₀ en días de intrusiones africanas, es la obtenida el 31 de octubre en Pedro Lezcano. La correspondiente al día 4 de octubre, en la misma estación, no debe ser considerada como tal.

Una vez realizado el estudio de las intrusiones africanas, se ha confeccionado la tabla 4.1.21, en la que, a modo de resumen, presenta: las excedencias totales de PM₁₀, las debidas a intrusiones africanas, las excedencias descontando la carga neta de polvo africano y las excedencias a considerar en la Directiva, para los años 2006 y 2007.

Como se ha comentado anteriormente, las excedencias de PM₁₀ no deben superar los 50 µg/m³ durante 35 veces por año civil. Ninguna estación de Gran Canaria supera este número, siendo las estaciones industriales, en el año 2006, las que presentan el mayor número de excedencias con 17. En el año 2007, en Gran Canaria, el número de excedencias disminuye de manera importante, siendo la estación de San Agustín la que presenta un número superior al resto, con 14. En el cómputo de los dos años considerado, en Gran Canaria el número total de excedencias en el año 2006 es de 94 y en el año 2007 es 32. Se debe tener en consideración que en el año 2007 la estación Néstor Álamo no aporta datos y en Pedro Lezcano, aunque se ha considerado las medidas de PM₁₀, sus datos no son fiables ya que se han comparado con otras estaciones cercanas y presentan una disparidad importante. El número de excedencias totales en el año 2006 es de 269 y en el año 2007 es de 221. Si se descuenta, en el año 2006, las excedencias de las estaciones Néstor Álamo y Pedro Lezcano quedan 208; en el año 2007 se cifran en 219 descontando las de Pedro Lezcano, por lo que el número total de las mismas es similar. El número de excedencias a considerar según la Directiva es 84 en el año 2006 (51 sin considerar Néstor Álamo y Pedro Lezcano) y en el año 2007 es de 32, considerablemente

menor con respecto al año 2006. Ello es debido, a que las intrusiones africanas en el año 2007, incidieron en mayor medida en la carga total de PM₁₀.

TABLA 4.1.21.- NÚMERO DE EPISODIOS AFRICANOS $\geq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (AÑOS 2006 Y 2007)

ESTACIÓN	TIPO ESTACIÓN TIPO ÁREA	NÚMERO DE EPISODIOS DE MEDIA DIARIA $\geq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$							
		Año 2006				Año 2007			
		Totales	Africanos	Africanos (descontando la carga neta de polvo africano)	A considerar en la Directiva 2008/50/CE (≤ 35 veces año civil)	Totales	Africanos	Africanos (descontando la carga neta de polvo africano)	A considerar en la Directiva 2008/50/CE (≤ 35 veces año civil)
Agüimes	Fondo Urbana	15	15	0	0	9	9	1	1
Arinaga	Fondo Urbana	16	16	0	0	16	15	0	1
Jinámar III	Industrial Urbana	31	29	7	9	24	23	0	1
Néstor Álamo	Industrial Urbana	27	13	3	17	-	-	-	-
Mercado Central	Tráfico Urbana	19	19	3	3	24	24	0	0
San Agustín	Tráfico Urbana	35	32	10	13	41	40	13	14
Playa del Inglés	Fondo Urbana	15	13	0	2	21	21	3	3
Castillo del Romeral	Industrial Urbana	25	24	3	4	32	30	2	4
Sardina	Fondo Urbana	15	15	0	3	37	35	6	8
Pedro Lezcano	Industrial Urbana	34	24	6	16	2	2	0	0
Jinámar	Industrial Urbana	37	20	0	17	22	22	0	0
Parque de la Piedra	Fondo Urbana	-	-	-	-	16	14	3	5
Centro Juan Ismael	Fondo Urbana	-	-	-	-	40	33	7	14
Arrecife	Tráfico Urbana	-	-	-	-	43	25	3	21
Costa Teguiise	Fondo Urbana	-	-	-	-	82	33	22	71

4.1 PARTÍCULAS (PM₁₀)

4.2 ÓXIDOS DE NITRÓGENO

4.3 DIÓXIDO DE AZUFRE

4.4 OZONO

4.5 ANÁLISIS DE FACTORES

4.2 ÓXIDOS DE NITRÓGENO

4.2.1 INTRODUCCIÓN

Los óxidos de nitrógeno son contaminantes atmosféricos que juegan un papel primordial en la química atmosférica (ESPERE, 2004). Son responsables de la lluvia ácida, afectan al calentamiento global (Peace et al., 2004) y en las ciudades generan (directa e indirectamente) efectos nocivos en los sistemas cardiovascular y respiratorio de las personas, siendo, en estas urbes, los vehículos motorizados, las centrales eléctricas, las industrias, los comercios y las áreas residenciales en las que exista consumo de combustibles fósiles, sus principales fuentes antropogénicas (EPA, 2003). Es tal su importancia que la Unión Europea ha establecido una Directiva (2008/50) en la que se establecen una serie de valores límites para ciertos oxidantes fotoquímicos entre los que se encuentra, a causa de su extraordinario poder oxidante sobre nuestro organismo (Persinger et al., 2002), el NO₂.

En el presente apartado se exponen los resultados derivados del estudio realizado no solo a las concentraciones de NO₂, sino también a las de NO por ser el óxido que se emite en mayor cantidad y cuya oxidación conduce a la formación de parte del NO₂ que se encuentra en la atmósfera.

4.2.2 CONCENTRACIONES MEDIAS

En las tablas 4.2.1 a 4.2.4, se presentan las medidas estadísticas de los años 2006 y 2007, referentes a NO₂ y NO. Algunas estaciones, presentan datos insuficientes, sobre todo el año 2007, como es el caso de Parque de la Piedra en Fuerteventura. A pesar de ello, se ha optado, por el tratamiento de todos los datos disponibles.

Se observa, que en el año 2007 la media de NO₂, en las diferentes estaciones de medida, es de manera general más elevada que en 2006, pero sin llegar a sobrepasar nunca los 40 µg/m³ de media anual, que marca la Directiva 2008/50.

En 2006, las estaciones urbanas presentan las medias anuales más elevadas: 25,4 ± 15,7 µg/m³ (media ± desviación estándar) en Mercado Central) y 20,9 ± 15,7 µg/m³ en San Agustín. A estas les siguen en orden decreciente de concentración, las estaciones industriales, con registros situados entre los 10,3 ± 10,7 µg/m³ de Castillo del Romeral y los 21,0 ± 20,3 µg/m³ de Jinámar. Por último, las estaciones de fondo urbano presentan de manera general los registros más bajos. Dentro de estas el más elevado corresponde a Playa del Inglés 12,3 ± 10,2 µg/m³ y el más bajo a Arinaga 7,2 ± 8,3 µg/m³. Con respecto al NO (2006), se observan valores inferiores (un 24 % menos) a los de NO₂ (tabla 4.2.3). Se sigue la misma tónica en los grupos de estaciones: los valores más altos corresponden a las urbanas, seguidas de las industriales y de las de fondo urbano. La excepción viene marcada por la estación Néstor Álamo (industrial) que registra con diferencia, las mayores concentraciones (31,1 ± 40,2 µg/m³), presentando una media superior (202 % superior a Mercado Central) a las de las otras estaciones analizadas en este estudio, en ambos años. Ello se debe, muy posiblemente, a la cercanía de una fuente importante de NO (central termoeléctrica de Jinámar). En cuanto a las concentraciones máximas horarias de NO y NO₂, éstas se dan en las estaciones urbanas e industriales. Destacan en NO₂ San Agustín (urbana) con un registro horario de 269 µg/m³ y en NO Néstor Álamo (industrial) con 732 µg/m³.

Con respecto al NO_2 , en 2007, suben las medias de manera importante, aunque el número de datos disponibles es menor, como sucede prácticamente en todas las estaciones. Continúa la misma tónica que en 2006, registrándose las mayores medias en las estaciones urbanas: Mercado Central ($37,1 \pm 24,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y San Agustín ($30,6 \pm 16 \mu\text{g}/\text{m}^3$), seguidas de las estaciones industriales con los valores más elevados en Néstor Álamo ($27,6 \pm 23,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Jinámar III ($26,2 \pm 19,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Entre las de fondo urbano (Gran Canaria) destacan Playa del Inglés ($18,3 \pm 12,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Sardina ($16,7 \pm 13,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Con excepción de la estación de Arrecife (urbana) en Lanzarote ($16,5 \pm 19,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$), las estaciones de Fuerteventura y Lanzarote presentan escasez de datos. Los registros máximos horarios aparecen, en Gran Canaria, en las estaciones industriales situadas en el polígono de Jinámar: Pedro Lezcano $585 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Néstor Álamo $415 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En las islas de Fuerteventura y Lanzarote (analizadas conjuntamente) la máxima horaria pertenece a la estación Juan Ismael (fondo urbano) situada en Fuerteventura con $453,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En lo que concierne al monóxido de nitrógeno, NO , los valores medios aumentan con respecto a 2006; en relación a este contaminante se observa un hecho curioso -en dos estaciones físicamente cercanas ubicadas en el polígono de Jinámar- que lleva a reflexión. Estas son las de Néstor Álamo y la de Pedro Lezcano. En ambas, en el año 2007 se obtienen registros muy similares, pero mientras en la primera las concentraciones relativas a 2006 son similares a las de 2007 ($31,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ frente a $24,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), en Pedro Lezcano el registro medio obtenido en 2006 es un 63% inferior ($8,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ frente a $23,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Esta gran diferencia de concentraciones ($8,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ frente a $31,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) entre las dos estaciones ese año no parece normal. Una de las posibles explicaciones es que el NO procedente de la central termoeléctrica de Jinámar, en el año 2007, haya afectado de manera parecida en ambas estaciones, algo que, quizás debido a influencias meteorológicas, no sucedió en 2006. Una forma de saber si los registros de 2006 en Pedro Lezcano han sido anómalos sería realizando un estudio de mayor amplitud temporal, digamos 5 años.

TABLA 4.2.1.- VALORES ESTADÍSTICOS MEDIOS DIARIOS DE NO₂, CORRESPONDIENTES AL AÑO 2006 (ESTACIONES PROVINCIA DE LAS PALMAS)

ESTACIÓN	TIPO ESTACIÓN TIPO ÁREA	AÑO 2006									
		Número Datos	Media Aritmética $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media Geométrica $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desviación Estándar $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Coefficiente Variación %	Mín. horario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Máx. horario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Rango Intercuartil	Percentil 10 %	Percentil 90 %
Mercado Central	Tráfico Urbana	8747	25,4	23,2	15,7	61,7	1,0	216,0	16,0	11,0	45,0
Pedro Lezcano	Industrial Urbana	8063	10,5	8,1	8,3	79,1	1,0	60,0	8,0	3,0	18,0
Jinámar	Industrial Urbana	8304	23,8	18,5	19,5	82,0	1,0	256,5	17,5	8,0	58,0
Jinámar III	Industrial Urbana	6062	18,6	13,9	15,1	81,1	0,5	152,5	10,5	4,0	32,5
Néstor Álamo	Industrial Urbana	8743	13,8	12,7	6,8	48,9	1,0	167,0	5,0	8,0	20,0
Agüimes	Fondo Urbana	8619	10,7	7,3	11,4	106,7	1,0	97,0	9,0	3,0	24,0
Sardina	Fondo Urbana	8522	12,4	7,9	12,4	98,4	0,5	96,5	12,5	2,0	28,0
Arinaga	Fondo Urbana	8180	7,2	4,3	8,3	114,9	1,0	72,0	7,0	1,0	25,0
Castillo del Romeral	Industrial Urbana	8473	10,3	6,9	10,7	104,2	1,0	96,5	8,5	2,5	23,5
San Agustín	Tráfico Urbana	8475	20,9	14,6	15,7	75,0	1,0	269,0	20,0	3,5	41,5
Playa del Inglés	Fondo Urbana	8649	12,3	9,7	10,2	83,2	2,0	99,5	10,0	4,0	23,0

TABLA 4.2.2.- VALORES ESTADÍSTICOS MEDIOS DIARIOS DE NO₂, CORRESPONDIENTES AL AÑO 2007 (ESTACIONES PROVINCIA DE LAS PALMAS)

ESTACIÓN	TIPO ESTACIÓN TIPO ÁREA	AÑO 2007									
		Número Datos Horarios (Días)	Media Aritmética $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media Geométrica $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desviación Estándar $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Coefficiente Variación %	Mín. horario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Máx. horario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Rango Intercuartil	Percentil 10 %	Percentil 90 %
Mercado Central	Tráfico Urbana	7270	37,1	26,6	24,4	65,8	2,0	137,0	36,0	4,0	72,0
Pedro Lezcano	Industrial Urbana	7597	20,6	11,3	30,5	148,0	0,5	585,0	21,5	2,0	44,0
Jinámar	Industrial Urbana	7932	20,4	16,8	13,3	65,0	0,5	201,0	15,3	6,5	34,0
Jinámar III	Industrial Urbana	7661	26,2	21,6	19,7	75,1	2,0	328,5	17,5	11,0	48,0
Néstor Álamo	Industrial Urbana	8681	24,5	21,1	20,6	84,1	11,0	415,0	10,0	14,0	42,0
Agüimes	Fondo Urbana	8437	11,3	8,7	9,9	87,2	1,0	85,0	9,0	4,0	23,5
Sardina	Fondo Urbana	8463	16,7	12,9	13,1	78,4	1,0	106,0	13,0	5,0	34,0
Arinaga	Fondo Urbana	8401	10,9	8,7	8,6	79,1	0,5	85,0	7,5	4,0	20,5
Castillo del Romeral	Industrial Urbana	8519	15,2	12,3	11,2	73,8	1,5	103,5	10,5	5,5	30,0
San Agustín	Tráfico Urbana	8379	30,6	26,6	16,0	52,2	1,0	115,0	21,0	13,0	53,0
Playa del Inglés	Fondo Urbana	8441	18,3	16,8	12,4	67,7	4,0	105,5	11,5	8,0	34,5
Centro Juan Ismael	Fondo Urbana	7700	12,6	8,5	16,1	127,6	0,5	453,5	10,5	3,0	26,5
Parque de la Piedra	Fondo Urbana	4660	2,9	1,4	7,1	245,2	0,5	92,0	0,0	1,0	5,5
Arrecife	Tráfico Urbana	7924	16,5	12,8	19,0	115,3	0,1	386,4	7,8	6,9	26,4
Costa Teguisse	Fondo Urbana	7713	8,1	6,8	5,0	61,9	0,1	98,4	4,8	3,6	12,9

TABLA 4.2.3.- VALORES ESTADÍSTICOS MEDIOS DIARIOS DE NO CORRESPONDIENTES AL AÑO 2006 (ESTACIONES PROVINCIA DE LAS PALMAS)

ESTACIÓN	TIPO ESTACIÓN TIPO ÁREA	AÑO 2006									
		Número Datos	Media Aritmética $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media Geométrica $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desviación Estándar $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Coficiente Variación %	Mín. horario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Máx. horario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Rango Intercuartil	Percentil 10 %	Percentil 90 %
Mercado Central	Tráfico Urbana	8746	15,4	12,2	17,7	114,9	4,0	504,0	8,0	6,0	26,0
Pedro Lezcano	Industrial Urbana	8068	8,6	6,7	8,1	94,6	1,0	177,5	5,0	3,0	14,5
Jinámar	Industrial Urbana	8464	14,0	11,1	12,8	91,5	1,0	305,5	7,5	5,5	25,0
Jinámar III	Industrial Urbana	8442	10,2	7,7	10,3	100,8	1,0	285,5	8,0	3,0	17,0
Néstor Álamo	Industrial Urbana	8743	31,1	23,6	40,2	129,3	1,0	732,0	20,0	11,0	55,0
Agüimes	Fondo Urbana	8602	5,9	4,3	7,5	127,6	1,0	222,5	2,5	2,0	11,5
Sardina	Fondo Urbana	8524	6,5	4,4	7,5	116,0	1,0	99,5	5,0	1,5	13,0
Arinaga	Fondo Urbana	8348	3,3	2,6	2,5	74,3	1,0	31,5	2,5	1,0	7,5
Castillo del Romeral	Industrial Urbana	8580	4,8	3,8	5,4	112,3	1,0	108,0	2,0	2,0	7,0
San Agustín	Tráfico Urbana	8453	13,0	8,5	14,7	113,1	1,0	269,0	10,5	2,5	27,5
Playa del Inglés	Fondo Urbana	8570	9,3	7,1	11,3	121,6	2,0	199,0	5,0	3,5	15,5

TABLA 4.2.4.- VALORES ESTADÍSTICOS MEDIOS DIARIOS DE NO, CORRESPONDIENTES AL AÑO 2007 (ESTACIONES PROVINCIA DE LAS PALMAS)

ESTACIÓN	TIPO ESTACIÓN TIPO ÁREA	AÑO 2007									
		Número Datos Horarios	Media Aritmética $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media Geométrica $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desviación Estándar $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Coefficiente Variación %	Mín. horario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Máx. horario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Rango Intercuartil	Percentil 10 %	Percentil 90 %
Mercado Central	Tráfico Urbana	7266	20,5	16,7	17,1	83,2	1,0	309,0	14,0	9,0	38,0
Pedro Lezcano	Industrial Urbana	7354	23,2	16,7	21,6	91,1	1,0	562,0	16,0	3,5	41,0
Jinámar	Industrial Urbana	8474	14,6	12,3	12,8	87,6	1,0	270,0	5,5	7,0	24,0
Jinámar III	Industrial Urbana	7862	15,4	12,7	13,1	85,2	1,0	265,5	7,5	7,5	26,0
Néstor Álamo	Industrial Urbana	7943	24,6	21,9	14,7	60,0	7,0	231,0	12,0	13,0	41,0
Agüimes	Fondo Urbana	8371	4,5	3,5	5,0	109,9	1,0	89,0	2,5	1,5	8,0
Sardina	Fondo Urbana	8201	6,6	4,6	7,5	113,7	1,0	104,0	4,5	1,5	12,5
Arinaga	Fondo Urbana	8401	3,0	2,8	1,7	55,8	1,0	57,0	2,0	1,5	4,5
Castillo del Romeral	Industrial Urbana	8241	5,4	4,1	5,5	101,2	1,0	108,0	4,0	1,5	10,0
San Agustín	Tráfico Urbana	8182	14,5	9,8	15,7	108,6	1,0	200,5	10,5	3,0	29,5
Playa del Inglés	Fondo Urbana	8438	11,3	8,8	12,9	114,1	2,0	186,5	5,0	5,0	18,5
Centro Juan Ismael	Fondo Urbana	7404	4,5	2,9	14,4	317,5	0,5	416,5	1,5	1,5	4,5
Parque de la Piedra	Fondo Urbana	6583	2,8	1,8	6,6	232,1	0,5	157,5	2,0	1,0	6,0
Arrecife	Tráfico Urbana	8564	9,3	8,1	6,3	68,1	1,0	166,5	6,5	4,1	13,1
Costa Teguise	Fondo Urbana	7705	7,0	6,2	3,5	50,1	1,0	58,6	4,3	3,2	11,9

4.2.2.1 RELACIÓN NO₂/NO_x

La relación NO₂/NO_x da información cuantitativa de los niveles de NO y NO₂. Si la relación es baja los niveles de NO son mayores que los de NO₂ y, si es elevada, son más altos los de NO₂. Así, si las concentraciones de NO son elevadas con respecto a los de NO₂ (relación NO₂/NO_x baja), posiblemente la fuente estaría muy cercana a la estación de medida y si la relación es baja, la fuente estaría más alejada.

La figura 4.2.1 muestra la relación NO₂/NO_x (considerando NO_x como la suma de NO₂ y NO) de todas las estaciones, en los años 2006 y 2007. Se observa, que la ésta es muy estable (0,61-0,64) en las estaciones urbanas de Gran Canaria, mientras que en Lanzarote (Arrecife) el ratio baja a 0,49 indicando con ello que en esta ciudad ambos óxidos contribuyen por igual (Arrecife); en las industriales esta relación suele bajar situándose entre 0,36-0,54, excepto en Castillo del Romeral que presenta ratios similares a los de las estaciones urbanas 0,63 (2006) y 0,65 (2007); en las de fondo urbano situadas en Gran Canaria oscila entre 0,49-0,66 mientras que en Lanzarote y Fuerteventura lo hace entre 0,38-0,65. Se puede decir: que cuánto más alta es la relación NO₂/NO_x más dominante es la fracción de NO₂. Así en las estaciones urbanas de tráfico como son: Mercado Central y San Agustín la relación es superior a 0,60 indicando predominio del NO₂ sobre el NO. Se podría esperar relaciones más bajas en este tipo de estaciones, ya que los tubos de escape de los automóviles producen básicamente NO (además de otros componentes), pero la distancia y altura de la estación a las fuentes de producción de NO, el número de vehículos diarios y las condiciones meteorológicas y medioambientales puede cambiar de manera importante la relación (Finlayson-Pitts et al., 1997; So et al., 2003). Algunos autores como Jenkin (2004), Carslaw (2005) y Pandey et al. (2008) obtienen relaciones de 0,36-0,38, con un número de vehículos diarios comprendido entre 80.000 y 100.000. Además, en el caso de Pandey et al. (2008) la estación de medida se sitúa a 1 m de la autopista a una altura de 3,8 m (La estación de medida de Mercado Central se encuentra a 23 m de altura). La estación de Arrecife, es la que más acerca a la relación obtenida por Pandey.

Siguiendo con la comparación de las relaciones obtenidas en este trabajo con las publicadas por Pandey, para sus estaciones de fondo urbano, se ha observado que estas son parecidas a las registradas en las estaciones urbanas de Gran Canaria, (0,60-0,66). La excepción aparece en Playa del Inglés con ratios de 0,49 y 0,54. Pandey et al. (2008), obtienen 0,67 para una estación de fondo urbano, situada a 1 km de una autopista por la que circulan 100.000 vehículos diarios, para el período 1996-2006. Este valor es comparable al obtenido para la mayoría de las estaciones urbanas en este trabajo.

Las estaciones industriales, presentan las relaciones más bajas y se acercan a las obtenidas por los autores anteriormente nombrados. Ello lleva a pensar en una fuente importante de NO en las cercanías de las estaciones del valle de Jinámar. Como se ha comentado, en varias ocasiones, el grupo central térmica-potabilizadora cuyas emisiones inciden principalmente en Jinámar es una fuente poderosa de NO_x, PM₁₀, SO₂ y COV. Dichas emisiones dependerán principalmente de la potencia generada por la central térmica y de las características de los grupos de generación conectados al sistema eléctrico de potencia. Las relaciones obtenidas, son comparables a las publicadas para las estaciones urbanas con predominio del tráfico rodado, por los autores anteriormente nombrados.

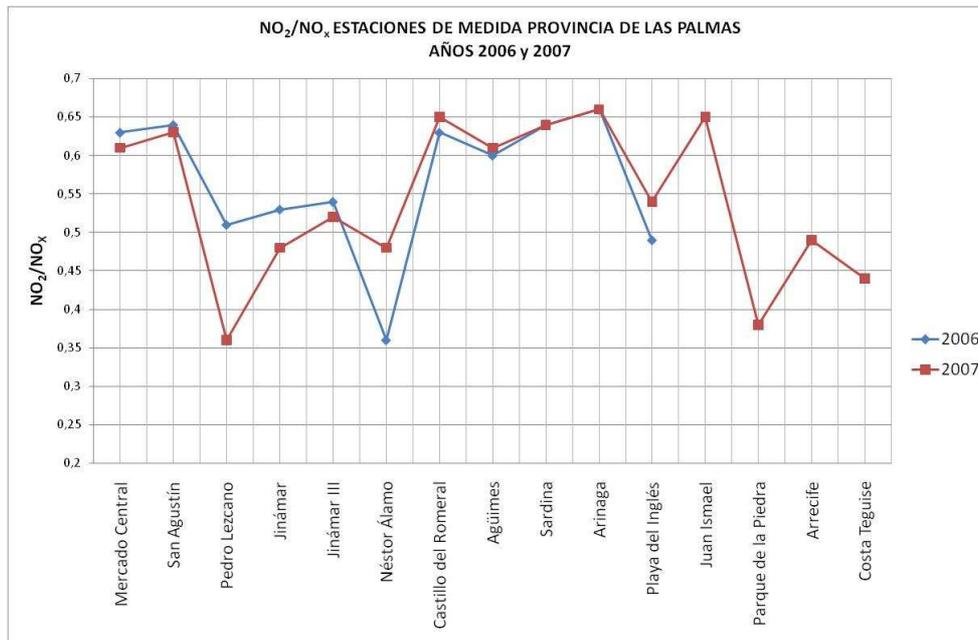


FIGURA 4.2.1.- RELACIÓN NO₂/NO_x PROVINCIA DE LAS PALMAS (AÑOS 206 Y 2007)

4.2.2.2 DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS

Con el fin de analizar la distribución anual de las concentraciones de NO y NO₂ se ha procedido a agrupar las concentraciones medias diarias por rangos; ello da la posibilidad, entre otras cosas de conocer cuál es el rango de concentración más frecuente y qué valores son meramente anecdóticos, aunque no por ello menos importantes pues, en el caso de las concentraciones más altas pueden ser reflejo de emisiones puntuales e importantes. Las distribuciones se han determinado para cada uno de los dos años del bienio en estudio en estaciones representativas de cada uno de los ambientes tipo. Las estaciones elegidas han sido: Mercado Central (urbana), Néstor Álamo (industrial), Playa del Inglés (fondo urbano) y Arrecife (urbana) en representación de las islas de Fuerteventura y Lanzarote.

Las figuras 4.2.2 y 4.2.3, muestra la distribución de frecuencias para NO y NO₂ en 2006. N representa el número de veces (frecuencia) que se obtiene una medida determinada. En el eje x, se representa la concentración del contaminante en µg/m³ y los valores puntuales que aparecen indican el centro de la clase.

En lo que concierne al NO, se observa, que en las estaciones urbanas la mayoría de los datos están sobre los 15 µg/m³. Las estaciones industriales presentan la máxima frecuencia entre 15 y 35 µg/m³ y las de fondo urbano presentan una concentración más probable situada en torno a 5 µg/m³. Con respecto al NO₂, las concentraciones más habituales corresponden a las estaciones urbanas (25 µg/m³), seguidas de las industriales y de las de fondo urbano con preponderancia de concentraciones situadas en 15 y 5 µg/m³, respectivamente.

En el año 2007 (figuras 4.2.4 y 4.2.5), la situación varía; las concentraciones más habituales de NO se encuentran en torno a los 15 µg/m³, en todas las estaciones seleccionadas, excepto Mercado Central (urbana) con 25 µg/m³ y el NO₂ sigue la misma tendencia, con una concentración más frecuente de 45 µg/m³ en Mercado Central y 15 µg/m³ en el resto de estaciones. La evolución de Néstor Álamo varía ligeramente, desplazándose la

curva hacia la derecha (lado de las concentraciones más altas) presentando concentraciones en torno a 75 µg/m³ un número relativamente significativo de días. Evidentemente, aunque el máximo sea el mismo la frecuencia no tiene porque ser igual, aunque en el caso del NO₂, la frecuencia para el valor máximo prácticamente coincide (figura 4.2.5) en todas las estaciones, excepto en Mercado Central.

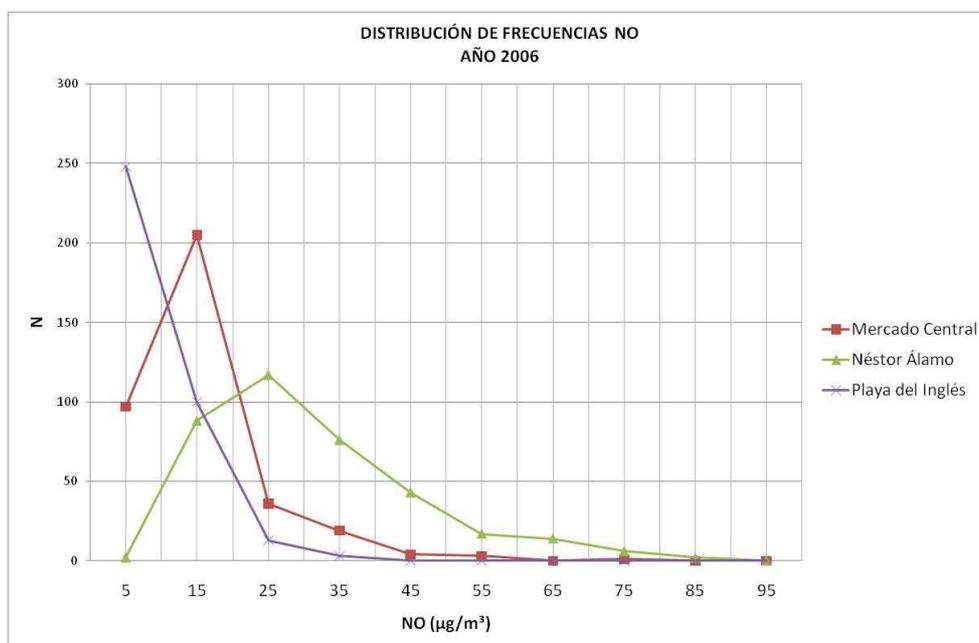


FIGURA 4.2.2.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE NO ESTACIONES URBANAS, INDUSTRIALES Y FONDO URBANO (AÑO 2006)

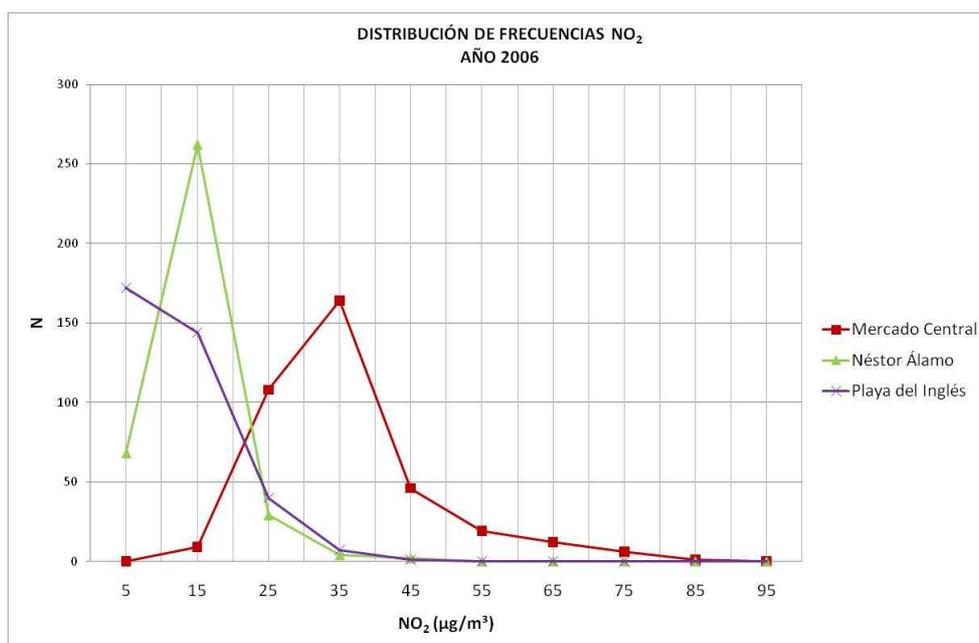


FIGURA 4.2.3.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE NO₂ ESTACIONES URBANAS, INDUSTRIALES Y FONDO URBANO (AÑO 2006)

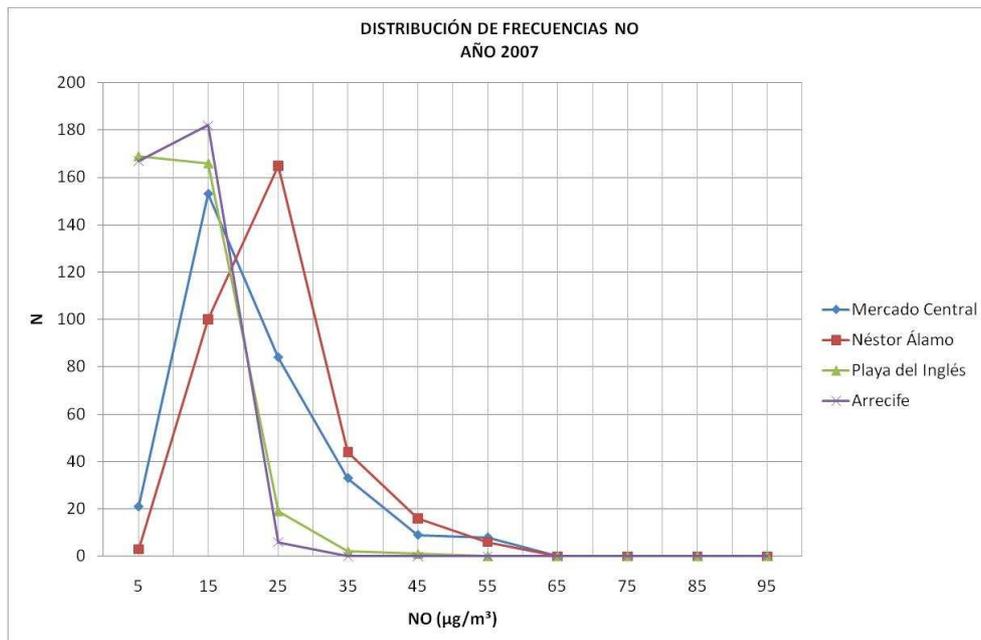


FIGURA 4.2.4.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE NO ESTACIONES URBANAS, INDUSTRIALES Y FONDO URBANO (AÑO 2007)

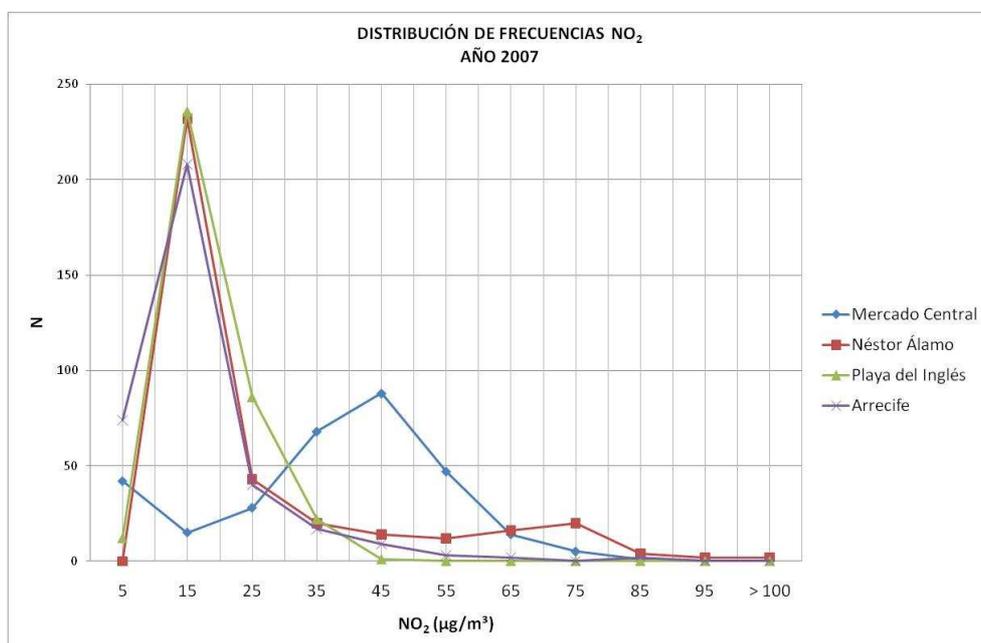


FIGURA 4.2.5.- DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE NO₂ ESTACIONES URBANAS, INDUSTRIALES Y FONDO URBANO (AÑO 2006)

4.2.3 ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE ACUERDO A LA DIRECTIVA EUROPEA

La Directiva Europea 2008/50, marca una serie de valores límite para la protección de la salud humana, referente básicamente, al dióxido de nitrógeno (NO₂) y al ozono (O₃).

Con respecto al NO₂, marca una media anual (anexo IX, de la directiva europea) máxima de 40 µg/m³ y 200 µg/m³ para un período de 1 hora que no podrá superarse más de 18 veces por año civil.

Por lo que respecta a las concentraciones medias anuales, en el bienio analizado estas nunca han sido superadas; no sucede lo mismo con los valores máximos horarios (tabla 4.2.6) que, si bien en 2006 estuvieron por debajo del número de veces fijados por la Directiva, durante 2007 en una de las estaciones, concretamente la de Pedro Lezcano, se duplicó este número, con 39 registros horarios por encima de los 200 µg/m³.

Esta estación está situada en el valle de Jinámar y se encuentra fuertemente influenciada, al igual que las estaciones de Jinámar, Jinámar III y Néstor Álamo, por la autopista GC-1 y la central termoeléctrica de Jinámar y por la potabilizadora. Algo similar ocurre con las estaciones de Fuerteventura (Juan Ismael) y Lanzarote (Arrecife) en las que también se registraron excedencias.

Las 39 superaciones de Pedro Lezcano, estuvieron comprendidas entre el 8 y el 12 de mayo de 2007 y mayoritariamente en horas de tarde-noche. El que se registraran estas superaciones, en un período tan corto y en una franja horaria determinada, lleva a pensar en una fuente específica, que podría localizarse en la central térmica y la potabilizadora (que están situadas en el mismo emplazamiento). Además, las emisiones estarían influenciadas por la dirección del viento en esos días, lo que explicaría que solamente aparezcan superaciones, en los días comentados, en la estación de Pedro Lezcano. Se incidirá en este hecho más adelante.

4.2.3.1 VARIACIÓN MENSUAL DE LAS CONCENTRACIONES DE NO₂

Las figuras 4.2.8 a 4.2.10, representan la variación mensual de NO₂, en las estaciones de medida de Gran Canaria en función de su tipo (urbanas, industriales y de fondo urbano), correspondiente al año 2006.

La primera de ellas corresponde a las estaciones de tipo urbano (Mercado Central y San Agustín). En Mercado Central, se observa, de manera general, que los valores más elevados (NO₂ ≥ 30 µg/m³) se dan los meses de menor velocidad de viento (figura 4.2.11), que son octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero. Aunque este no tiene por qué ser un factor determinante, ya que no solamente se deben considerar los factores meteorológicos o climáticos sino también hay que tener en cuenta otras variables tales como: número de vehículos diarios circulando o la mayor actividad empresarial y de ocio (Navidad, Carnavales) de estos meses, por lo que al igual que sucede en otros casos se vuelve a incidir en la necesidad de realizar un estudio temporal más largo. En las figuras 4.2.6 y 4.2.7, se observa la evolución del NO y NO₂ de dos días diferentes en la época de Navidades de 2006. Es evidente, que la disminución del tráfico en el día festivo (25 de diciembre) da lugar a una disminución considerable de los niveles de NO y NO₂, con respecto al día laboral. Por otro lado, la congestión de tráfico rodado acompañada de baja velocidad vehicular puede aumentar la producción de NO₂ (Carslaw et al., 2004).

TABLA 4.2.5.- NÚMERO DE SUPERACIONES ANUALES DE MEDIDAS HORARIAS DE NO₂ ≥ 200 µg/m³

ESTACIÓN	TIPO ESTACIÓN TIPO ÁREA	NÚMERO de EPISODIOS HORARIOS de NO ₂ ≥ 200 µg/m ³ Número Máximo Año Civil = 18 (Directiva 2008/50)	
		Año 2006	Año 2007
		Número de Episodios	Número de Episodios
Agüimes	Fondo Urbana	0	0
Arinaga	Fondo Urbana	0	0
Jinámar III	Industrial Urbana	0	1
Néstor Álamo	Industrial Urbana	0	18
Mercado Central	Tráfico Urbana	3	0
San Agustín	Tráfico Urbana	0	0
Playa del Inglés	Fondo Urbana	0	0
Castillo del Romeral	Industrial Urbana	0	0
Sardina	Fondo Urbana	0	0
Pedro Lezcano	Industrial Urbana	0	39
Jinámar	Industrial Urbana	8	2
Parque de la Piedra	Fondo Urbana	-	0
Centro Juan Ismael	Fondo Urbana	-	10
Arrecife	Tráfico Urbana	-	13
Costa Teguisse	Fondo Urbana	-	0

Gráfico de Medias Horarias para NO
Estación Mercado Central (Gran Canaria)

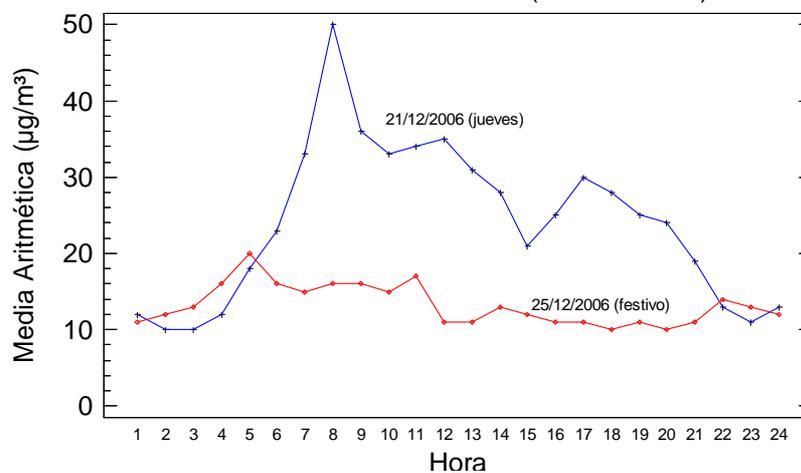


FIGURA 4.2.6.- EVOLUCIÓN HORARIA DEL NO LOS DÍAS 21 Y 25 DE DICIEMBRE DE 2006 (ESTACIÓN MERCADO CENTRAL)

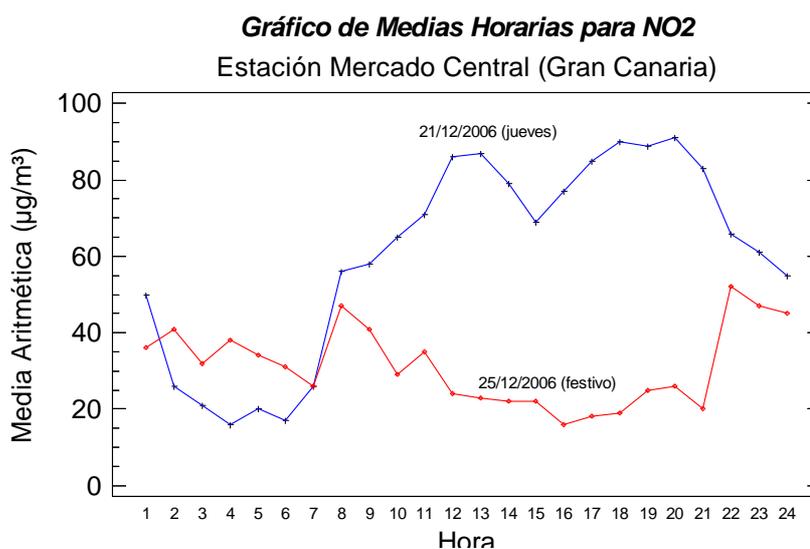


FIGURA 4.2.7.- EVOLUCIÓN HORARIA DEL NO₂ LOS DÍAS 21 Y 25 DE DICIEMBRE DE 2006 (ESTACIÓN MERCADO CENTRAL)

Las estaciones industriales, del valle de Jinámar, presentan las concentraciones más bajas los primeros meses del año $\leq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (figura 4.2.9). A partir de mayo, suben de manera generalizada, alcanzando sus máximos en los meses de noviembre y diciembre, excepto la estación Jinámar que tiene el máximo más elevado de todas las estaciones (alrededor de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$), en septiembre.

Las estaciones de fondo urbano, presentan una evolución similar a las industriales, aunque con concentraciones menores. En los primeros meses del año se registran las concentraciones más bajas: $\leq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (figura 4.2.10) y los máximos aparecen en noviembre y diciembre, pero con valores inferiores a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las velocidades de viento más bajas ocurren, precisamente, en estos meses (figura 4.2.12), siendo, por tanto, menor la dispersión de los contaminantes.

Las estaciones de medida ubicadas en zonas turísticas o de playa, como son los casos de San Agustín (urbana), Playa del Inglés (fondo urbano) y Arinaga (fondo urbano), tienen las menores concentraciones en la primera mitad del año, para ir aumentando paulatinamente a lo largo de la segunda mitad. Así, en la estación de San Agustín, se incrementan los valores de NO₂ desde el mes de mayo, alcanzando sus máximos en septiembre y noviembre. Ello, puede estar relacionado, al ser una zona eminentemente turística, con el desarrollo del tráfico a lo largo del año. La población de la isla acude, de forma masiva, a las playas en verano, desde las diferentes ciudades de la isla y se puede producir un aumento de NO₂. En Arinaga, el NO₂ presenta un máximo relativo en julio, período vacacional y de playa. En Playa del Inglés éste máximo relativo se traslada al mes de agosto, que es el período de mayor afluencia de turismo nacional, para luego disminuir durante septiembre y octubre y volver a aumentar en noviembre y diciembre (máximo absoluto), época alta de turismo extranjero que combinado con la baja velocidad de viento, provoca que aumenten los niveles de NO₂.

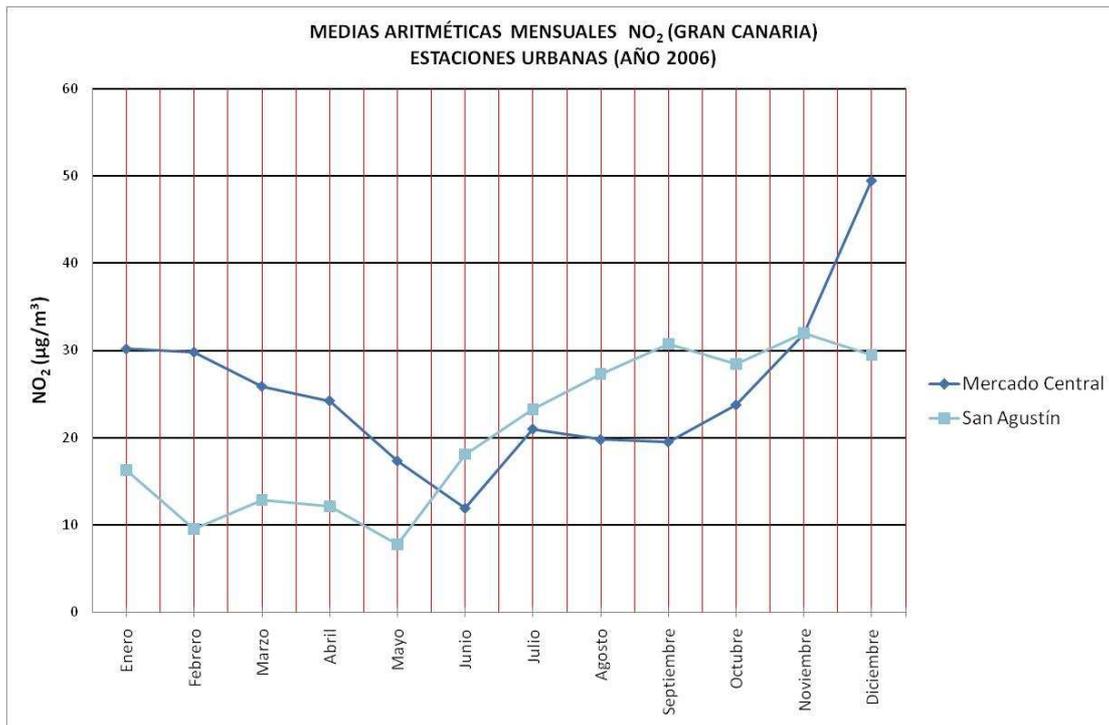


FIGURA 4.2.8.- VARIACIÓN MENSUAL DE NO₂ ESTACIONES URBANAS GRAN CANARIA (AÑO 2006)

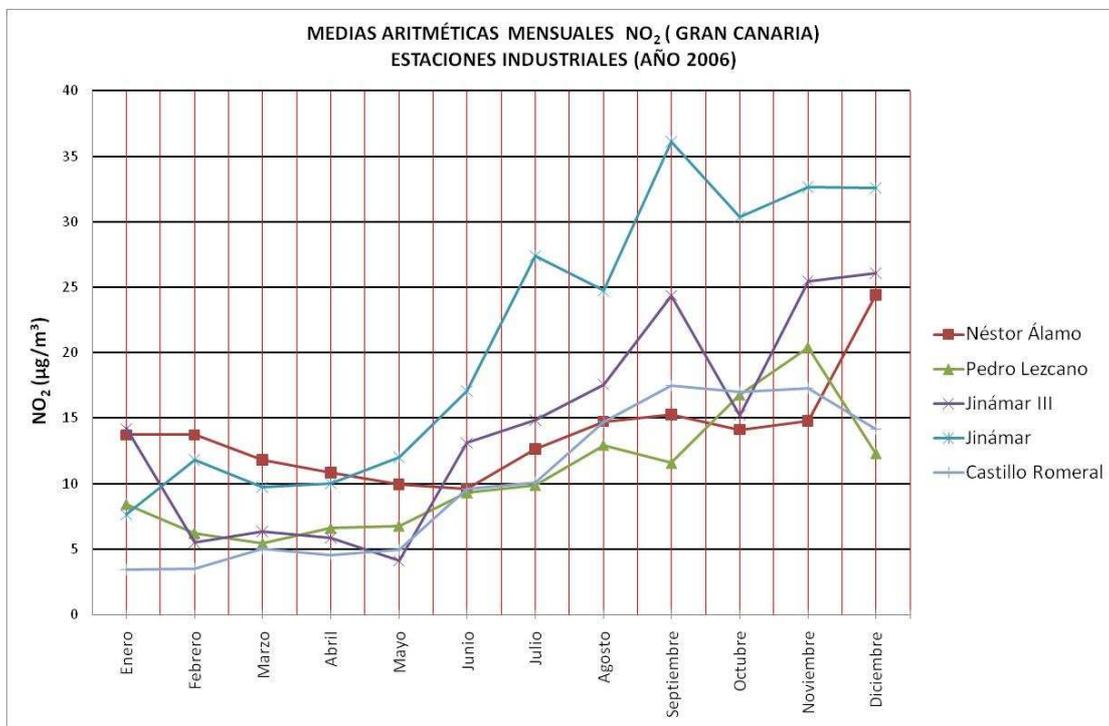


FIGURA 4.2.9.- VARIACIÓN MENSUAL DE NO₂ ESTACIONES INDUSTRIALES GRAN CANARIA (AÑO 2006)

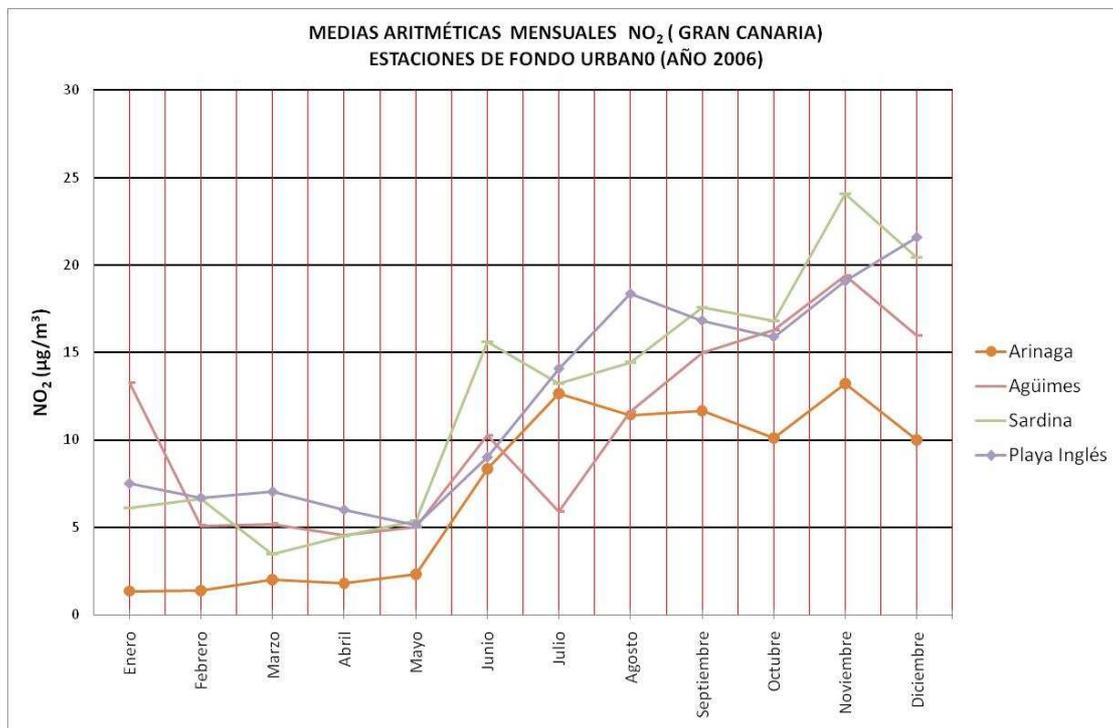


FIGURA 4.2.10.- VARIACIÓN MENSUAL DE NO₂ ESTACIONES DE FONDO URBANAS GRAN CANARIA (AÑO 2006)

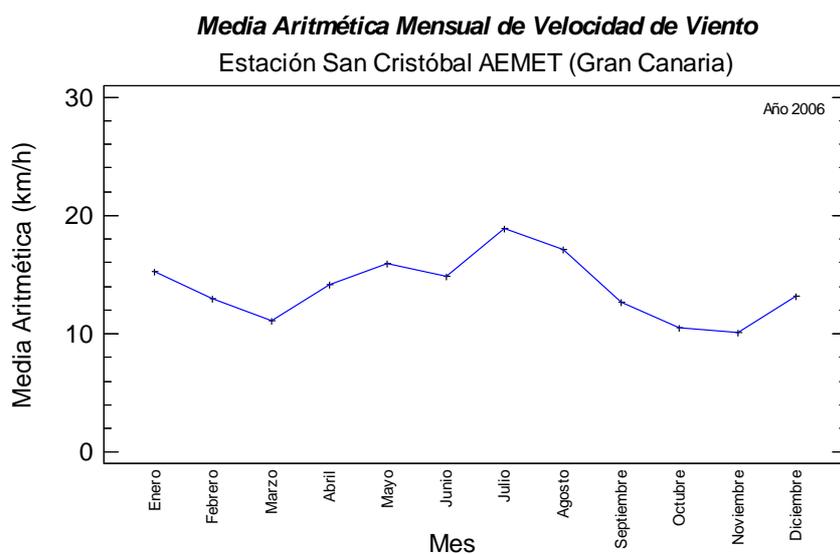


FIGURA 4.2.11.- VELOCIDADES MEDIAS MENSUALES DE VIENTO ESTACIÓN SAN CRISTÓBAL (GRAN CANARIA) AEMET (2006)

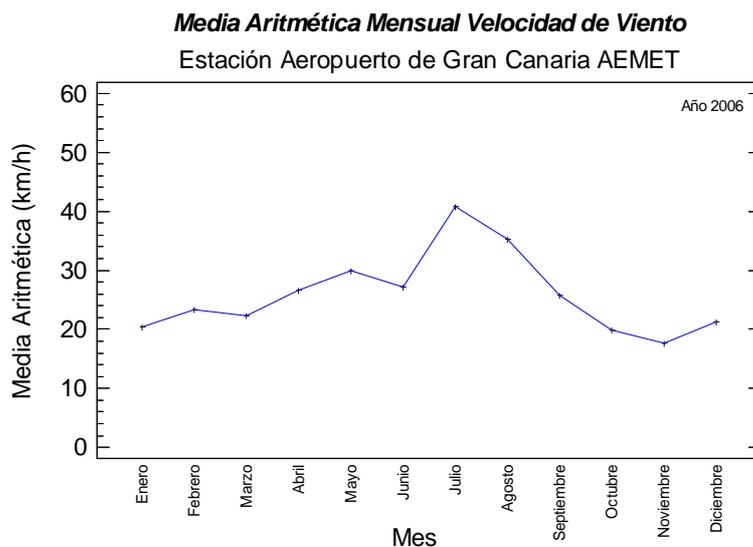


FIGURA 4.2.12.- VELOCIDADES MEDIAS MENSUALES DE VIENTO ESTACIÓN AEROPUERTO DE GRAN CANARIA AEMET (2006)

En 2007 (figuras 4.2.13, 4.2.14 y 4.2.15) los valores medios de NO₂, aumentan en todas las estaciones de medida, con respecto a 2006. Por ejemplo, la de Mercado Central, presenta un valor medio anual de 37 µg/m³, un 46 % superior al de 2006. Se aprecia, de manera general, una mayor correlación entre velocidad de viento (figura 4.2.16 y figura 4.2.17) y concentración de NO₂.

En las estaciones urbanas, como Mercado Central, los valores máximos se alcanzan en los primeros y últimos meses del año, con la excepción de junio que presenta una concentración muy cercana a la máxima (enero con 46,6 µg/m³). Los meses de abril y mayo, aunque aparecen representados en la figura 4.2.13, no son significativos, ya que en abril todos los registros están entre 3 y 4 µg/m³ y en mayo solamente se dispusieron de 231 datos de los 744 posibles; desde el 1 al 22 de mayo, ambos inclusivos, no hay registros.

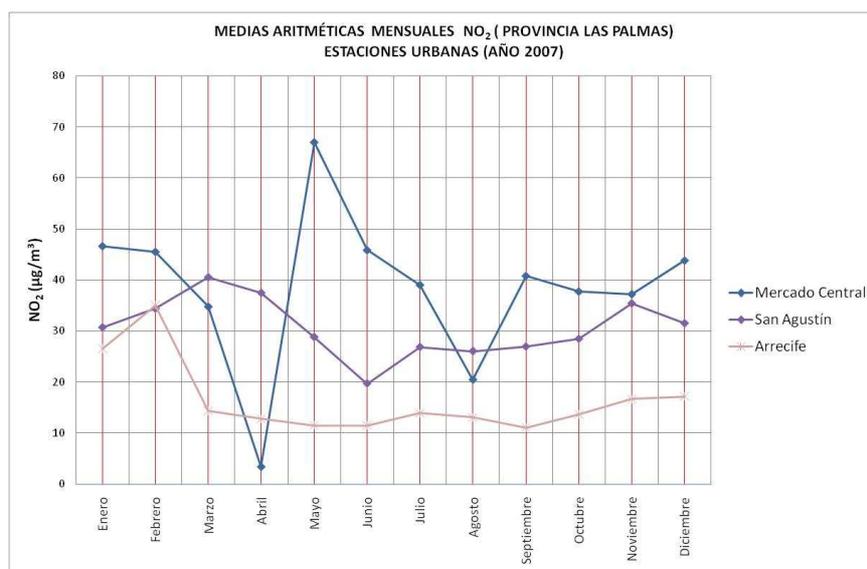


FIGURA 4.2.13.- VARIACIÓN MENSUAL DE NO₂ ESTACIONES URBANAS PROVINCIA DE LAS PALMAS (AÑO 2007)

Las estaciones industriales (figura 4.2.14), presentan una evolución a lo largo de 2007 muy desigual. Destaca sobre todas Néstor Álamo con un aumento de la concentración de NO₂ a partir de septiembre. Los meses de octubre, noviembre y diciembre registran concentraciones medias mensuales por encima de los 40 µg/m³ y en diciembre llega a los 70 µg/m³. Estas altas concentraciones son acompañadas, a su vez, de altos valores de SO₂. La concentración de SO₂ en el mes de diciembre alcanza los 206 µg/m³, muy superior a la segunda más elevada, que se produjo en el mes de septiembre con 27 µg/m³. De los meses de octubre y noviembre no se disponen datos de SO₂ y los de septiembre son escasos (114 datos horarios). Como se comentará en el apartado correspondiente a este contaminante, altos valores en las concentraciones implica una fuente importante, que no es achacable al tráfico rodado y sí debida, generalmente, a centrales termoeléctricas, calefacciones o grandes plantas industriales. En este caso, la central termoeléctrica de Jinámar cercana a las estaciones del valle, podría ser la fuente emisora.

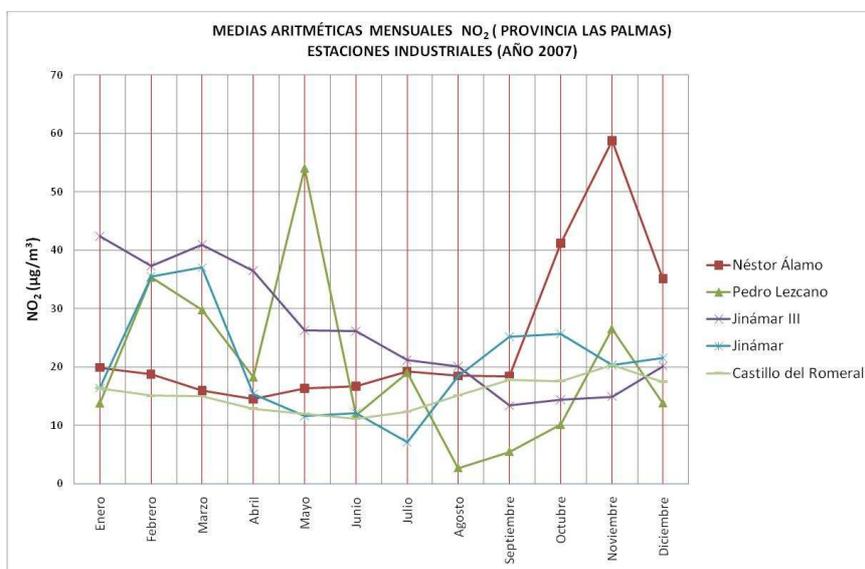


FIGURA 4.2.14.- VARIACIÓN MENSUAL DE NO₂ ESTACIONES INDUSTRIALES PROVINCIA DE LAS PALMAS (AÑO 2007)

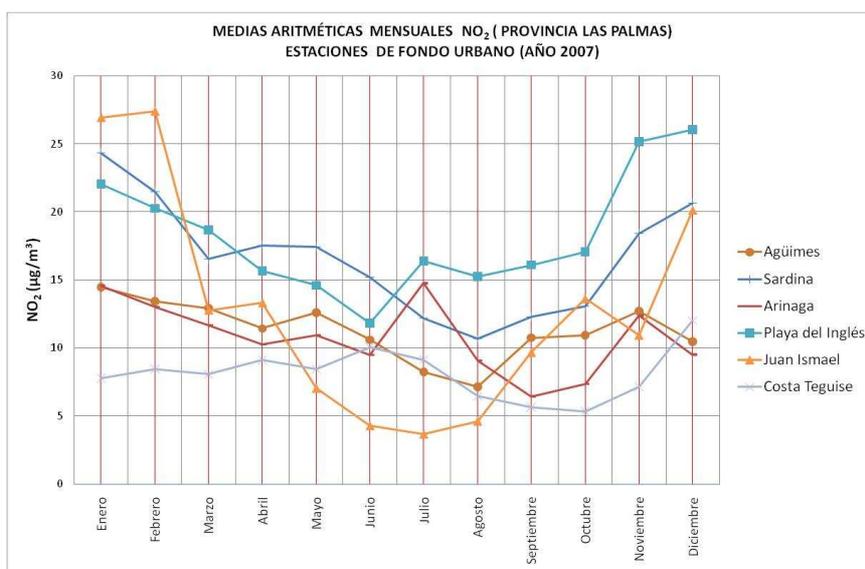


FIGURA 4.2.15.- VARIACIÓN MENSUAL DE NO₂ ESTACIONES DE FONDO URBANAS PROVINCIA DE LAS PALMAS (AÑO 2007)

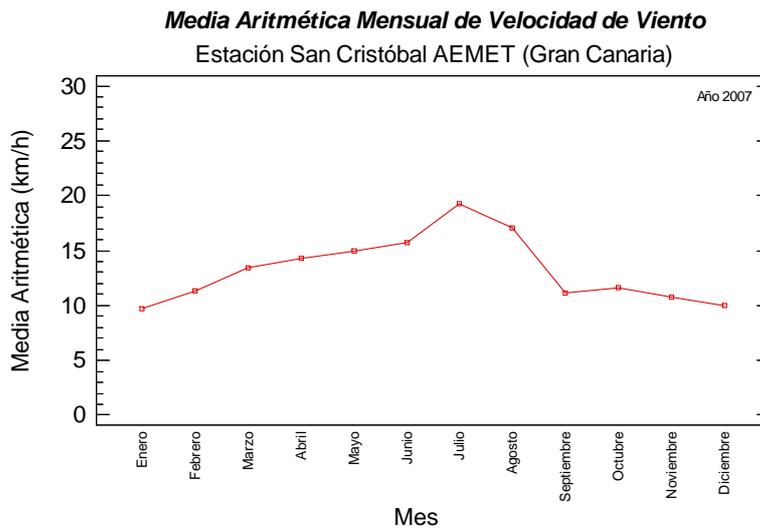


FIGURA 4.2.16.- VELOCIDADES MEDIAS MENSUALES DE VIENTO ESTACIÓN SAN CRISTÓBAL AEMET (2007)

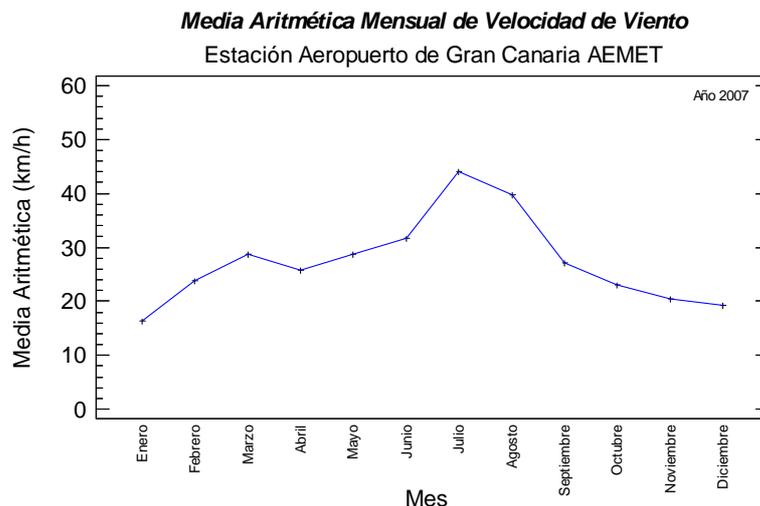


FIGURA 4.2.17.- VELOCIDADES MEDIAS MENSUALES DE VIENTO ESTACIÓN AEROPUERTO DE GRAN CANARIA AEMET (2007)

Con respecto a la evolución mensual de la relación NO_2/NO_x , ésta se muestra en las tablas 4.2.6 (año 2006) y 4.2.7 (año 2007).

En 2006, las relaciones máximas aparecen en todas las estaciones durante otoño-invierno. La excepción corresponde a Playa del Inglés en donde esto ocurre en agosto. Sin embargo éste parece ser, a falta de un estudio más prolongado en el tiempo, un hecho puntual puesto que como se verá seguidamente, no ocurre lo mismo en 2007. La estación San Agustín, situada en zona turística del sur de Gran Canaria, al igual que la estación Playa del Inglés (cercana a ella), presenta unas relaciones mayores que Playa del Inglés, excepto en el mes de agosto.

TABLA 4.2.6.- RELACIÓN NO₂/NO_x MENSUAL ESTACIONES ISLA DE GRAN CANARIA (AÑO 2006)

	NO ₂ /NO _x (Año 2006)										
	Mercado Central	Pedro Lezcano	Jinámar	Jinámar III	Néstor Álamo	Agüimes	Arinaga	Sardina	Castillo del Romeral	San Agustín	Playa del Inglés
Enero	0,70	0,55	0,57	0,60	0,29	0,52	0,76	0,52	0,63	0,60	0,42
Febrero	0,71	0,55	0,43	0,40	0,32	0,67	0,80	0,71	0,70	0,71	0,44
Marzo	0,70	0,61	0,65	0,39	0,29	0,67	0,77	0,69	0,67	0,69	0,45
Abril	0,69	0,46	0,47	0,66	0,31	0,61	0,74	0,69	0,59	0,67	0,47
Mayo	0,48	0,44	0,49	0,76	0,42	0,57	0,66	0,68	0,53	0,70	0,47
Junio	0,55	0,43	0,37	0,46	0,33	0,51	0,52	0,71	0,56	0,64	0,51
Julio	0,62	0,58	0,70	0,59	0,34	0,35	0,66	0,70	0,58	0,58	0,53
Agosto	0,60	0,59	0,50	0,50	0,41	0,62	0,69	0,67	0,64	0,59	0,63
Septiembre	0,61	0,41	0,57	0,52	0,38	0,63	0,50	0,53	0,67	0,59	0,53
Octubre	0,62	0,47	0,50	0,43	0,36	0,62	0,39	0,49	0,65	0,57	0,51
Noviembre	0,64	0,62	0,59	0,52	0,38	0,72	0,72	0,70	0,68	0,62	0,47
Diciembre	0,66	0,26	0,56	0,58	0,46	0,74	0,64	0,61	0,62	0,70	0,51

El año 2007 mantiene, de manera general, la tónica de 2006: mayores relaciones en otoño-invierno y menores en primavera-verano, con algunas excepciones. En las estaciones situadas en la costa, las relaciones de los meses veraniegos suelen ser altas. Así, Castillo del Romeral (0,76) y Arinaga (0,74) presentan su máximo en agosto. En Playa del Inglés, las concentraciones de NO y NO₂ son prácticamente iguales todo el año como sucedía el año anterior aunque con un ligero predominio de las de NO₂.

Habida cuenta que, tal como se indicó en el apartado anterior, hubo un mes (mayo) en que en la estación de medida de Pedro Lezcano emplazada en el polígono de Jinámar y considerada de tipo industrial, se midieron 39 superaciones horarias y ante la sospecha de que tal número de excedencias podrían deberse a una fuente específica de emisión, se realizó un estudio de las retro trayectorias de viento, en los días concretos en que se registraron esas concentraciones anormales (entre el 8 y el 12 de mayo), con el fin de determinar su dirección y por ende la posible procedencia del exceso de óxidos.

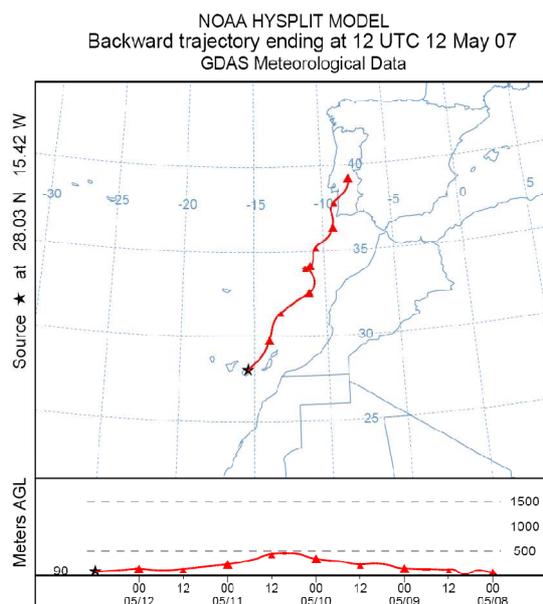


FIGURA 4.2.18.- RETROTRAYECTORIAS DE VIENTO ENTRE EL 8 Y EL 12 DE MAYO DE 2007 (ESTACIÓN PEDRO LEZCANO)

TABLA 4.2.8.- RELACIÓN NO₂/NO_x MENSUAL ESTACIONES PROVINCIA DE LAS PALMAS (AÑO 2007)

	NO ₂ /NO _x (Año 2007)														
	Mercado Central	Pedro Lezcano	Jinámar	Jinámar III	Néstor Álamo	Agüimes	Arinaga	Sardina	Castillo del Romeral	San Agustín	Playa del Inglés	Centro Juan Ismael	Parque de la Piedra	Arrecife	CostaTeguisse
Enero	0,63	0,47	0,53	0,70	0,44	0,72	0,62	0,64	0,62	0,61	0,53	0,76	0,61	0,56	0,50
Febrero	0,62	0,51	0,50	0,59	0,45	0,65	0,76	0,63	0,64	0,56	0,50	0,82	-	0,58	0,56
Marzo	0,56	0,53	0,62	0,67	0,40	0,60	0,76	0,60	0,75	0,70	0,49	0,78	0,48	0,48	0,54
Abril	0,23	0,32	0,44	0,63	0,40	0,60	0,75	0,66	0,72	0,81	0,49	0,69	0,44	0,38	0,46
Mayo	0,71	0,52	0,42	0,53	0,39	0,62	0,70	0,66	0,68	0,63	0,50	0,70	0,26	0,33	0,48
Junio	0,60	0,71	0,42	0,59	0,43	0,70	0,66	0,70	0,60	0,54	0,51	0,48	0,12	0,33	0,47
Julio	0,59	0,45	0,28	0,52	0,43	0,62	0,74	0,65	0,63	0,59	0,54	0,43	0,37	0,40	0,37
Agosto	0,59	0,06	0,46	0,41	0,47	0,54	0,56	0,68	0,76	0,60	0,53	0,47	0,36	0,49	0,23
Septiembre	0,69	0,08	0,57	0,40	0,53	0,61	0,52	0,70	0,69	0,63	0,55	0,62	0,36	0,57	0,32
Octubre	0,69	0,13	0,54	0,40	0,61	0,61	0,59	0,63	0,62	0,60	0,54	0,72	0,32	0,58	0,32
Noviembre	0,67	0,32	0,51	0,43	0,74	0,52	0,63	0,59	0,58	0,62	0,59	0,62	0,35	0,56	0,41
Diciembre	0,73	0,38	0,57	0,40	-	0,52	0,59	0,56	0,51	0,63	0,67	0,69	0,39	0,62	0,57

En la figura 4.2.18, se expone de manera gráfica la retrotrayectoria relativa a los días reseñados y a la altura que está colocada la estación, que es de 90 m. Se observa que dicha retrotrayectoria tiene un amplio recorrido marítimo, con una dirección N-NE, típica de los vientos alisios.



FIGURA 4.2.19.- RETROTRAYECTORIA DE VIENTO ENTRE EL 8 Y EL 12 DE MAYO DE 2007 IMPLEMENTADA EN GOOGLE EARTH (ESTACIÓN PEDRO LEZCANO)

Implementada ésta retrotrayectoria en una imagen suministrada por Google Earth se observa claramente (figura 4.2.19), la probable influencia del complejo central térmica-potabilizadora, que introduce los gases de combustión hacia el interior del polígono de Jinámar. La velocidad de viento, según los datos proporcionados por la AEMET, estuvo comprendida, entre los 2 y 3 km/h, los días 8 y 9 de mayo a las 18 horas. Velocidad bastante baja, que contribuye a que la dispersión de los contaminantes sea poco significativa. Los días 14 y 15 de mayo, próximos a los anteriores y en los que no se registró estos altísimos valores, la velocidad de viento a las 18 horas fue, como mínimo, seis veces más elevada, 18 km/h.

4.2.3.2 VARIACIÓN HORARIA

El estudio de la variación horaria de NO y NO₂, ofrece una ampliación visión de cómo se desarrolla la vida diaria en los lugares en los cuales están ubicadas las estaciones de medida. Se ha añadido la variación horaria de PM₁₀, para una mejor comprensión de lo que ocurre.

Uno de los contaminantes emitidos a la atmósfera por procesos de combustión (tráfico rodado, centrales térmicas, barcos, industrias, etc.) es el NO; sin embargo el que se incorpora a la atmósfera experimenta una lenta pero constante oxidación a NO₂. A su vez, ambos óxidos sufren el llamado ciclo fotolítico de los óxidos de nitrógeno, proceso complejo y no del todo bien conocido. Ello implica, que aparte de la combustión, intervienen otras variables como son: la radiación solar, temperatura, compuestos orgánicos presentes en el aire, etc. que puede variar las cantidades atmosféricas presentes de uno u otro óxido. Como se

ha hecho anteriormente para la PM₁₀, se ha creído conveniente realizar el análisis de la evolución horaria atendiendo al tipo de estación.

4.2.3.2.1 ESTACIONES URBANAS

La estación de medida Mercado Central, la única que se encuentra emplazada en pleno corazón de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria, se encuentra sometida a un tráfico relativamente intenso e influenciado por la actividad realizada en el puerto marítimo de la ciudad.

En esta estación, el NO se comporta, en los años 2006 y 2007, bajo un mismo patrón horario, con un valor máximo entre las 8 y 9 horas de la mañana, debido al aumento del tráfico rodado. La concentración media de éste máximo en el año 2006 fue un 13 % inferior a la de 2007, 29,5 µg/m³ frente 33,7 µg/m³. Pasada la hora punta de tráfico, la concentración de NO disminuye paulatinamente, alcanzando su mínimo sobre las 15 horas, para luego repuntar ligeramente a las 19-20 horas en 2006. En 2007, el repunte es más acusado, alcanzando una mayor concentración y una hora más tarde (20-21 horas) quizás influida por el horario de invierno.

En las figuras 4.2.20 y 4.2.21, se puede observar que antes de iniciarse la jornada laboral la concentración de PM₁₀, NO y NO₂ presenta pequeñas variaciones. A medida que el tráfico rodado empieza a intensificarse aumenta de forma acusada la concentración de NO y de manera más suave la de NO₂ y PM₁₀. Un vez alcanzado el máximo la concentración de NO disminuye, debido posiblemente a que se produce de manera conjunta un descenso del tráfico y un crecimiento de la intensidad solar, hasta alcanzar un mínimo relativo que ocurre sobre las 15 horas (13,7 µg/m³ en 2006 y 18,3 µg/m³) para volver a aumentar lentamente hasta las 20-21 horas, momento a partir del cual sufre una ligera disminución hasta llegar a establecerse en concentraciones mínimas durante la madrugada. Por lo que concierne al NO₂, tal como se aprecia en la gráfica la distribución horaria de este compuesto es bimodal, con picos similares a las 12 y a las 20 horas. La disminución de las concentraciones de NO₂ a partir del mediodía va acompañada de la aparición, entre otros compuestos, de oxidantes fotoquímicos, como el O₃. Pasado este pequeño bache las concentraciones empiezan a repuntar a partir de las 17 horas, debido posiblemente a un incremento del tráfico que viene acompañado de un descenso en las concentraciones de ozono. Al igual que sucede con el NO, las concentraciones mínimas se registran en horas de madrugada.

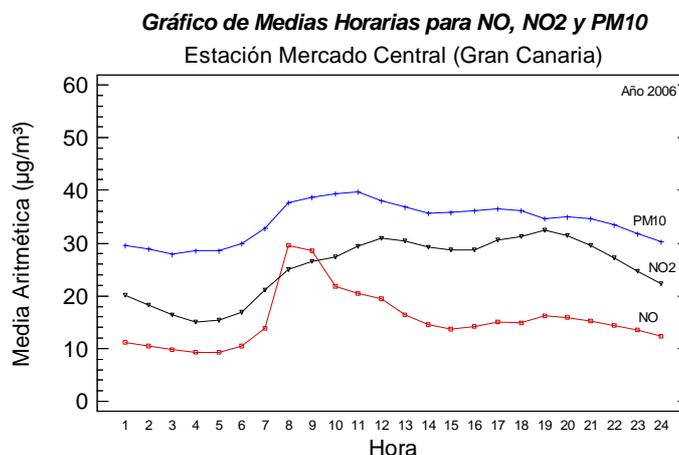


FIGURA 4.2.20.- MEDIAS HORARIAS DE NO, NO₂ Y PM₁₀ ESTACIÓN MERCADO CENTRAL (AÑO 2006)

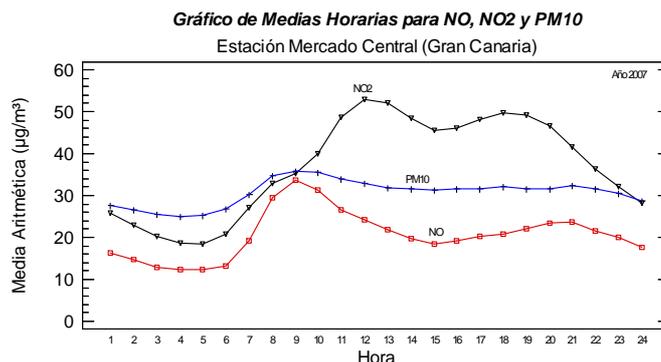


FIGURA 4.2.21.- MEDIAS HORARIAS DE NO, NO₂ Y PM₁₀ ESTACIÓN MERCADO CENTRAL (AÑO 2007)

Las figuras 4.2.22 y 4.2.23, muestran la evolución horaria durante los días de la semana, en Mercado Central, de los contaminantes PM₁₀, NO y NO₂. Se observa, más claramente en el año 2007, que estos contaminantes presentan una evolución parecida de lunes a viernes. Un aumento de PM₁₀, NO y NO₂ a primera hora de la mañana (7 horas), hora punta del tráfico rodado en Las Palmas de Gran Canaria, alcanzándose el máximo diario de NO y PM₁₀. El máximo de NO₂ se alcanza algo más tarde. Los sábados y domingos, se produce una disminución generalizada de los tres contaminantes, especialmente de NO, ya que el tráfico, que es la fuente principal de NO en la zona, disminuye considerablemente. El año 2006 parece algo atípico; a primeras horas de la mañana se producen los máximos de NO coincidiendo con las horas punta del tráfico, desplazando el máximo de NO₂ a horas más tardías, al igual que en 2007, pero con menores concentraciones.

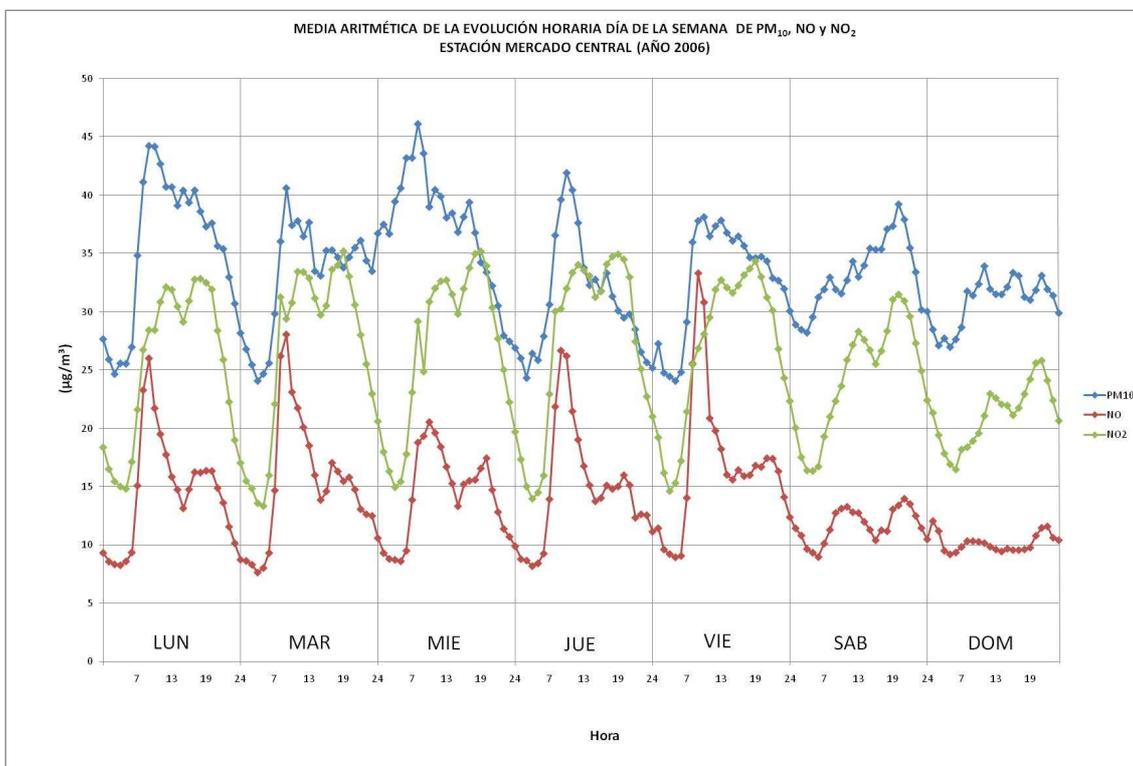


FIGURA 4.2.22.- EVOLUCIÓN HORARIA DÍA DE LA SEMANA DE NO, NO₂ Y PM₁₀ MERCADO CENTRAL (2006)

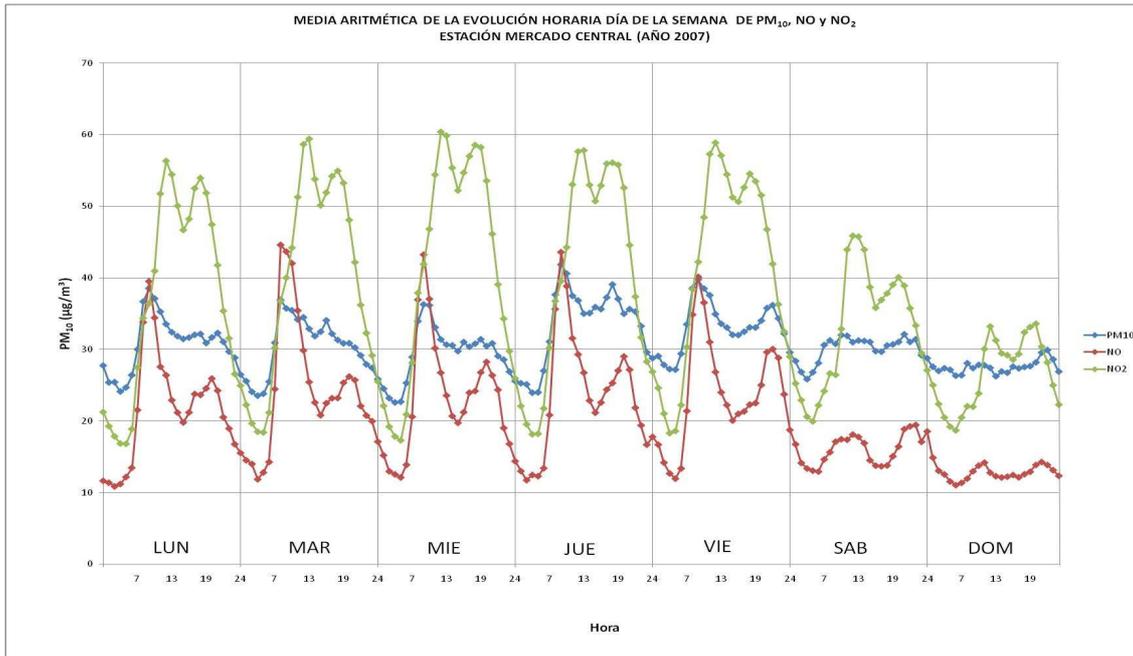


FIGURA 4.2.23.- EVOLUCIÓN HORARIA DÍA DE LA SEMANA DE NO, NO₂ Y PM₁₀ MERCADO CENTRAL (2007)

4.2.3.2.2 ESTACIONES INDUSTRIALES

Las estaciones industriales ubicadas en el valle de Jinámar (Gran Canaria), de manera general, presentan una distribución claramente bimodal en el caso del NO₂ con los picos situados, uno en horas de mañana (8-9 horas) y otro en horas de tarde-noche (19-20 horas); los valores de NO₂ son superiores, de manera general, a los de NO, cuya distribución es unimodal (modo situado entre 8 y 9 horas).

La figura 4.2.24, muestra la variación horaria anual de Jinámar III (2006). Se observa, un máximo de NO₂ (77 % superior al de NO) a las 8 horas. La relación máximo/mínimo es 1,78 para el NO y 1,8 para el NO₂. Por otro lado, la media aritmética anual de NO₂ es 40 % superior en 2006 con respecto al NO y 70 % en 2007.

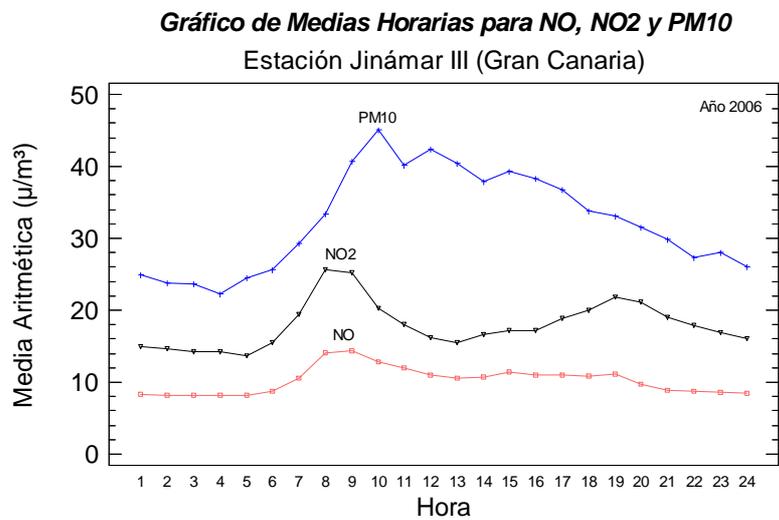


FIGURA 4.2.24.- MEDIAS HORARIAS DE NO, NO₂ Y PM₁₀ ESTACIÓN JINÁMAR III (AÑO 2006)

La excepción, se presenta en el año 2006 en la estación Néstor Álamo, figura 4.2.25, donde se observa un pico muy pronunciado de NO a las 8 horas, (sobre los 70 µg/m³). Debido a la cercanía del complejo central térmica-potabilizadora, podría deberse a la actividad generada en el mismo, que suele aumentar a primeras horas de la mañana, junto con el tráfico de la autopista GC-1. De todas maneras, los valores de NO₂, son inusualmente bajos, presentando un máximo de unos 16 µg/m³ en el año 2006 que contrasta con los 36 µg/m³ de 2007.

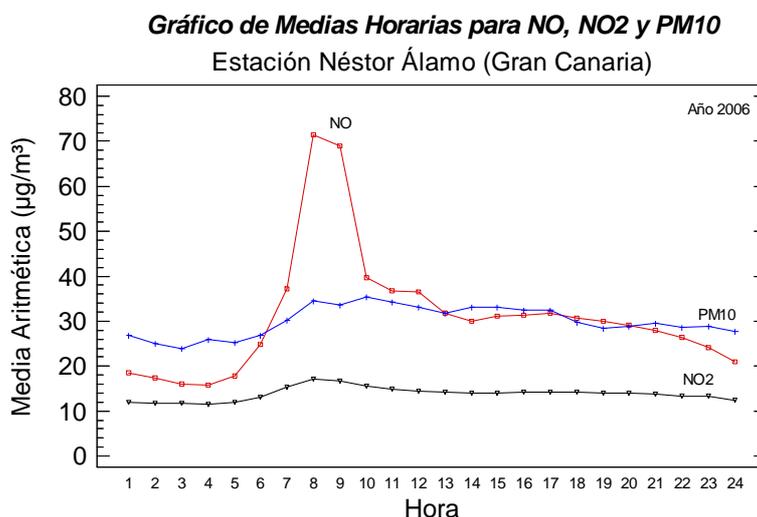


FIGURA 4.2.25.- MEDIAS HORARIAS DE NO, NO₂ Y PM₁₀ ESTACIÓN NÉSTOR ÁLAMO (AÑO 2006)

La figura 4.2.26, representa la evolución horaria semanal de NO, NO₂ y PM₁₀ en Néstor Álamo (2006). Se aprecia, una evolución similar entre NO y NO₂ de lunes a viernes; con picos pronunciados a primeras horas de la mañana y al mismo tiempo. Llama poderosamente la atención, los máximos de NO especialmente el viernes, con un valor por encima de los 60 µg/m³ (a las 7 horas).

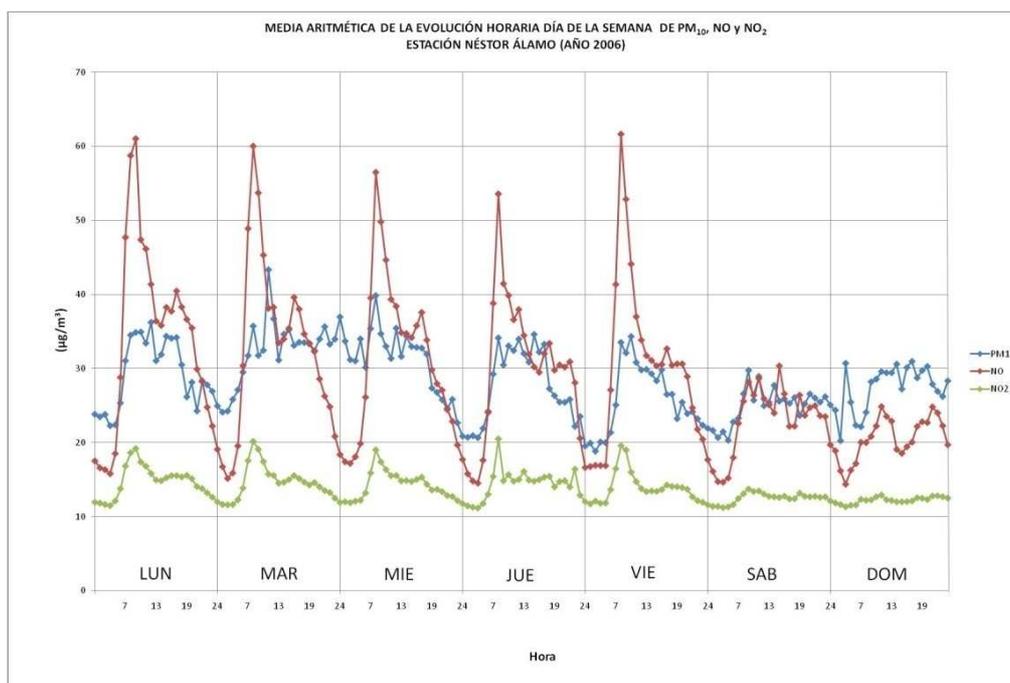


FIGURA 4.2.26.- EVOLUCIÓN HORARIA DÍA DE LA SEMANA DE NO, NO₂ Y PM₁₀ NÉSTOR ÁLAMO (2006)

En próximos trabajos sería interesante aumentar a más años el periodo de estudio y analizar las curvas de carga (en el apartado correspondiente al ozono, se muestra una curva de carga correspondiente a una semana de 2007) de la central termoeléctrica así como la velocidad y dirección del viento en la zona, para poder observar y estimar cuantitativamente la influencia de la Central.

4.2.3.2.3 ESTACIONES DE FONDO URBANAS

La variación de NO y NO₂, sigue el mismo patrón que en los otros tipos de estaciones. En todas ellas, las concentraciones de NO se mantienen por encima de las de NO₂ y la disminución del NO₂ y de NO, suele ser acusada una vez alcanzado el máximo de primeras horas de la mañana, como sucede en la estación de Playa del Inglés, claramente marcada por el tráfico.

En la figura 4.2.27, se observa que el pico máximo de NO₂, alcanza los 40 µg/m³ y el de NO 36 µg/m³. A medida que aumenta la radiación solar disminuye la concentración de NO₂, para volver a incrementarse a partir de las 17 horas, cuando disminuye la radiación solar.

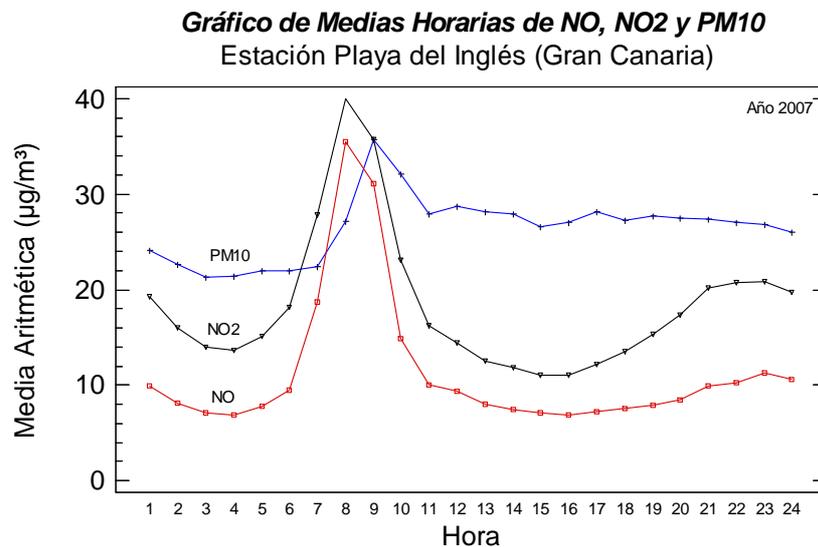


FIGURA 4.2.27.- MEDIAS HORARIAS DE NO, NO₂ Y PM₁₀ ESTACIÓN PLAYA DEL INGLÉS (AÑO 2007)

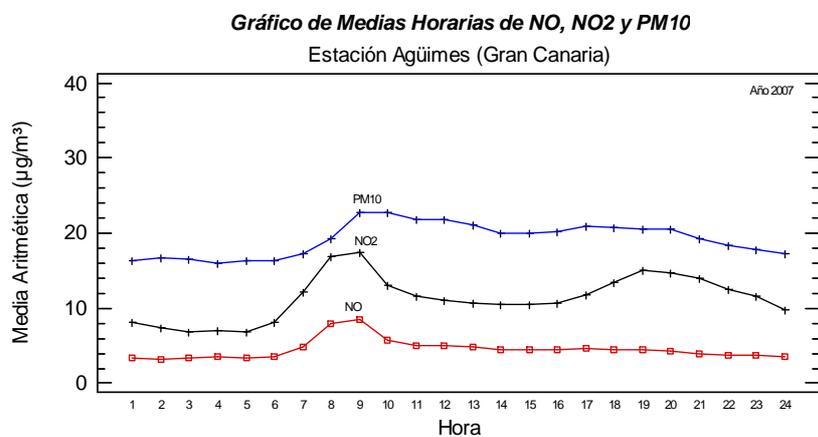


FIGURA 4.2.28.- MEDIAS HORARIAS DE NO, NO₂ Y PM₁₀ ESTACIÓN AGÜIMES (AÑO 2007)

La figura 4.2.28, muestra las medidas de la estación de Agüimes (2007), que sigue un patrón muy parecido a la de Playa del Inglés, aunque con concentraciones menores y curvas mas suavizadas. Se puede decir, que el tráfico rodado es el principal causante de las concentraciones de NO y NO₂. Playa del Inglés, es una zona turística, la más densamente poblada del municipio de San Bartolomé de Tirajana y todas las mañanas la afluencia de trabajadores a los complejos turísticos es importante. En Agüimes, la estación está ubicada, en la salida del pueblo, en dirección al mar. La mayor parte del tráfico rodado, pasa por la vía en la que está situada la estación de medida, pero la densidad de tráfico es mucho menor.

En la figura 4.2.29, se observa que la evolución del NO y NO₂ es muy similar, produciéndose los máximos y mínimos de ambos contaminantes al unísono, incluidos los sábados y los domingos. Los máximos y mínimos de PM₁₀, a lo largo de la semana, también coinciden con los de NO y NO₂; la evolución entre máximo y mínimo presenta una gráfica de dientes de sierra. Ello puede ser debido, a la posible existencia de otra fuente de PM₁₀ diferente al tráfico rodado, ya que la zona sur-sureste de la isla es más afectada por las intrusiones de aire africano. Los sábados las concentraciones de NO y NO₂, mantiene la tónica de la semana, pero los máximos son menores. La diferencia entre el máximo de NO₂ y de NO aumenta, debido a la disminución del tráfico rodado y los domingos se aprecia una clara bajada del máximo de NO, la de NO₂ es menos acusada y se alcanza la máxima diferencia entre máximos. Es evidente, la disminución del tráfico con respecto a cualquier día de la semana.

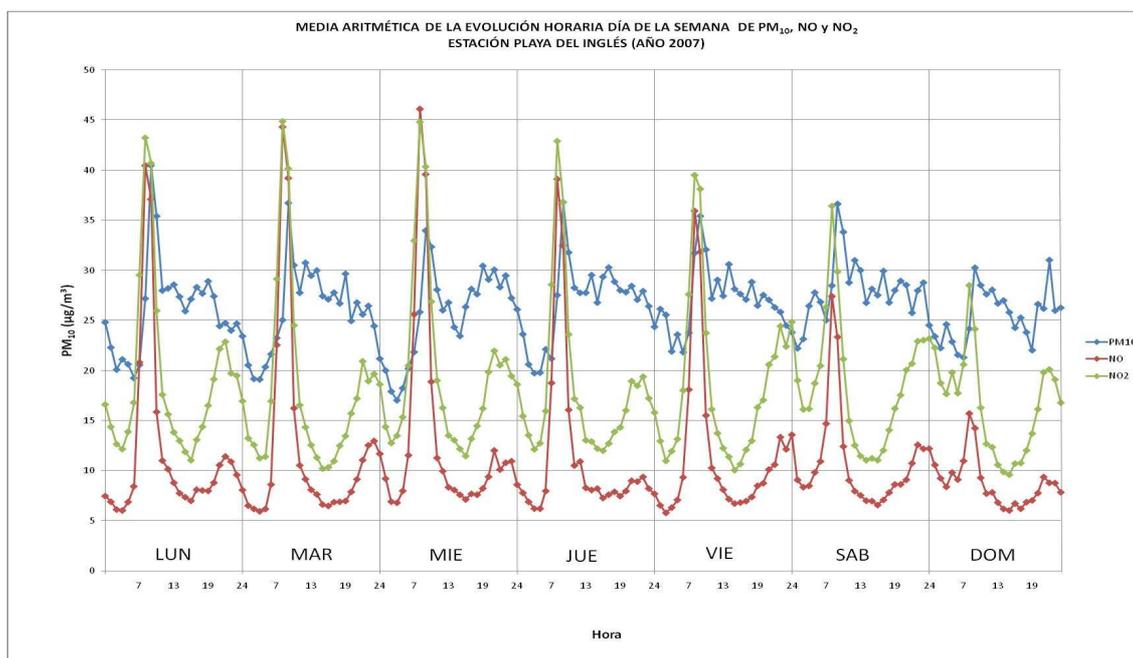


FIGURA 4.2.29.- EVOLUCIÓN HORARIA DÍA DE LA SEMANA DE NO, NO₂ Y PM₁₀ PLAYA DEL INGLÉS (2007)

4.1 PARTÍCULAS (PM₁₀)

4.2 ÓXIDOS DE NITRÓGENO

4.3 DIÓXIDO DE AZUFRE

4.4 OZONO

4.5 ANÁLISIS DE FACTORES

4.3 DIÓXIDO DE AZUFRE

4.3.1 INTRODUCCIÓN

Tal como se ha comentado en este estudio, los óxidos de azufre emitidos a la atmósfera pueden ser de origen natural o antropogénico. Las emisiones de origen natural representan alrededor del 50 % del total y provienen, principalmente, de la oxidación del H₂S originado por la degradación anaerobia de la materia orgánica de pantanales, lodazales, fuentes biológicas terrestres, etc.

Las emisiones antropogénicas, están originadas por la combustión de carburantes que contienen azufre (Reddy and Venkataraman, 2002), siendo los principales puntos emisores los focos estacionarios de combustión, como son centrales termoeléctricas, industrias, calefacciones domésticas y puertos marítimos (con su industria asociada). En España, las principales fuentes de emisión son las centrales termoeléctricas seguidas de las plantas industriales. El transporte, es también una fuente emisora de SO₂ (Bhanarkar et al., 2005), pero de menor peso que las anteriormente citadas, que suele ser significativa en ciudades con tráfico intenso y con condiciones meteorológicas adversas

En Canarias y concretamente en la provincia de Las Palmas, se puede decir que las emisiones antropogénicas de SO₂, están marcadas por las centrales termoeléctricas y el tráfico rodado, así como el puerto marítimo de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria.

4.3.2 SERIES TEMPORALES DE NIVELES DE DIÓXIDO DE AZUFRE

La Directiva Europea 2008/50, en su Anexo XI, marca una serie de valores límite de SO₂ para la protección de la salud humana. Estos son: 350 µg/m³, que no podrá superarse más de 18 veces por año civil, (en un período medio de medida de 1 hora) y 125 µg/m³, que no podrá superarse más de 3 veces por año civil en un período medio de 1 día.

Las tablas 4.3.1 y 4.3.2, muestran los estadísticos de los años 2006 y 2007 para todas las estaciones de medida de la provincia. Como puede observarse, algunas estaciones presentan un número de datos relativamente bajo debido a problemas surgidos con el equipo de medida, sobre todo en el año 2007. Tal es el caso de Mercado Central en Gran Canaria, con un 66% del total de registros posibles.

En 2006, la concentración media de SO₂ fue relativamente baja en todas las estaciones, fundamentalmente en las de fondo urbanas, así como en la de Castillo del Romeral (industrial urbana), con valores por debajo de los 10 µg/m³. La de Mercado Central, que es la que se encuentra más afectada por el tráfico rodado, presentó una concentración media de 7,3 µg/m³. Como era de prever las estaciones industriales (valle de Jinámar) son las que dispusieron de los registros medios más elevados, entre 13 y 17 µg/m³. Como se ha comentado en varias ocasiones, dichas estaciones están influenciadas por el complejo: central termoeléctrica-potabilizadora. Las desviaciones estándares y los coeficientes de variación más significativos aparecen también en estas estaciones así como los máximos horarios (Néstor Álamo y Jinámar III con unos registros superiores a 300 µg/m³).

Con respecto al año 2007, se mantiene la tónica del 2006. Mercado Central presenta la misma media, pero con un número de registros válidos, mucho menor. La media de las estaciones industriales del valle de Jinámar también es prácticamente la misma 15,2 µg/m³

(2006) frente $15,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2007). Las situadas en el sureste-sur de la isla, aumentan sus niveles ligeramente, destacando entre ellas la de Agüimes, que pasa de $5,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2006 a $8,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2007, aunque los niveles siguen siendo bajos. Al igual que en 2006, los máximos horarios y los mayores coeficientes de variación aparecen en las estaciones industriales del valle de Jinámar así como en Fuerteventura y Lanzarote.

Las estaciones situadas en estas dos islas se incluyen únicamente en la tabla del año 2007, ya que tal como se ha dicho, no existen datos de 2006. Se observa, que las que presentan los mayores registros son la de Arrecife (Lanzarote) con una media de $13,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y la de Parque de la Piedra (Fuerteventura) con $16,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ello puede estar motivado por su situación geográfica, al estar localizadas al suroeste de las centrales termoeléctricas que abastecen a estas dos islas y cuyas emisiones se ven favorecidas por el régimen de los vientos alisios, dominantes en la zona durante el 70 % del año, con una dirección N-NE.

TABLA 4.3.1.- VALORES ESTADÍSTICOS MEDIOS ANUALES DE SO₂, CORRESPONDIENTES AL AÑO 2006 (ESTACIONES ISLA DE GRAN CANARIA)

ESTACIÓN	TIPO ESTACIÓN TIPO ÁREA	AÑO 2006									
		Número Datos Horarios	Media Aritmética $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media Geométrica $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desviación Estándar $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Coficiente Variación %	Mín. horario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Máx. horario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Rango Intercuartil	Percentil 10 %	Percentil 90 %
Mercado Central	Tráfico Urbana	8299	7,3	7,0	2,7	36,6	5,0	23,0	1,0	6,0	10,0
Pedro Lezcano	Industrial Urbana	7675	15,5	12,6	10,9	70,8	1,0	108,5	8,0	6,0	30,5
Jinámar	Industrial Urbana	8496	17,2	12,5	20,7	120,5	1,0	258,5	8,5	6,0	31,5
Jinámar III	Industrial Urbana	8545	14,9	12,6	12,2	81,9	1,0	341,5	7,0	7,0	21,5
Néstor Álamo	Industrial Urbana	8466	13,3	7,3	20,2	151,3	1,0	346,0	10,0	2,0	32,0
Agüimes	Fondo Urbana	8583	5,6	5,1	2,8	50,4	3,0	41,0	3,5	3,0	9,0
Sardina	Fondo Urbana	8647	4,4	4,2	1,3	30,6	3,0	11,0	1,5	3,0	6,0
Arinaga	Fondo Urbana	8350	6,3	5,9	2,1	33,21	3,0	16,0	3,0	4,0	9,0
Castillo del Romeral	Industrial Urbana	8209	6,2	5,6	2,9	47,5	3,0	19,5	4,0	3,0	10,5
San Agustín	Tráfico Urbana	8664	5,3	5,0	2,0	36,6	3,0	17,5	2,5	3,0	7,5
Playa del Inglés	Fondo Urbana	8325	9,0	7,9	5,0	56,1	3,0	75,0	6,0	3,5	14,0

TABLA 4.3.2.- VALORES ESTADÍSTICOS MEDIOS ANUALES DE SO₂, CORRESPONDIENTES AL AÑO 2007 (ESTACIONES PROVINCIA DE LAS PALMAS)

ESTACIÓN	TIPO ESTACIÓN TIPO ÁREA	AÑO 2007									
		Número Datos Horarios	Media Aritmética $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media Geométrica $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desviación Estándar $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Coefficiente Variación %	Mín. horario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Máx. horario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Rango Intercuartil	Percentil 10 %	Percentil 90 %
Mercado Central	Tráfico Urbana	5761	7,4	6,8	3,3	44,7	1,0	28,0	2,0	5,0	11,0
Pedro Lezcano	Industrial Urbana	7366	18,4	14,3	31,1	169,0	3,0	948	10,5	6,0	26,5
Jinámar	Industrial Urbana	7665	14,4	12,7	9,3	64,5	3,0	198,0	8,0	7,0	23,0
Jinámar III	Industrial Urbana	8076	13,2	10,6	21,6	163,4	3,0	714,5	6,0	6,5	18,5
Néstor Álamo	Industrial Urbana	5593	14,4	11,5	8,8	61,2	1,0	147,0	11,0	4,0	24,0
Agüimes	Fondo Urbana	8436	8,5	7,9	3,6	42,2	3,0	49,5	4,0	5,0	12,5
Sardina	Fondo Urbana	8467	5,7	5,5	1,8	31,2	3,0	42,0	2,0	3,5	7,5
Arinaga	Fondo Urbana	8383	7,0	6,7	1,9	26,9	3,0	34,5	2,5	5,0	9,5
Castillo del Romeral	Industrial Urbana	8497	6,8	6,3	3,1	45,0	3,0	21,5	3,5	4,0	11,0
San Agustín	Tráfico Urbana	8383	5,9	5,7	1,7	29,3	3,0	44,0	1,5	4,0	8,0
Playa del Inglés	Fondo Urbana	8346	9,2	8,0	5,8	62,8	3,0	124,5	6,0	4,0	15,0
Centro Juan Ismael	Fondo Urbana	7520	9,7	7,5	9,9	102,4	3,0	227,0	8,5	3,0	18,5
Parque de la Piedra	Fondo Urbana	7440	16,3	9,1	24,6	150,7	1,0	224,0	9,5	3,5	38,0
Arrecife	Tráfico Urbana	7935	13,1	10,1	12,5	95,3	3,0	232,1	8,9	3,9	22,6
Costa Teguisse	Fondo Urbana	7818	10,3	9,9	3,1	29,8	3,0	32,1	4,0	6,4	14,1

Aplicando la Directiva Europea al conjunto de datos se han determinado las excedencias horarias y diarias de SO₂, en los años 2006 y 2007 (tabla 4.3.3), observándose que:

- 1.- Jinámar III (estación industrial): tuvo 8 excedencias horarias, en el año 2007.
- 2.- Pedro Lezcano (estación industrial): en el año 2007, presenta 14 superaciones horarias y 2 diarias.
- 3.- Parque de la Piedra (estación de fondo urbano): 1 superación diaria, año 2007.

TABLA 4.3.3.-EXCEDENCIAS HORARIAS Y DIARIAS DE SO₂ (DIRECTIVA 2008/50/CE) AÑOS 2006 Y 2007

ESTACIÓN	TIPO ESTACIÓN TIPO ÁREA	NÚMERO de EPISODIOS HORARIOS de SO ₂ ≥ 350 µg/m ³ Número Máximo Año Civil = 24 (Directiva 2008/50)		NÚMERO de EPISODIOS de MEDIA DIARIA de SO ₂ ≥ 125 µg/m ³ Número Máximo Año Civil = 3 (Directiva 2008/50)	
		Año 2006	Año 2007	Año 2006	Año 2007
		Agüimes	Fondo Suburbana	0	0
Arinaga	Fondo Suburbana	0	0	0	0
Jinámar III	Industrial Urbana	0	8 (2, con margen de tolerancia de 43 %)	0	0
Néstor Álamo	Industrial Urbana	0	0	0	0
Mercado Central	Tráfico Urbana	0	0	0	0
San Agustín	Tráfico Urbana	0	0	0	0
Playa del Inglés	Fondo Urbana	0	0	0	0
Castillo del Romeral	Industrial Suburbana	0	0	0	0
Sardina	Fondo Suburbana	0	0	0	0
Pedro Lezcano	Industrial Urbana	0	14 (8, con margen de tolerancia de 43 %)	0	2
Jinámar	Industrial Urbana	0	0	0	0
Parque de la Piedra	Fondo Urbana	-	0	-	1
Centro Juan Ismael	Fondo Urbana	-	0	-	0
Arrecife	Tráfico Urbana	-	0	-	0
Costa Tegui	Fondo Urbana	-	0	-	0

4.3.2.1 EVOLUCIÓN MENSUAL

Teniendo en cuenta que los contaminantes atmosféricos pueden verse afectados (unos en mayor medida que otros) por el transcurso de las estaciones, debido a la influencia de factores tales como condiciones meteorológicas o hábitos de la población (por ejemplo periodos vacacionales), se pasa seguidamente a analizar la evolución mensual de las concentraciones de dióxido de azufre.

En primer lugar, y situándose en el año 2006, en la figura 4.3.2 se representan los datos correspondientes a las estaciones de tráfico urbanas ubicadas en Gran Canaria (Mercado Central y San Agustín). Tal como puede observarse ambas presentan valores medios mensuales bajos (comprendidos entre 4 y 12 µg/m³). En Mercado Central la evolución mensual es de tipo unimodal, situándose el modo en el mes de julio, con un registro 70 % superior al medio anual. En dicha estación, a pesar de que, tal como se ha dicho y

comprobado, está influenciada claramente por el tráfico rodado no se debe descartar, en lo que respecta a los niveles de este contaminante, la influencia del puerto marítimo de Las Palmas de Gran Canaria, que presenta un tráfico de buques muy importante y dispone de astilleros navales que reparan buques y plataformas, y cuya actividad muestra variaciones importantes a lo largo del año.

Se observa, que los meses de julio y agosto presentan los mayores niveles y a su vez son los que tienen mayor velocidad de viento. En la figura 4.3.1, se representan las velocidades medias diarias de viento y de SO₂ y se observa que en la parte central de la gráfica, correspondiente a julio y agosto, aparecen los días de mayor velocidad de viento, que le corresponden, a su vez, valores medios diarios de SO₂ elevados. Estos valores, aunque no son los más elevados, si son sostenidos.

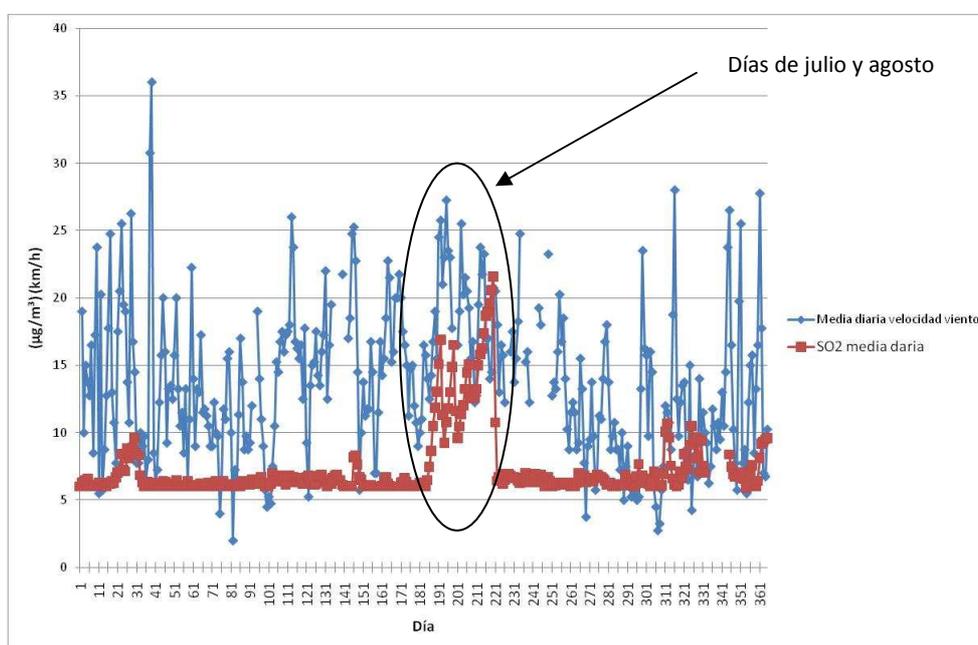


FIGURA 4.3.1.- VELOCIDAD MEDIA DIARIA DE VIENTO Y MEDIA DIARIA DE SO₂ ESTACIÓN MERCADO CENTRAL AÑO 2006

En la figura 4.3.3 se representa la media aritmética mensual de la velocidad del viento durante el año 2006 en la estación meteorológica de San Cristóbal, ubicada al sur de la estación Mercado Central, a unos 6 km de distancia y a orilla del mar. La relación entre la velocidad y dirección del viento se muestra en la figura 4.3.4. Los vientos alisios, que presentan una dirección NO-N y N-NE, con un amplio recorrido por el puerto marítimo, podrían influir en los niveles de SO₂ observados en la estación Mercado Central. El máximo del mes de julio, podría deberse a una mayor actividad en dicho puerto y sobre todo en los astilleros navales. La contaminación procedente de los barcos ha sido ampliamente analizada en los países escandinavos (Bond, 1996; Capaldo et al. 1999; Isakson et al. 2000), llegando incluso a contribuir un 45% sobre las emisiones totales de dióxido de azufre en una ciudad.

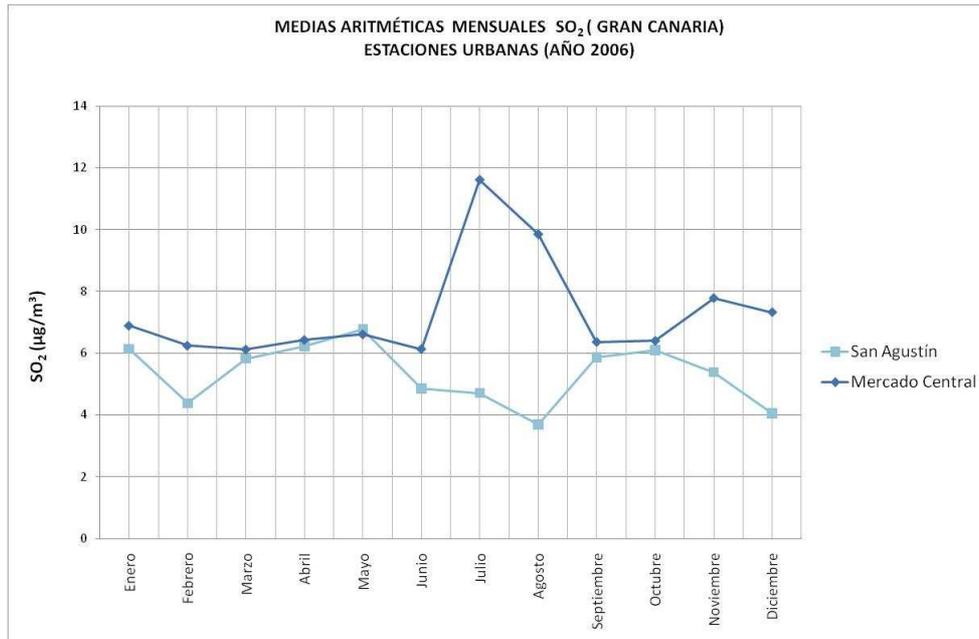


FIGURA 4.3.2.- VARIACIÓN MENSUAL DE SO₂ ESTACIONES URBANAS GRAN CANARIA (AÑO 2006)

La otra estación de medida de tráfico urbana situada en San Agustín, presenta valores bajos, comprendidos entre 4-6 µg/m³, y su variación a lo largo del año no es significativa.

En cuanto a las estaciones industriales, todas están ubicadas en el polígono de Jinámar, excepto la de Castillo del Romeral; tal como se observa en la figura 4.3.5, los niveles de SO₂ en esta última estación son muy bajos, apreciándose ligeros aumentos de SO₂ en otoño-invierno y una suave disminución en verano que puede achacarse al incremento de la velocidad de viento, en este periodo del año. Esta estación, se encuentra en la zona de influencia de la central termoeléctrica de Juan Grande, central de construcción moderna que dispone de equipos medioambientales para minimizar la emisión de contaminantes.

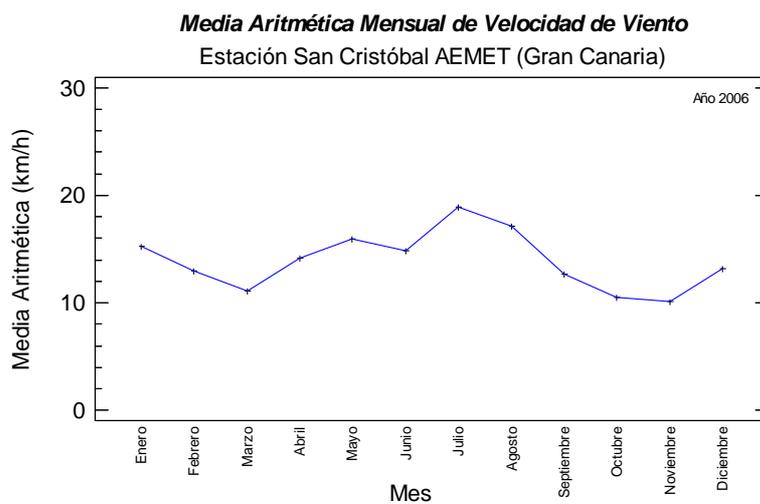


FIGURA 4.3.3.- VELOCIDADES MEDIAS MENSUALES DE VIENTO ESTACIÓN SAN CRISTÓBAL (GRAN CANARIA) AEMET (2006)

Velocidad Horaria versus Dirección Viento Horaria

Estación San Cristóbal AEMET (Gran Canaria)

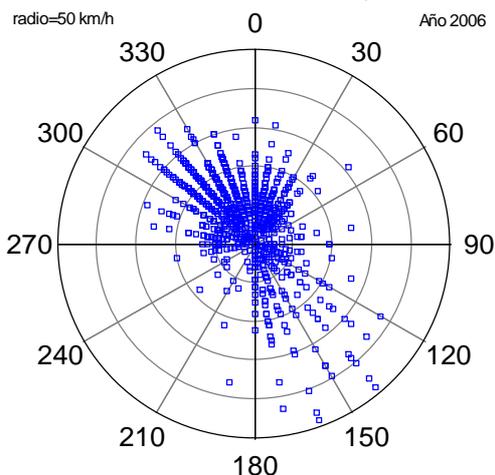


FIGURA 4.3.4.- VELOCIDAD HORARIA FRENTE A DIRECCIONES DE VIENTO HORARIAS ESTACIÓN SAN CRISTÓBAL AEMET (2006)

De las estaciones situadas en el valle de Jinámar, presentan un máximo absoluto en el mes de junio las de Jinámar y Pedro Lezcano, y un máximo relativo la de Jinámar III. Néstor Álamo tiene desplazado los valores más elevados a los meses de julio y agosto, coincidiendo sus máximos niveles con las mayores velocidades de viento en la zona, figura 4.3.3, (los valores registrados son mayores que los de las otras estaciones).

En los meses, en que la velocidad de viento es baja, período otoño-invierno, aparecen máximos relativos en todas las estaciones, excepto en la de Néstor Álamo. La baja velocidad de viento contribuye a una dispersión menor de los contaminantes, en especial los procedentes de la central termoeléctrica de Jinámar y su dirección puede contribuir a introducirlos en el interior del valle del Jinámar.

Las estaciones de fondo urbanas, cuyas variaciones mensuales se representan en la figura 4.3.6, están influenciadas por el tráfico rodado, especialmente la de Playa del Inglés, (situada en las cercanías de las vías de mayor tráfico de dicha zona turística). De manera general, los mayores niveles de SO_2 aparecen en otoño-invierno y disminuyen en verano, cuando la velocidad de viento es más elevada. Para todas ellas, los valores medios oscilan entre 3 y $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Se puede decir, que las estaciones industriales son las que presentan las medias anuales más elevadas, seguidas de las urbanas y las de fondo urbano, triplicando los valores de éstas últimas.

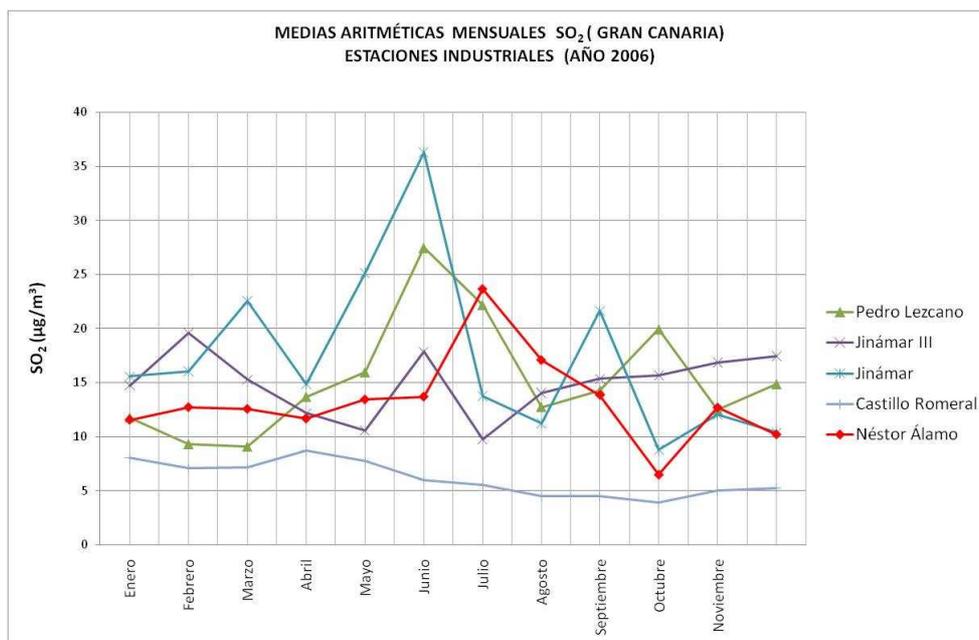


FIGURA 4.3.5.- VARIACIÓN MENSUAL DE SO₂ ESTACIONES INDUSTRIALES GRAN CANARIA (AÑO 2006)

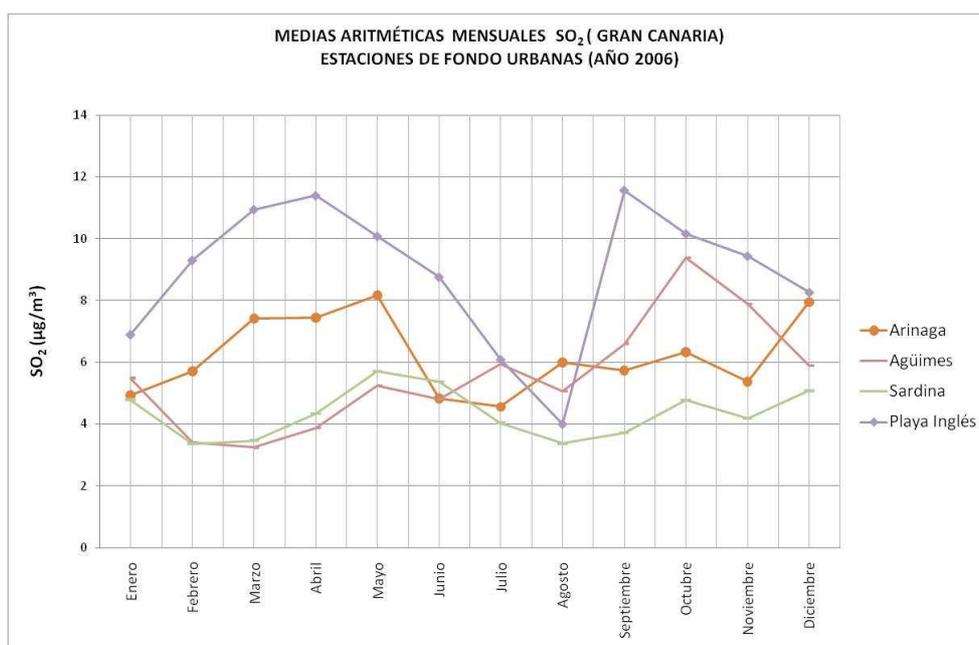


FIGURA 4.3.6.- VARIACIÓN MENSUAL DE SO₂ ESTACIONES DE FONDO URBANAS GRAN CANARIA (AÑO 2006)

Como se indicó anteriormente, en el año 2007 se incorporan los datos de las estaciones de Fuerteventura y Lanzarote.

Analizando en primer lugar las estaciones urbanas, representadas en la figura 4.3.7, se puede apreciar la escasa cantidad de datos en Mercado Central y el similar comportamiento existente, con respecto al año anterior, en San Agustín. La estación de Arrecife, aumenta los niveles de SO₂ durante los meses de mayo, junio y julio, y disminuyen en los demás, especialmente en los meses finales del año.

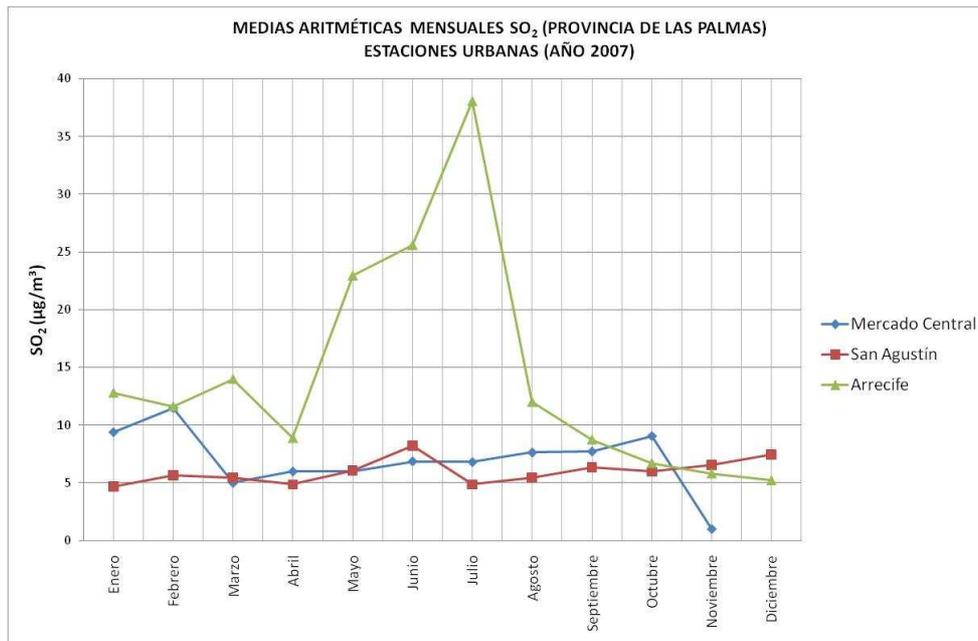


FIGURA 4.3.7.- VARIACIÓN MENSUAL DE SO₂ ESTACIONES URBANAS PROVINCIA DE LAS PALMAS (AÑO 2007)

La estación de Arrecife se sitúa al sur-suroeste de la central termoeléctrica que abastece a la isla de Lanzarote, y la dirección de viento durante los meses de marzo a agosto se dirige mayoritariamente en esa dirección. El máximo aparece en el mes de julio (figura 4.3.9). Se ha realizado un análisis de la variación media horaria en este mes y se ha comparado con la anual (figura 4.3.8) observándose que la concentración es más elevada en horas de madrugada disminuyendo a partir de las 7 horas, para luego aumentar sobre las 22 horas. Precisamente, en las horas comentadas el tráfico rodado es muy bajo y por tanto se puede pensar en una fuente puntual que podría ser la central termoeléctrica de Lanzarote.

Gráfico de Medias Horarias de SO₂
Estación Arrecife (Gran Canaria)

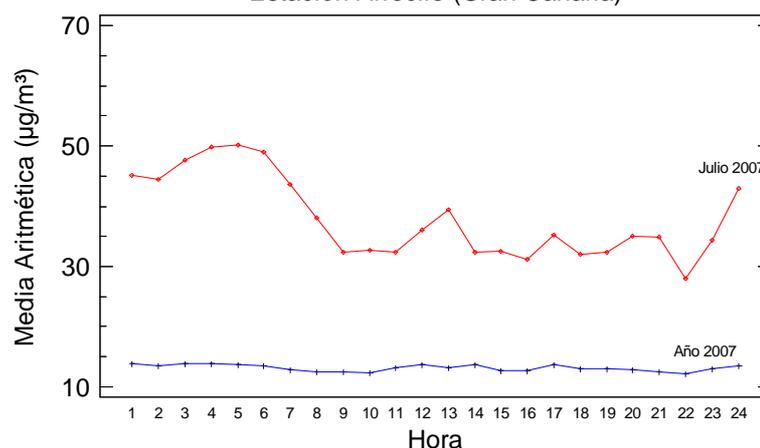


FIGURA 4.3.8.- EVOLUCIÓN MEDIA HORARIA DE SO₂ JULIO 2007 Y AÑO 2007 (ESTACIÓN ARRECIFE)

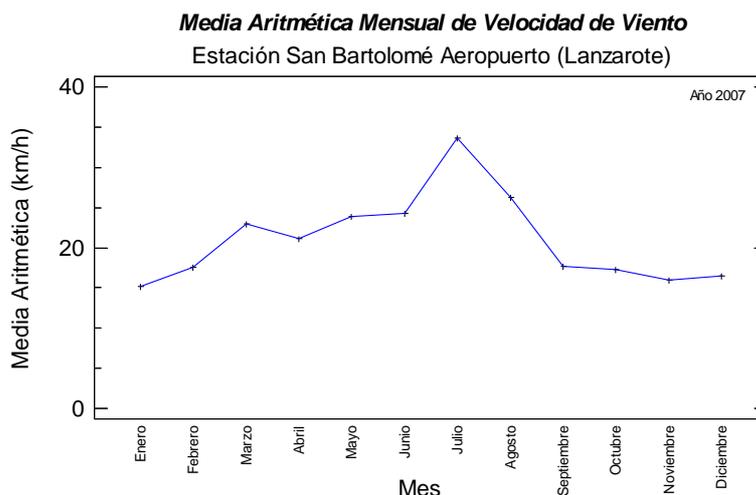


FIGURA 4.3.9.- VELOCIDADES MEDIAS MENSUALES DE VIENTO ESTACIÓN SAN BARTOLOMÉ (AEROPUERTO LANZAROTE) AEMET (2007)

Por lo que respecta a las estaciones industriales (Pedro Lezcano, Jinámar y Jinámar III), estas presentan el máximo mensual en mayo y su comportamiento es parecido al que tuvieron en 2006. Existe una correlación de 0,4 y $p = 0,0$ entre las estaciones de Pedro Lezcano y Jinámar III y más débil de 0,1 y $p = 0,008$ entre Pedro Lezcano y Jinámar, referida al mes de mayo. Ello lleva a pensar en la influencia de una fuente común, posiblemente el complejo central termoeléctrica-potabilizadora.

La evolución obtenida en Castillo del Romeral durante el año 2007 también es similar a la del 2006, presentando un repunte en noviembre de 2007. Al haber sido la concentración de NO en noviembre de 2007 también superior a la del mismo mes del año 2006, este aumento muy posiblemente pueda achacarse a la central termoeléctrica de Juan Grande, que en períodos determinados varía las condiciones de combustión.

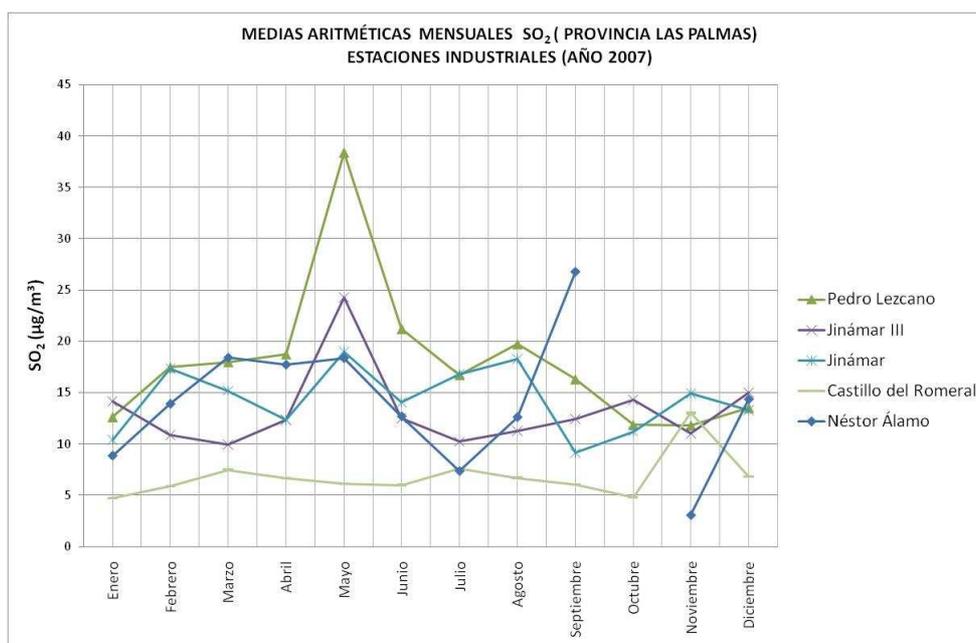


FIGURA 4.3.10.- VARIACIÓN MENSUAL DE SO₂ ESTACIONES INDUSTRIALES PROVINCIA DE LAS PALMAS (AÑO 2006)

Los datos obtenidos en la estación industrial Néstor Álamo, en 2007, son insuficientes para realizar un tratamiento estadístico con garantías; aún así, estos se han representado en la figura 4.3.10.

Las estaciones de fondo urbano, también tienen una evolución parecida (figura 4.3.11) a la del año 2006. La estación que se incorpora de Parque de la Piedra en Fuerteventura, tiene sus máximos niveles de SO₂ durante los meses invernales: enero y especialmente marzo. Al igual que sucede con la estación Arrecife (Lanzarote), está situada en el camino de los vientos dominantes en la zona, que pasan a su vez por la central termoeléctrica de Fuerteventura.

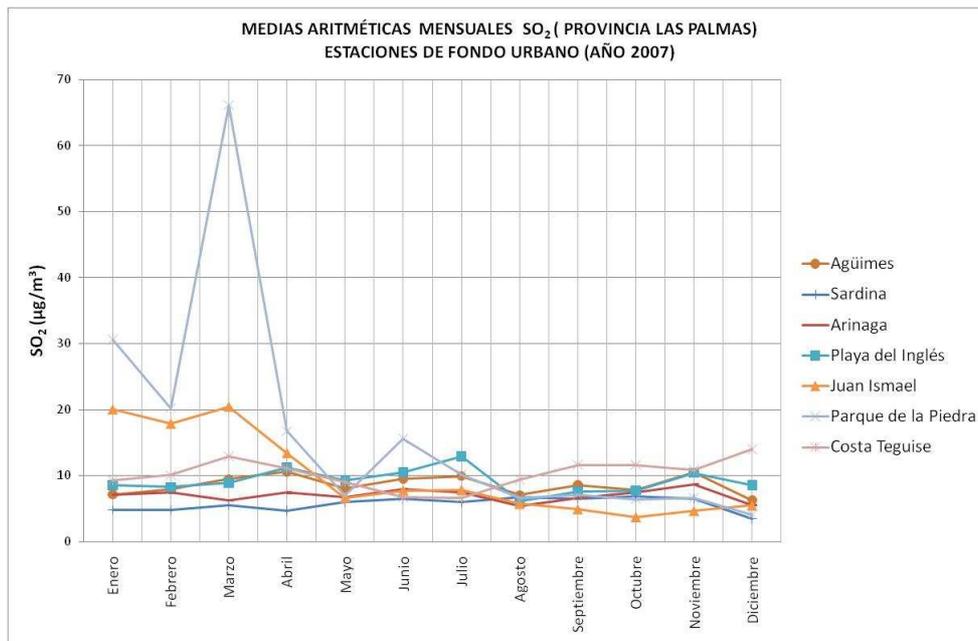


FIGURA 4.3.11.- VARIACIÓN MENSUAL DE SO₂ ESTACIONES DE FONDO URBANAS PROVINCIA DE LAS PALMAS (AÑO 2006)

4.3.2.2 VARIACIÓN HORARIA

El SO₂ emitido a la atmósfera sufre un proceso de oxidación que transcurre a través de procesos de naturaleza catalítica o fotoquímica. Como resumen se puede decir, que estos son básicamente:

- 1.- De oxidación heterogénea: en los que pueden actuar agentes oxidantes como el oxígeno, ozono y peróxido de hidrógeno.
- 2.- De oxidación homogénea: el mecanismo se basa en la fotooxidación directa del SO₂ o la acción de especies como los radicales hidroxilo.

El ozono es un agente oxidante que puede intervenir de manera directa en la conversión de SO₂ a H₂SO₄ (Khoder, 2002). También, en presencia de NH₃ gas se puede formar (NH₄)₂SO₄ y/o NH₄HSO₄ (Matsumoto et al., 1998).

El SO₂ se puede convertir a SO₃ en la atmósfera por oxidación a través de radicales peróxidos e hidroxilos (Calvert et al., 1984). La reacción SO₃+ H₂O en fase gas era considerada muy rápida en los estudios de formación de H₂SO₄ en la atmósfera (Castleman et al., 1975; Viggiano et al., 1983; Toon et al., 1988), pero en un estudio publicado en 1988 (Wang et

al.,1988) se encontró que dicha reacción es bastante lenta en fase gas. La constante de reacción de SO₃+ NH₃ es 4 veces superior a la de SO₃+ H₂O en la fase gas (Shen et al., 1990).

Por tanto la oxidación del SO₂ puede dar lugar a la formación de ácido sulfúrico y/o la formación de sulfatos, siendo su velocidad de oxidación determinante en su tiempo de vida en la atmósfera.

Debido a la relación directa que existe entre el SO₂ y el O₃, se ha estudiado la variación horaria de SO₂ y O₃, en una misma gráfica, en las estaciones de medida Mercado Central y Néstor Álamo (que son las únicas que presentan datos de O₃). En el resto de las estaciones se ha representado la evolución horaria sólo del dióxido de azufre.

4.3.2.2.1 ESTACIONES URBANAS

Las concentraciones horarias de SO₂ y O₃, en 2006, registradas la estación Mercado Central se muestran en la figura 4.3.12. Se observa, que los niveles de SO₂ se mantienen prácticamente constantes a lo largo del día mientras que el O₃, aumenta su concentración al inicio de la actividad fotoquímica y entra a formar parte del ciclo fotolítico de los NO_x (comentado en el apdo. correspondiente al ozono). En principio, los niveles de SO₂, al ser tan bajos, parece que no son afectados por el O₃.

En la estación urbana de San Agustín (Anexo SO₂), el comportamiento es similar a lo largo del día, presentando un máximo a las 9 de la mañana, de 5,9 µg/m³, siendo la media anual de 5,3 µg/m³. Mientras que en la tercera estación urbana de este estudio, situada en Arrecife se encuentran valores bastante uniformes a lo largo del día, entre 13-15 µg/m³, incluso en horas de madrugada, presentando una media anual de 13,1 µg/m³, superior a la de Mercado Central cifrada en 7,4 µg/m³.

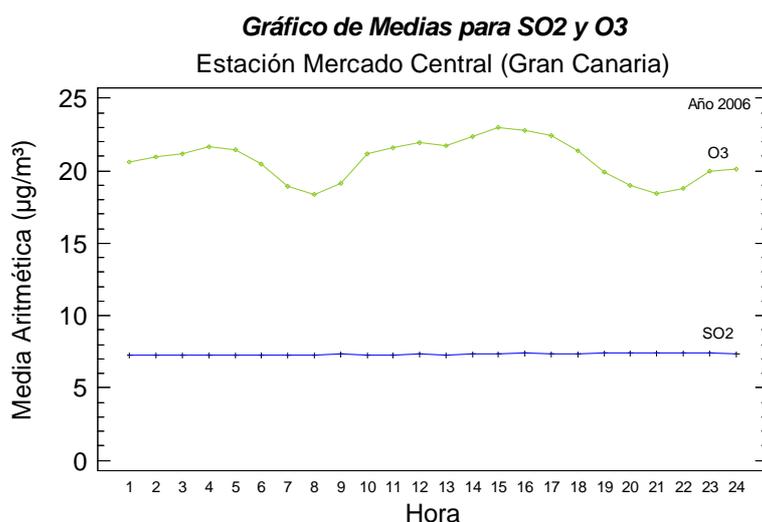


FIGURA 4.3.12.- MEDIDAS HORARIAS DE SO₂ Y O₃ ESTACIÓN MERCADO CENTRAL (2006)

En la figura 4.3.13, se aprecia la evolución horaria por día de la semana de Mercado Central en los años 2006 y 2007. Puede apreciarse que esta es muy parecida los dos años.

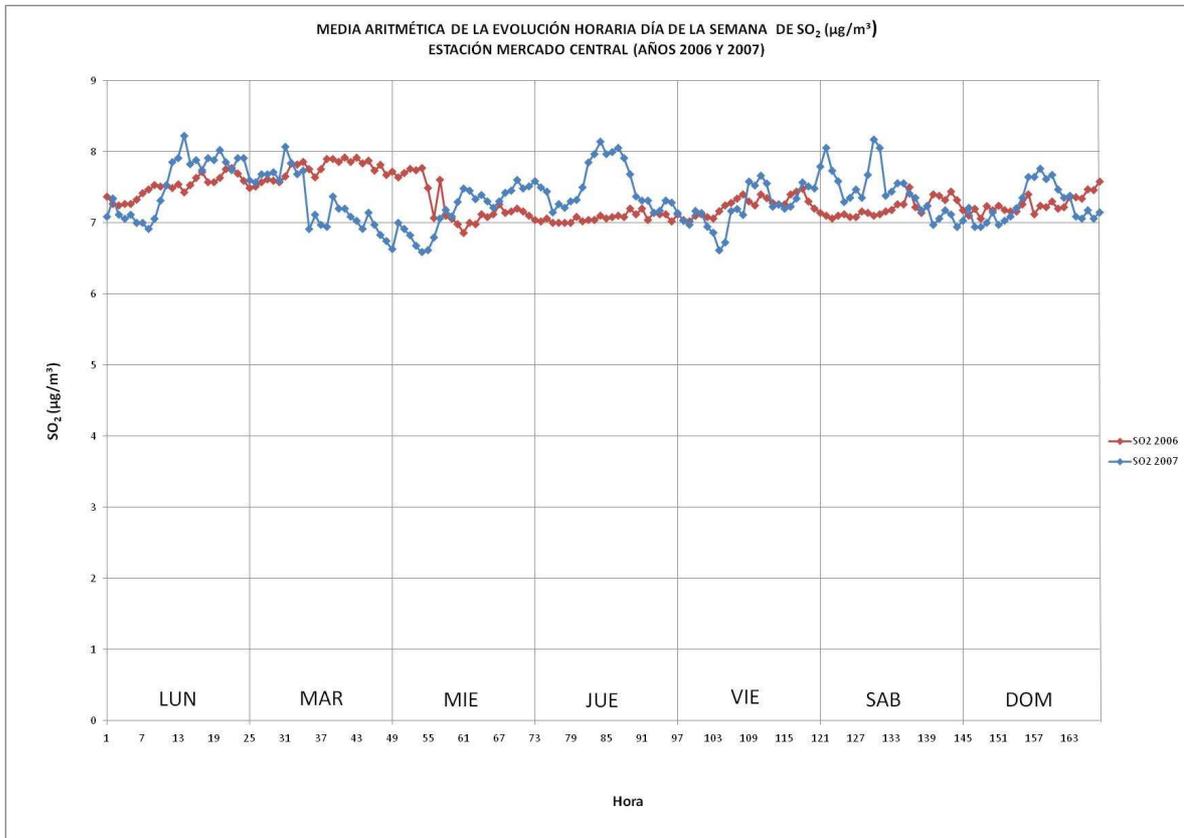


FIGURA 4.3.13.- EVOLUCIÓN HORARIA DE SO₂ DÍA DE LA SEMANA ESTACIÓN MERCADO CENTRAL (AÑOS 2006 Y 2007)

4.3.2.2.2 ESTACIONES INDUSTRIALES

Las medidas obtenidas en la estación Néstor Álamo, tienen un comportamiento diferente a las de Mercado Central, ya que los niveles de SO₂ son más elevados y presentan una variación entre 7 y 20 µg/m³ a lo largo del día (figura 4.3.14). Por otro lado, las concentraciones de O₃, son más elevados en horas nocturnas, sobre los 47 µg/m³, que en horas diurnas, con niveles de unos 40 µg/m³. Los registros de SO₂, aumentan claramente sobre las 7 de la mañana, que es cuando la central termoeléctrica aumenta la generación, la autopista presenta su hora punta y se inicia la actividad fotoquímica. Los niveles de SO₂, aumentan a lo largo del día y se mantienen entre las 10 y 17 horas en 18 - 21 µg/m³, para luego disminuir con una pendiente pronunciada hasta las 21 horas, estancándose la concentración entre las 21 y las 7 horas. Los niveles de O₃, como se ha comentado, permanecen altos en horas de madrugada y los de SO₂ son bajos; el aumento de O₃ en estas horas se explica en el apartado correspondiente al mismo; debido, básicamente, a una disminución considerable de las concentraciones de NO, la central termoeléctrica está bajo mínimos en horas de madrugada y la autopista presenta poco tráfico rodado.

Cuando comienza la actividad fotoquímica, los niveles de O₃, aumentan débilmente, quizá porque una parte oxida al SO₂ (sin olvidar el ciclo fotoquímico de los NO_x). Durante las horas nocturnas es cuando la concentración de SO₂ se encuentra en su nivel más bajo y aumentan los niveles de O₃. Como las concentraciones de NO son también bajas, no se produce tanta destrucción de O₃, incrementándose su concentración y pudiendo oxidar parte

del mismo al SO₂, por lo que su nivel disminuiría de manera importante. En la figura 4.3.15, se observa más claramente, la evolución de los niveles horarios de O₃ y SO₂ a lo largo de la semana, apreciándose que la disminución de las concentraciones de O₃ viene acompañada por un aumento de los niveles de SO₂ en horas de nocturnas y viceversa. Los fines de semana, las concentraciones de SO₂ siguen la misma evolución que el resto de la semana.

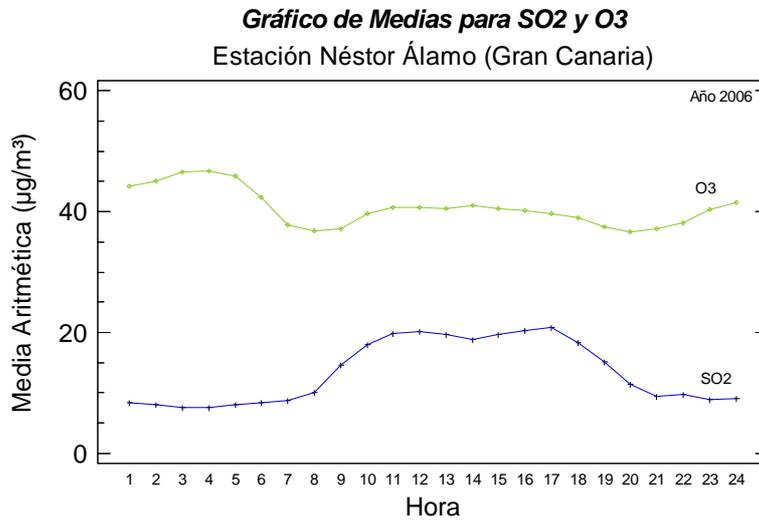


FIGURA 4.3.14.- MEDIDAS HORARIAS DE SO₂ Y O₃ ESTACIÓN NÉSTOR ÁLAMO (2006)

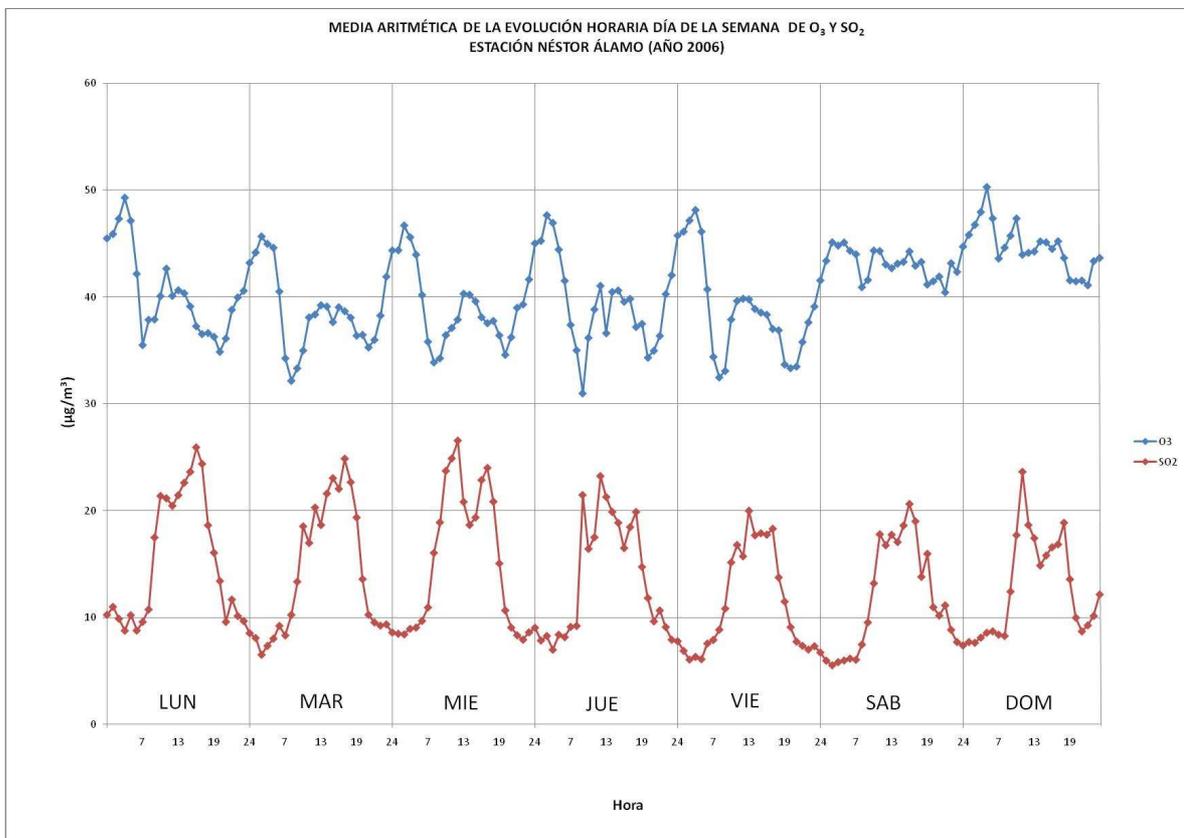


FIGURA 4.3.15.- EVOLUCIÓN HORARIA DE SO₂ Y O₃ DÍA DE LA SEMANA ESTACIÓN NÉSTOR ÁLAMO (AÑO 2006)

La estación Jinámar (2006), presenta valores entre 14-24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (figura 4.3.16), con un máximo absoluto a las 17 horas. Tal como puede apreciarse las concentraciones aumentan paulatinamente a lo largo del día, para iniciar una suave bajada después de alcanzar su máximo. En esta estación, los niveles de SO_2 suben con el aumento de generación de la central termoeléctrica, que ocurre a las 7 de la mañana. En la misma gráfica, se ha representado la variación horaria anual de SO_2 de Néstor Álamo y se observa como los máximos coinciden a las 17 horas.

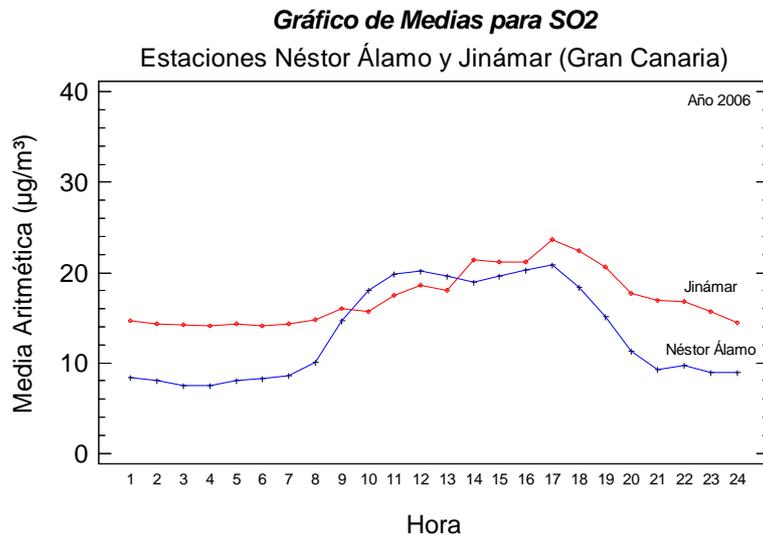


FIGURA 4.3.16.- MEDIDAS HORARIAS DE SO_2 ESTACIONES NÉSTOR ÁLAMO Y JINÁMAR (2006)

La figura 4.3.17, muestra los niveles horarios de SO_2 de la estación Pedro Lezcano (2007); estos se hallan comprendidos entre 15-25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. El valor máximo se alcanza a las 11 horas, para luego descender bruscamente y mantenerse con una caída suave hasta las 17 horas; a partir de aquí empieza a aumentar hasta alcanzar un segundo máximo, que podría coincidir con una de las horas punta de la central termoeléctrica. Es evidente, que en la zona del polígono de Jinámar, los niveles de SO_2 vienen marcados por la influencia de dicha central.

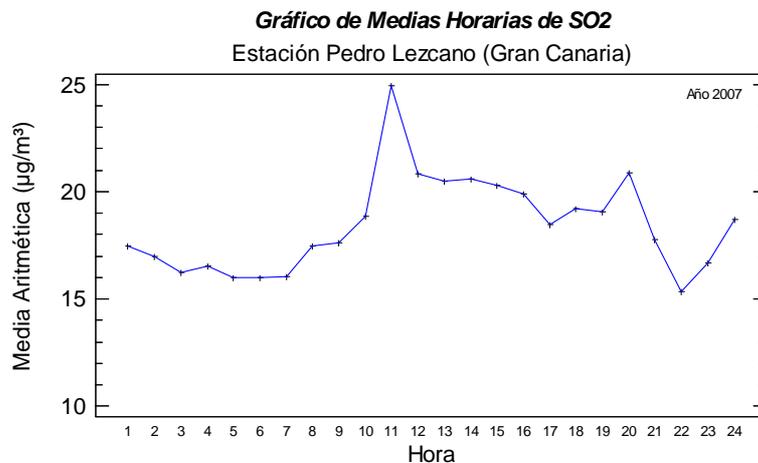


FIGURA 4.3.17.- MEDIDAS HORARIAS DE SO_2 ESTACIÓN PEDRO LEZCANO (2007)

Por último, la estación industrial de Castillo del Romeral, presenta niveles estabilizados entre 6 y 7 µg/m³ durante los años 2006 y 2007 (ver gráficas en Anexo SO₂).

4.3.2.2.3 ESTACIONES DE FONDO URBANAS

Las estaciones de fondo urbano, presentan niveles de SO₂ comprendidos entre 5 y 11 µg/m³, excepto la de Parque de la Piedra (Fuerteventura) donde las concentraciones se encuentran entre 8 y 22 µg/m³. El comportamiento en ellas es similar al encontrado en Playa del Inglés (figuras 4.3.18 y 4.3.19), en la que se produce un aumento de los niveles de SO₂ a primeras horas de la mañana, para seguidamente disminuir debido posiblemente a que sufren un proceso de oxidación, apareciendo ligeros repuntes a últimas horas de la tarde-noche provocados quizás por un incremento en la actividad nocturna.

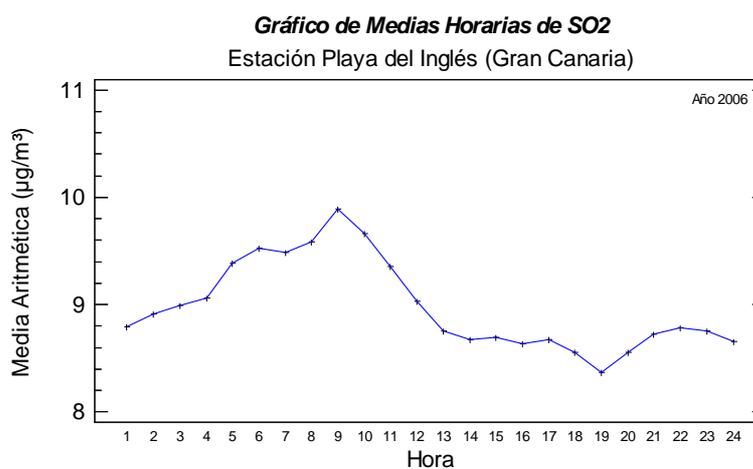


FIGURA 4.3.18.- MEDIDAS HORARIAS DE SO₂ ESTACIÓN PLAYA DEL INGLÉS (2006)

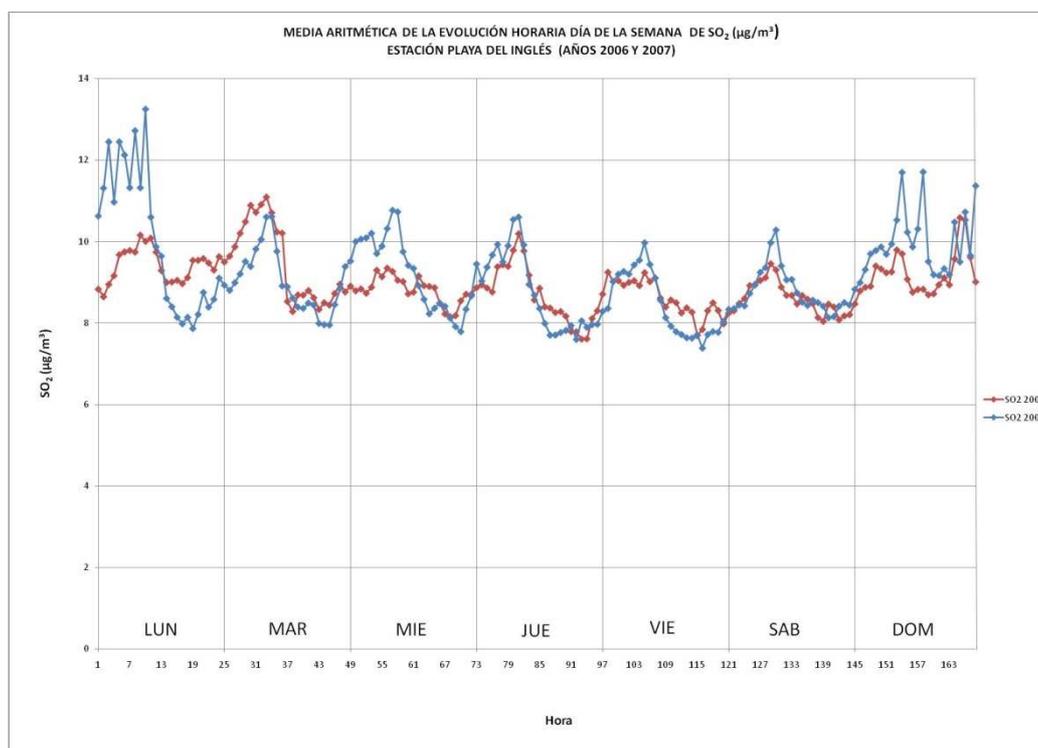


FIGURA 4.3.19.- EVOLUCIÓN HORARIA DE SO₂ DÍA DE LA SEMANA ESTACIÓN PLAYA DEL INGLÉS (AÑOS 2006 Y 2007)

En el caso de la estación Parque de la Piedra, se observa un aumento sostenido de los niveles de SO₂ a lo largo del día (figura 4.3.20), notándose una disminución importante a partir de las 22 horas, con un descenso del 50% (de 22 µg/m³ a 11 µg/m³). Como puede apreciarse, la curva de evolución horaria es bastante extraña, y en principio, a falta de un estudio más profundo, se podría achacar a la generación energía de la central termoeléctrica de Fuerteventura, ubicada al norte de la capital de la isla. La dirección del viento predominante en la zona (vientos alisios) hace que la estación de medida reciba los productos de combustión de la central termoeléctrica siendo, en consecuencia, superior el SO₂ producido que el oxidado.

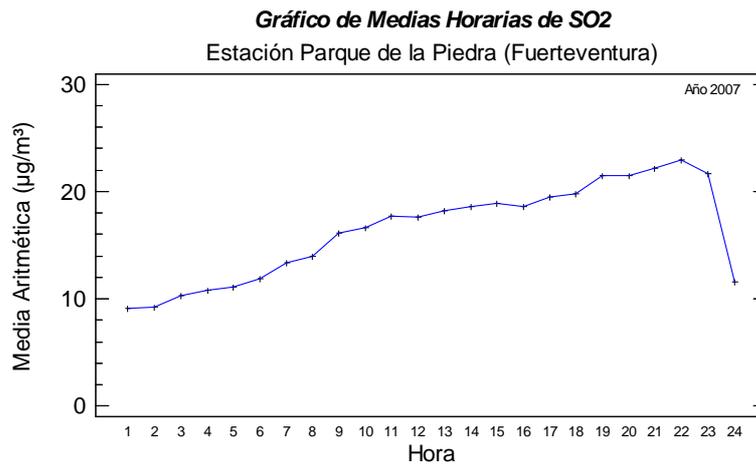


FIGURA 4.3.20.- MEDIDAS HORARIAS DE SO₂ ESTACIÓN PARQUE DE LA PIEDRA (2007)

4.1 PARTÍCULAS (PM₁₀)

4.2 ÓXIDOS DE NITRÓGENO

4.3 DIÓXIDO DE AZUFRE

4.4 OZONO

4.5 ANÁLISIS DE FACTORES

4.4 OZONO

4.4.1 INTRODUCCIÓN

Los óxidos de nitrógeno, son las especies iniciadoras de la cadena de reacciones químicas troposféricas. En las zonas bajas de la atmósfera, donde fundamentalmente llegan radiaciones superiores a 280 nm, el NO₂ se fotoliza para dar átomos de oxígeno y NO. Los átomos de oxígeno reaccionan con oxígeno molecular para formar ozono, que en el caso de una atmósfera no contaminada reaccionaría con NO produciendo nuevamente NO₂. Sin embargo, la presencia de hidrocarburos, procedentes fundamentalmente del transporte en atmósferas contaminadas, altera el equilibrio rompiendo el ciclo y generando productos orgánicos oxidantes (contaminantes secundarios) además de ozono. Este ozono troposférico es un agente oxidante muy nocivo para los seres vivos (Klei et al., 1999; Leeuw, 2000); por este motivo existen diversas reglamentaciones, como la europea, que fijan valores máximos permisibles. También ejerce impactos negativos sobre el clima, la vegetación y los materiales (Alvim-Ferraz et al., 2006; Chan et al., 1998)

4.4.2 VALORES OBJETIVO SEGÚN DIRECTIVA EUROPEA 2008/50

Los valores objetivos fijados para éste contaminante por la Directiva 2008/50 de la Unión Europea se plantean en dos vertientes: protección de la salud humana y protección de la vegetación.

Para la protección de la salud humana, dicha directiva marca un valor de 120 µg/m³ que no podrá superarse más de 25 días, (promediado en un período de tres años) y que debe cumplirse el 1 de enero de 2010.

El valor fijado se calcula en base a las concentraciones de O₃ de la máxima diaria de las medias octohorarias móviles (calculadas a partir de datos horarios y actualizados cada hora). Cada media octohoraria calculada de ese modo se asigna al día en que finaliza el período; dicho de otro modo, el primer período de cálculo para cualquier día es el comprendido entre las 17 horas de la víspera y la 1 de la mañana de ese día, y el último período de cálculo para cualquier día es el comprendido entre las 16 horas y las 24 horas del mismo.

Las estaciones de medida de Mercado Central y Néstor Álamo, ambas ubicadas en la isla de Gran Canaria, son las únicas que presentan medidas de niveles de O₃. Se ha realizado el cálculo de las medias octohorarias móviles para los datos obtenidos en ambas estaciones y se han calculado las excedencias que presentan en el período 2006-2007 (tabla 4.4.1).

TABLA 4.4.1.- NÚMERO DE EPISODIOS $\geq 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ DE LA MÁXIMA DIARIA DE LAS MEDIAS MÓVILES OCTOHORARIAS

ESTACIÓN	TIPO ESTACIÓN TIPO ÁREA	NÚMERO DE EPISODIOS DE O ₃ $\geq 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
		Número Máximo Año Civil =25 (Directiva 2008/50)	
		Año 2006	Año 2007
		Número de Episodios	Número de Episodios
Mercado Central	Tráfico Urbana	0	0
Néstor Álamo	Industrial Urbana	14	sin datos

Tal como puede observarse, las únicas excedencias aparecen en Néstor Álamo, fuertemente influenciada por el complejo central térmica-potabilizadora.

4.4.3 SERIES TEMPORALES DE NIVELES DE OZONO

4.4.3.1 VARIACIÓN HORARIA ANUAL

Tal como se comentó al principio de esta sección, la formación de O₃ troposférico, se debe, principalmente, a la interacción entre los óxidos de nitrógeno y la luz solar (Orozco et al., 2003). Puesto que el ozono es un contaminante secundario, su velocidad de formación depende de la concentración de sus precursores. En realidad, los niveles de ozono varían a lo largo del día, dependiendo de la intensidad del tráfico, de la actividad industrial y de la intensidad de la luz solar. La formación de O₃ está dirigida por dos de los mayores precursores emitidos directamente y principalmente por los escapes de los vehículos motorizados: óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COV). La relación entre O₃, NO_x y COV se encuentra afectada por una fotoquímica compleja no lineal (Sillman, 1999), habiendo sido identificados dos regímenes con diferente sensibilidad O₃-NO_x-COV:

1.- Régimen con sensibilidad NO_x (alta relación COV/NO_x): el O₃ decrece más rápidamente cuando se producen reducciones en las emisiones de NO_x, que cuando estas corresponden a los compuestos orgánicos volátiles, COV.

2.- Régimen con sensibilidad COV o NO_x-saturado (alta relación NO_x/COV): bajo este régimen, una disminución en las emisiones de NO_x puede causar un incremento en O₃.

En la figura 4.4.1, donde se exponen conjuntamente y de forma gráfica las evoluciones horarias de ozono, óxido nítrico y dióxido de nitrógeno en la estación Mercado Central durante el año 2007, se puede observar como la concentración de ozono en esta atmósfera urbana alcanza un máximo hacia el mediodía (a las 15 h), cuando la actividad solar es máxima y la atmósfera está cargada de hidrocarburos. Por otro lado, justo después del amanecer, cuando se inicia la actividad urbana, la concentración de NO empieza a aumentar, para acto seguido ser reemplazado por el NO₂ razón por la que no coinciden los respectivos máximos. Esto es lógico si se tiene en cuenta que el NO₂ se forma a partir del NO por oxidación con radicales HO₂. Aunque en la presente tesis no se ha dispuesto de datos de concentración de hidrocarburos, lo habitual es que prácticamente, los niveles máximos de NO₂ y de hidrocarburos coincidan, momento a partir del cual se empieza a generar ozono. Tal como se ha indicado (y se refleja en la gráfica) los niveles máximos de ozono se alcanzan en la parte central del día, cuando la actividad fotoquímica de la atmósfera es también máxima, disminuyendo posteriormente de forma paralela a como lo hace la intensidad de la radiación solar incidente.

En horas de tarde-noche e influido por la combinación de incremento de tráfico y disminución de radiación solar, se produce un descenso en la concentración de O₃ debido, básicamente, a la reacción:



La disminución del tráfico en horas de madrugada, conlleva una disminución importante de los niveles de NO, lo que conduce a un aumento del O₃.

Gráfico de Medias Horarias para NO, NO₂ y O₃
Estación Mercado Central (Gran Canaria)

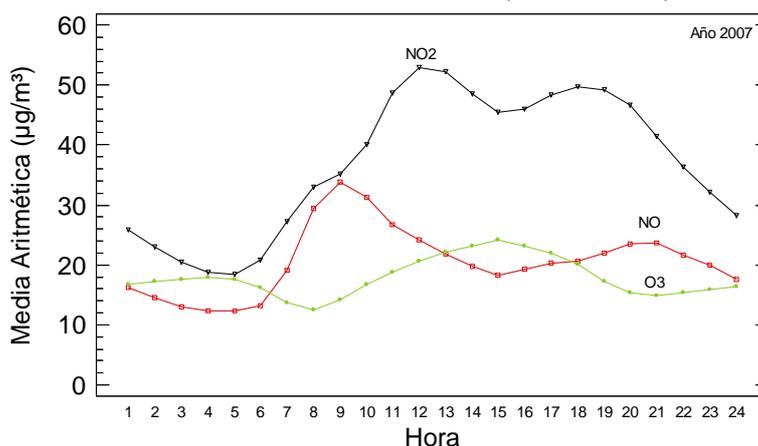


FIGURA 4.4.1.- VARIACIÓN HORARIA DE NO, NO₂ Y O₃ ESTACIÓN MERCADO CENTRAL (2007)

En la figura 4.4.2 se expone la evolución horaria de los tres contaminantes durante 2006 en la estación de Néstor Álamo; a diferencia de lo que se hizo en la figura anterior, en ésta también se presenta la correspondiente a la radiación solar (cuyos datos han sido recogidos en la propia estación de medida). Tal como puede apreciarse y en consonancia con el tipo de estación (urbana industrial) el patrón horario es diferente.

Se observa un abrupto aumento de los niveles NO, a primeras horas de la mañana, debido muy posiblemente al incremento de generación de energía eléctrica en la cercana central térmica de Jinámar, como puede verse en una de las curvas de generación habitual a las que se ha tenido acceso (figura 4.4.3). La aparición de la radiación solar implica el aumento de los niveles de O₃, y el comienzo del ciclo fotolítico de los NO_x. Se observa, que el máximo de O₃ aparece en horas de madrugada coincidiendo con el mínimo de NO y NO₂ (figura 4.4.2). A medida que aumenta el NO disminuye el O₃, la aparición de radiación solar implica el comienzo del ciclo fotoquímico de los NO_x, pero la concentración de NO₂ no es muy elevada y por tanto el crecimiento de los niveles de O₃ son moderados. Los bajos niveles de O₃ en horas diurnas, puede deberse a que parte del mismo oxida al SO₂.

Gráfico de Medias Horarias de NO, NO₂, O₃ y Radiación Solar
Estación Néstor Álamo (Gran Canaria)

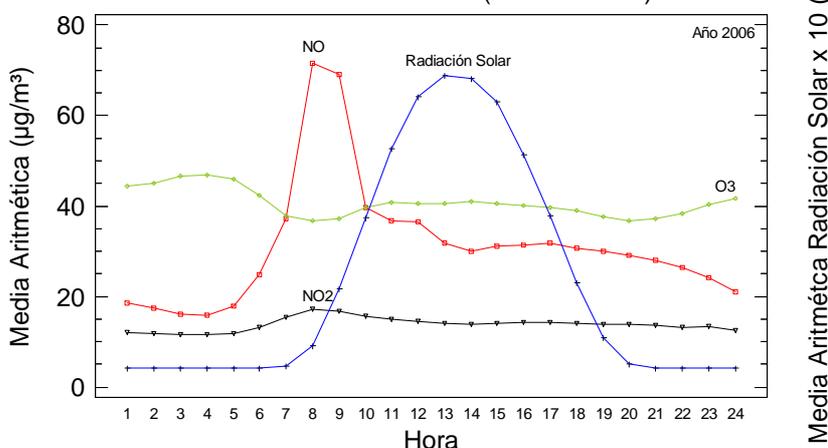


FIGURA 4.4.2.- VARIACIÓN HORARIA DE NO, NO₂ Y O₃ Y RADIACIÓN SOLAR ESTACIÓN NÉSTOR ÁLAMO (2006)

Tal como se ha indicado, la figura 4.4.3, representa una curva de generación de la central térmica de Jinámar, concretamente la correspondiente al período: 16-22 abril de 2007. Aunque, corresponde a una semana del año 2007, se ha considerado conveniente su estudio, ya que ayuda a tener una idea de cómo se desarrolla la curva de carga de dicha central a lo largo del día. En horas de madrugada la generación es baja y no varía. El aumento de generación comienza a las 6 de la mañana y se va incrementando (comienzo de la actividad diaria) hasta alcanzar un máximo relativo (primera hora punta) sobre la 1 de la tarde, para luego disminuir paulatinamente hasta las 19 horas (cese de actividad en algunas industrias, centros administrativos y docentes, etc.) y llegar al máximo diario alrededor de las 9 de la noche (segunda hora punta), coincidiendo con la vuelta a los hogares y el consiguiente uso de electrodomésticos, encendido de alumbrado público y aumento de la energía consumida en lugares de ocio y comerciales. Evidentemente, la curva de carga puede cambiar a lo largo del año, dependiendo de la estación meteorológica.

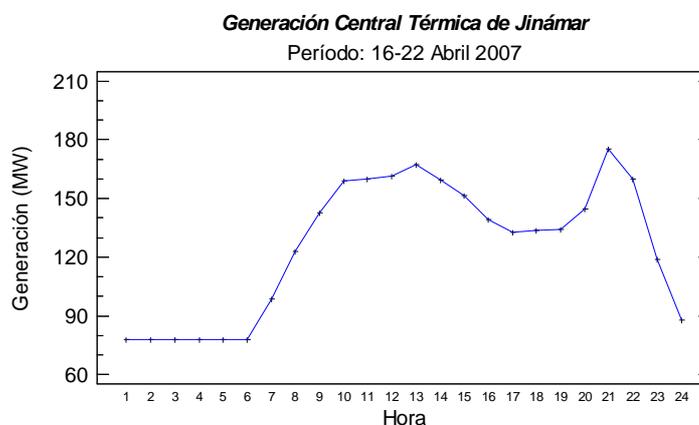


FIGURA 4.4.3.- CURVA DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL TÉRMICA DE JINÁMAR (16-22 ABRIL 2007)

4.4.3.2 VARIACIONES DÍA DE LA SEMANA (LUNES-VIERNES)/ FIN DE SEMANA

Los cambios en las emisiones causadas por las actividades humanas afectan al ciclo semanal de concentraciones de los contaminantes antropogénicos emitidos a la atmósfera. La relación emisión- concentración en lugares urbanos, suburbanos y rurales no está del todo clara y ello aparece reflejado en informes polémicos (Blier et al., 1999; Pun et al., 2003). Las diferencias de concentraciones de los distintos contaminantes del aire correspondiente a la relación “días entre semana /días fin semana” y especialmente el del contaminante objeto de este apartado, O_3 , ha sido objeto de interesantes investigaciones (Marr et al., 2003; Vandaele et al., 2002, Fujita et al., 2003; Riga-Karandinos et al., 2005) y se ha denominado *efecto fin de semana*. Durante los fines de semana, las emisiones de contaminantes antropogénicos y especialmente de precursores del O_3 , suelen ser inferiores a las realizadas entre semana, debido a la menor actividad humana e industrial (existe una disminución del tráfico rodado y descendiendo claramente la actividad empresarial).

Habida cuenta de que solo se dispuso de dos estaciones con registros de ozono y una de ellas tiene claras influencias industriales, se ha creído adecuado estudiar este efecto fin de semana con los datos registrados en la estación Mercado Central. Es interesante considerar también el efecto de la dirección y velocidad del viento, así como el de la radiación solar. En consecuencia se comparan los niveles de O_3 y NO , aplicando las siguientes premisas:

- 1.- Dos períodos de estudio: otoño- invierno (septiembre a diciembre y enero a marzo) y verano (abril-agosto).
- 2.- Comparación de días del interior de la semana: martes-jueves, frente a días que podrían verse afectados por el efecto fin de semana: lunes, viernes, y fines de semana: sábados y domingos.
- 3.- Período diurno: desde las 7 a las 21 horas.
- 4.- Período nocturno: desde las 22 a las 6 horas del día siguiente.

La figura 4.4.4, representa la evolución horaria diurna (7-21 horas) de las concentraciones de O₃, en el periodo otoño-invierno. Diferenciando los fines de semana (sábados y domingos) y los afectados (por su cercanía a los mismos) por este periodo (viernes y lunes), de los del interior de la semana: martes-jueves. Tal como se observa, el efecto fin de semana se manifiesta claramente, presentándose los mayores registros de ozono, con independencia de la hora del día, los domingos con una concentración (media \pm desviación estándar) de $25 \pm 12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y los sábados $21,8 \pm 9,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$; los días de mayor actividad (por ser laborables) de la semana presentan unos registros similares e inferiores a los anteriores. En lo que respecta a los niveles de NO para el mismo periodo y horario (figura 4.4.5), estos siguen una evolución similar pero inversa a la anterior. Como puede verse en dicha figura, aparecen los dos grupos: entre semana y fin de semana plenamente separados, desapareciendo el patrón bimodal encontrado los días laborales que aquí es sustituido por una distribución mucho más lineal y de menor concentración: domingos $12,1 \pm 5,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y sábados $15,8 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 7,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En los meses de primavera-verano, ocurre una situación similar a la de otoño-invierno, situándose los valores más altos los fines de semana; sin embargo, ahora las concentraciones de O₃ son algo más bajas (en torno a un 18 %). La diferencia en las concentraciones de ozono registradas los domingos $20,4 \pm 6,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y las obtenidas los sábados $16,6 \pm 7,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se acortan llegando incluso a igualarse con el comienzo de la tarde (figura 4.4.6). Las concentraciones de NO, en este período, aumentan ligeramente (figura 4.4.7) los domingos con $14,3 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 5,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y los sábados $16,6 \pm 7,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Estas diferencias, podrían explicarse en base a la velocidad de viento en la zona a lo largo del año. En la figura 4.4.8, se representa la velocidad media mensual de viento registrada en una de las estaciones meteorológicas que la Agencia Estatal de Meteorología tiene en Gran Canaria, concretamente la de la estación situada en el barrio de San Cristóbal ubicado en la zona sur de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria. En dicha figura se observa, que en los meses de otoño-invierno, la velocidad de viento $11 \pm 4,2 \text{ km}/\text{h}$, es menor que en primavera-verano $14,4 \pm 4,6 \text{ km}/\text{h}$, siendo los meses típicamente veraniegos (junio, julio y agosto) los que han registrado las mayores velocidades (con valores por encima de $15 \text{ km}/\text{h}$). En la figura 4.4.9 se ha representado, en términos de porcentaje, las frecuencias con las que han soplado vientos procedentes de los distintos sectores de la rosa de los vientos a lo largo de 2007. Se aprecia en la misma un claro predominio de los alisios del NO-N y N-NE, con un porcentaje de 74 % sobre el total. Ello implica, que la dirección de viento dirige los contaminantes hacia el sur y a la parte alta de la ciudad.

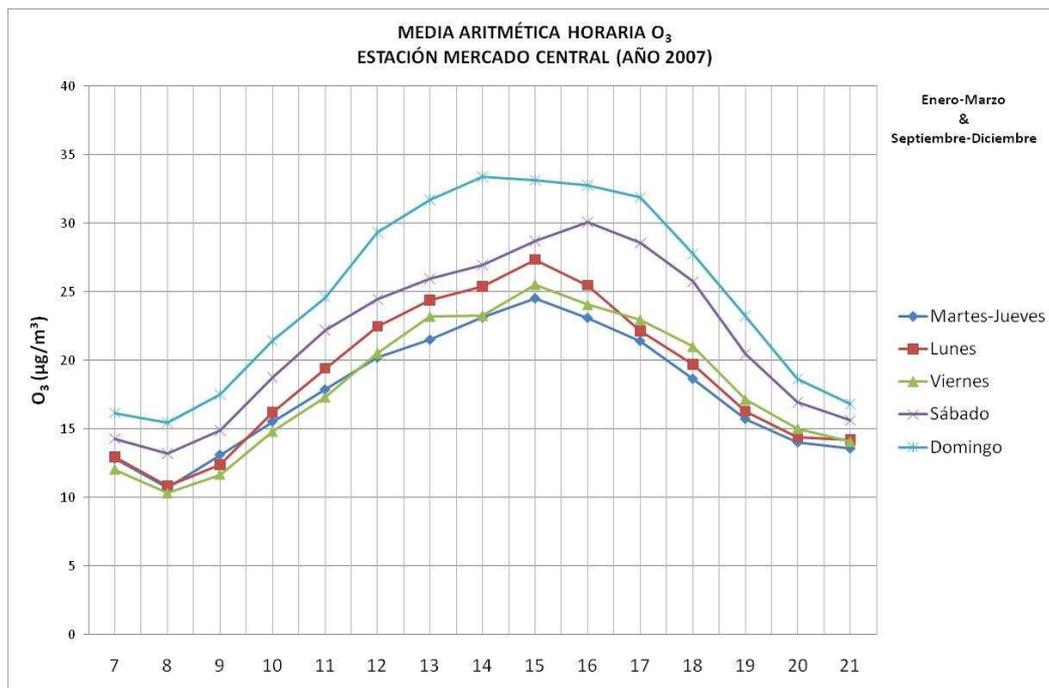


FIGURA 4.4.4.- CONCENTRACIÓN HORARIA DIURNA (7-21 HORAS) DE O₃ EN LA ESTACIÓN MERCADO CENTRAL (ENERO-MARZO & SEPTIEMBRE-DICIEMBRE 2007)

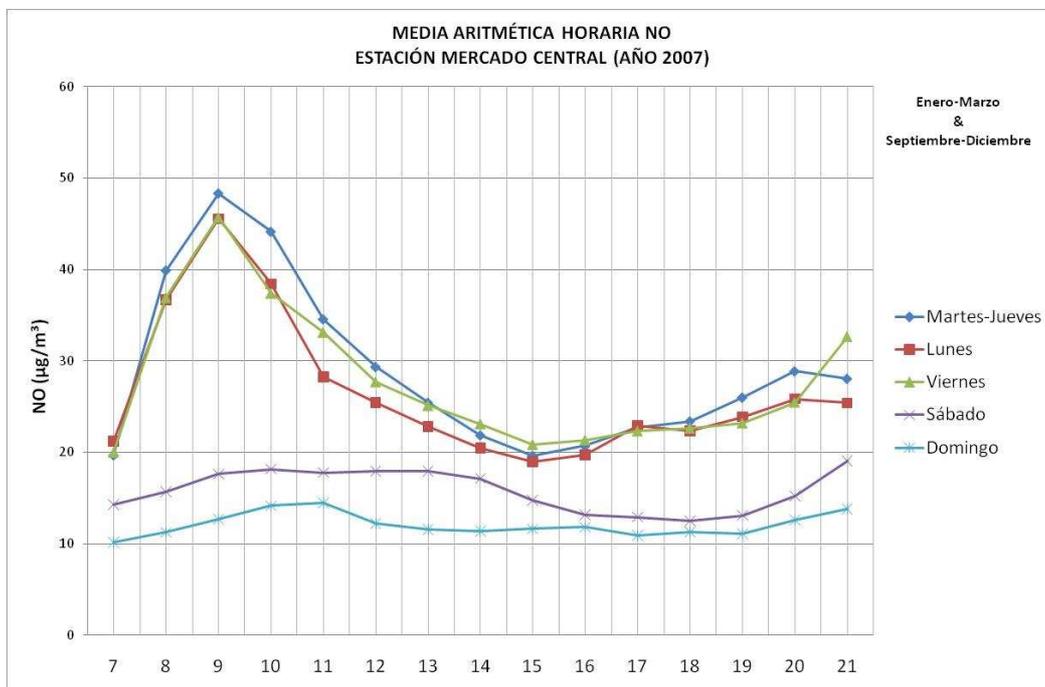


FIGURA 4.4.5.- CONCENTRACIÓN HORARIA (ENTRE 7 Y 21 HORAS) DE NO, EN LA ESTACIÓN MERCADO CENTRAL (ENERO-MARZO & SEPTIEMBRE-DICIEMBRE 2007)

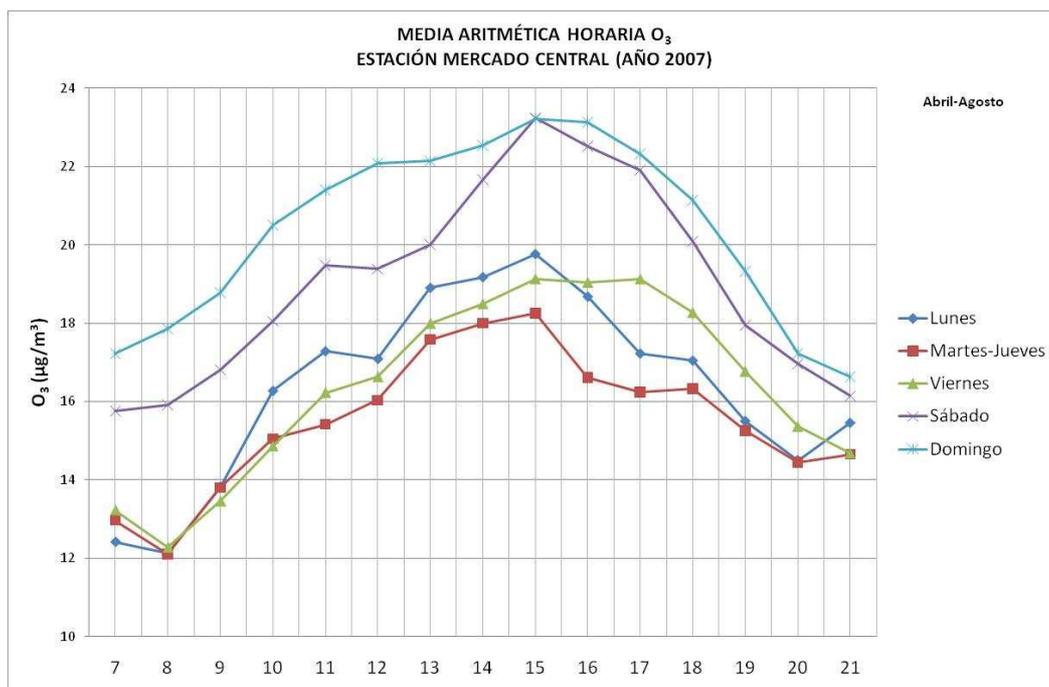


FIGURA 4.4.6.- CONCENTRACIÓN HORARIA DE O₃ ESTACIÓN MERCADO CENTRAL DE 7 A 21 HORAS (ABRIL-AGOSTO 2007)

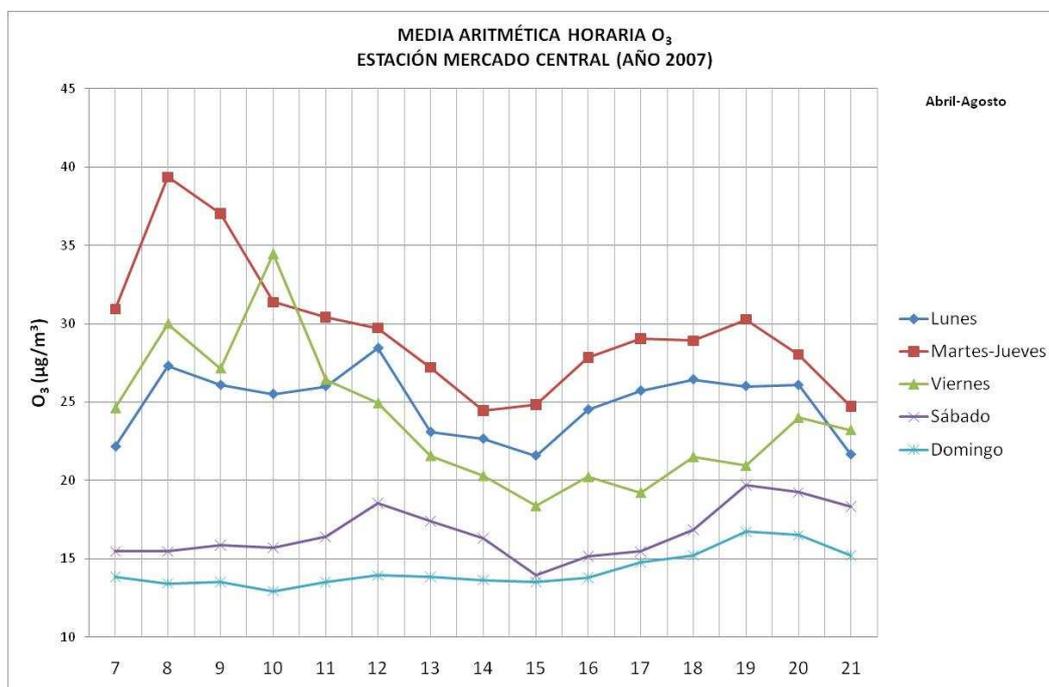


FIGURA 4.4.7.- CONCENTRACIÓN HORARIA DIURNA DE NO EN LA ESTACIÓN MERCADO CENTRAL DE 7 A 21 HORAS (ABRIL-AGOSTO 2007)

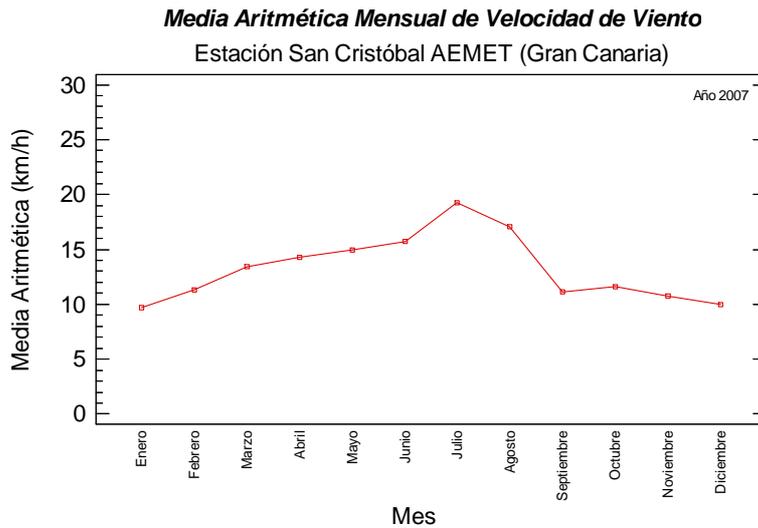


FIGURA 4.4.8.- VELOCIDADES MEDIAS MENSUALES DE VIENTO ESTACIÓN SAN CRISTÓBAL. FUENTE: AEMET (2007)

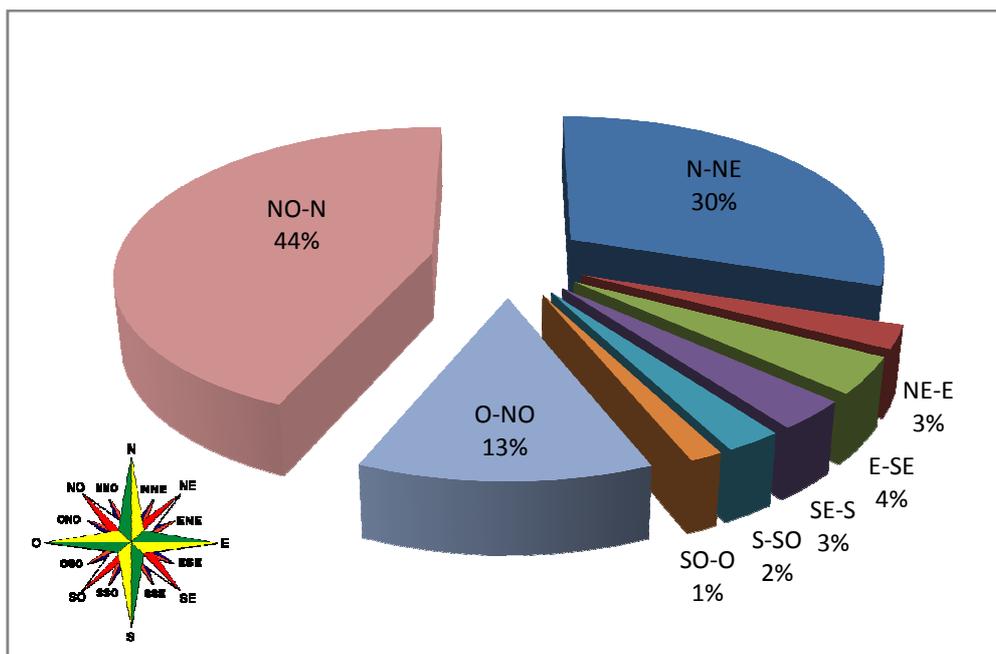


FIGURA 4.4.9.- DIRECCIONES DE VIENTO (%) ESTACIÓN SAN CRISTÓBAL AEMET (2007)

Para obtener una visión más amplia de la influencia del viento en los niveles de este contaminante, se ha determinado la variación horaria de los meses de diciembre y julio de 2007, por ser los que registraron la mayor y menor velocidad de viento (17 km/h y 10 km/h, respectivamente). En el mes de diciembre (figura 4.4.10) se observa un aumento de los niveles de O_3 a partir de las 8 horas (comienzo de la actividad fotoquímica), alcanzando el máximo diario a las 2 de la tarde con un valor de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para seguidamente comenzar a disminuir hasta estabilizarse a partir de las 20 horas entre 13 y $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En el mes de julio (figura 4.4.11), el aumento de la velocidad del viento conlleva una mayor dispersión de los contaminantes y los niveles medios de ozono ($15,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) disminuyen con respecto a diciembre ($19,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), a pesar del mayor número de horas de radiación solar. Las relaciones

de concentraciones máximas/mínimas de ambos meses son 3,5 en diciembre (35/10) y 1,5 en julio (19,5/12,6). Se aprecia, claramente que en diciembre la relación es 2,3 veces superior, con un mínimo de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 8 horas, debido a que es uno de los meses que presenta menos luz solar provocando que los niveles de O₃ sean bajos, a pesar de que las concentraciones de NO aumentan a partir de las 7 de la mañana (figura 4.4.5). El máximo diario no se sitúa en horas del mediodía, aparece en horas de madrugada. La disminución del tráfico rodado en horas de madrugada se traduce en menores concentraciones de NO y por ende menor destrucción de O₃. No debe descartarse que, tal como sugieren algunos autores (Guerra et al., 2004), parte del ozono detectado se deba al transporte del mismo a larga distancia, concretamente, dada la dirección predominante de los vientos, de Norteamérica.



FIGURA 4.4.10.- CONCENTRACIÓN MEDIA HORARIA DE O₃ ESTACIÓN MERCADO CENTRAL (DICIEMBRE 2007)

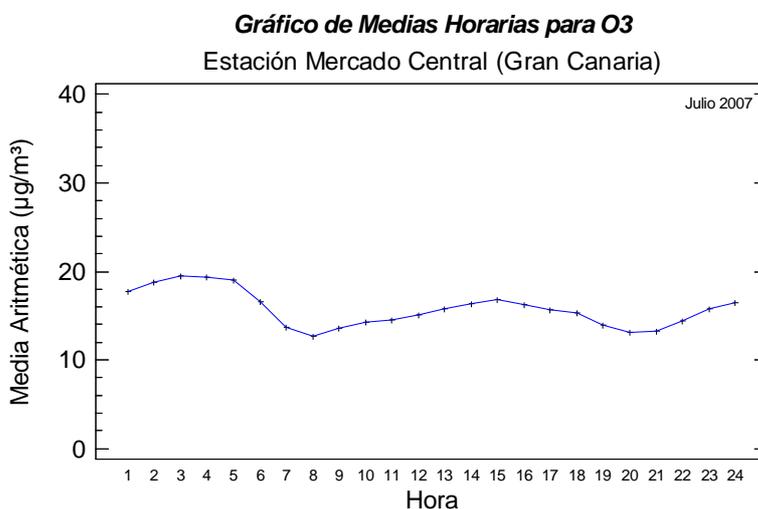


FIGURA 4.4.11.- CONCENTRACIÓN MEDIA HORARIA DE O₃ ESTACIÓN MERCADO CENTRAL (JULIO 2007)

Las figuras 4.4.12 a 4.4.15, representan la variación de NO y O₃ en horas nocturnas según la clasificación realizada anteriormente, en los meses enero-marzo y septiembre-diciembre. De manera general, se puede decir que: al disminuir los niveles de NO, aumentan los niveles de O₃. Los niveles máximos de NO se producen entre las 22 y 24 horas. El día de la semana que presenta la máxima concentración es el viernes (36,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a las 22h) debido al aumento del tráfico en la zona consecuencia del inicio del fin de semana. En los demás días se observan concentraciones similares, el martes-jueves (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a las 22h). Los fines de

semana la concentración máxima se traslada a 1 de la mañana. El mínimo se produce siempre en horas de madrugada, entre las 4 y las 6 horas y con valores comprendidos entre 10 y 12,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Las concentraciones máximas de O_3 , se producen en horas de madrugada, que es cuando se producen las mínimas de NO . Están comprendidas entre 16,5 y 17,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (sobre las 4 de la mañana). La mínima se produce entre las 22-24 horas, excepto el sábado y domingo que ocurre a la 1 de la mañana.

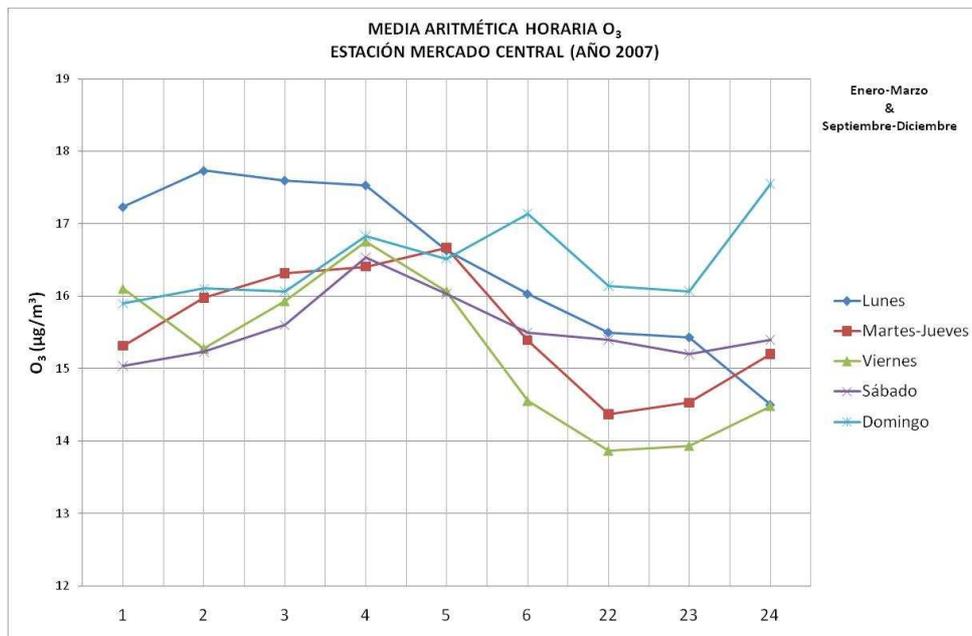


FIGURA 4.4.12.- CONCENTRACIÓN HORARIA DE O_3 ESTACIÓN MERCADO CENTRAL DE 22 A 6 HORAS (ENERO-MARZO & SEPTIEMBRE-DICIEMBRE 2007)

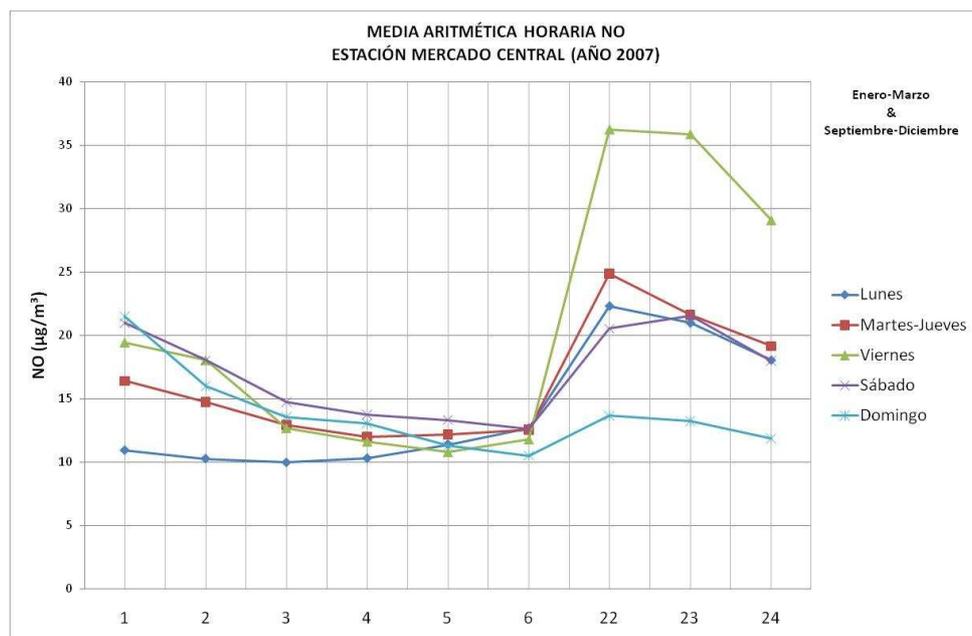


FIGURA 4.4.13.- CONCENTRACIÓN HORARIA DE NO ESTACIÓN MERCADO CENTRAL DE 1-6 HORAS Y 22-24 HORAS (ENERO-MARZO & SEPTIEMBRE-DICIEMBRE 2007)

Los meses de abril a agosto (1-6 horas y 22-24 horas), presentan mayores niveles de O₃ (figura 4.4.14) que los alcanzados en el período otoño-invierno. Ello coincide con las menores concentraciones medias horarias de NO (figura 4.4.15). La mayor velocidad de viento en el período primavera-verano, produce una mayor dispersión de los contaminantes y al haber menor concentración de NO la destrucción de O₃ por la reacción (1) es menor.

Al igual que en el período anterior (enero-marzo & septiembre-diciembre), las concentraciones máximas de O₃ se producen en horas de madrugada.

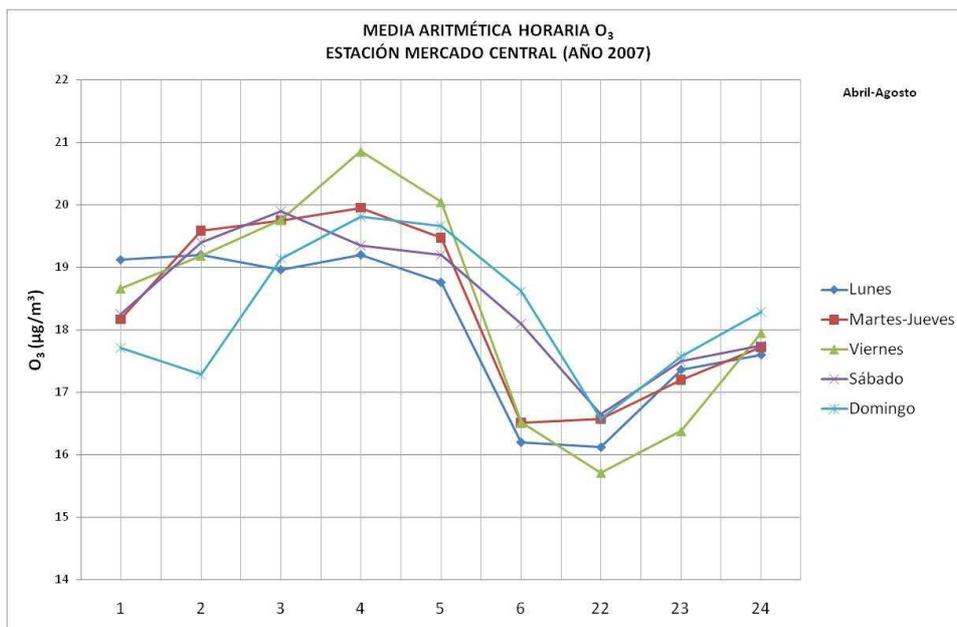


FIGURA 4.4.14.- CONCENTRACIÓN HORARIA DE O₃ ESTACIÓN MERCADO CENTRAL DE 22 A 6 HORAS (ABRIL-AGOSTO 2007)

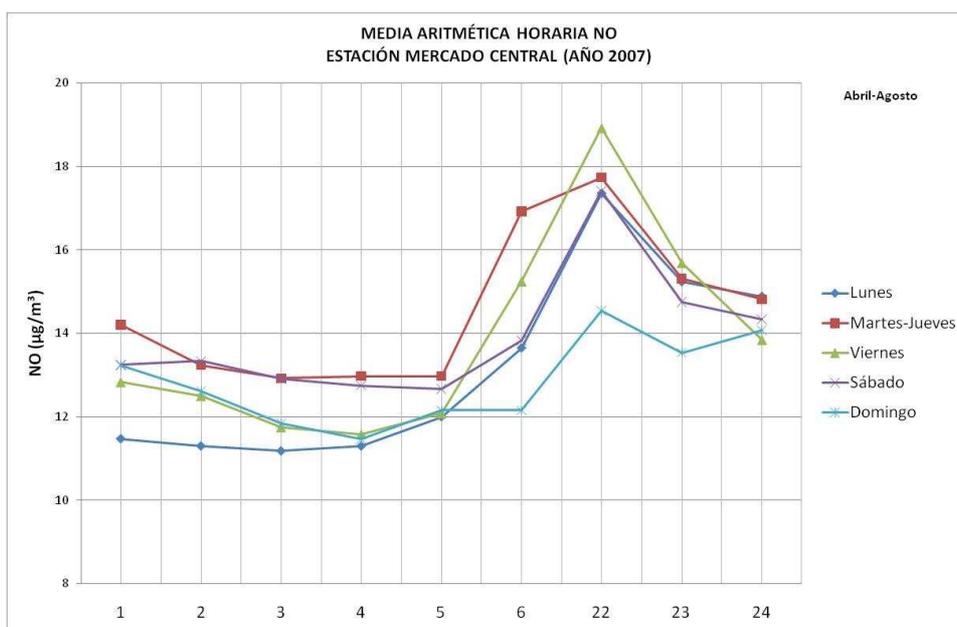


FIGURA 4.4.15.- CONCENTRACIÓN HORARIA DE NO ESTACIÓN MERCADO CENTRAL DE 22 A 6 HORAS (ABRIL-AGOSTO 2007)

En la figura 4.4.16, se muestra la evolución horaria del O₃, a lo largo de la semana. Se observa el mismo patrón a lo largo de los días laborales, con pequeñas variaciones en las concentraciones horarias máximas y mínimas, aumentando los niveles los fines de semana, especialmente los domingos.

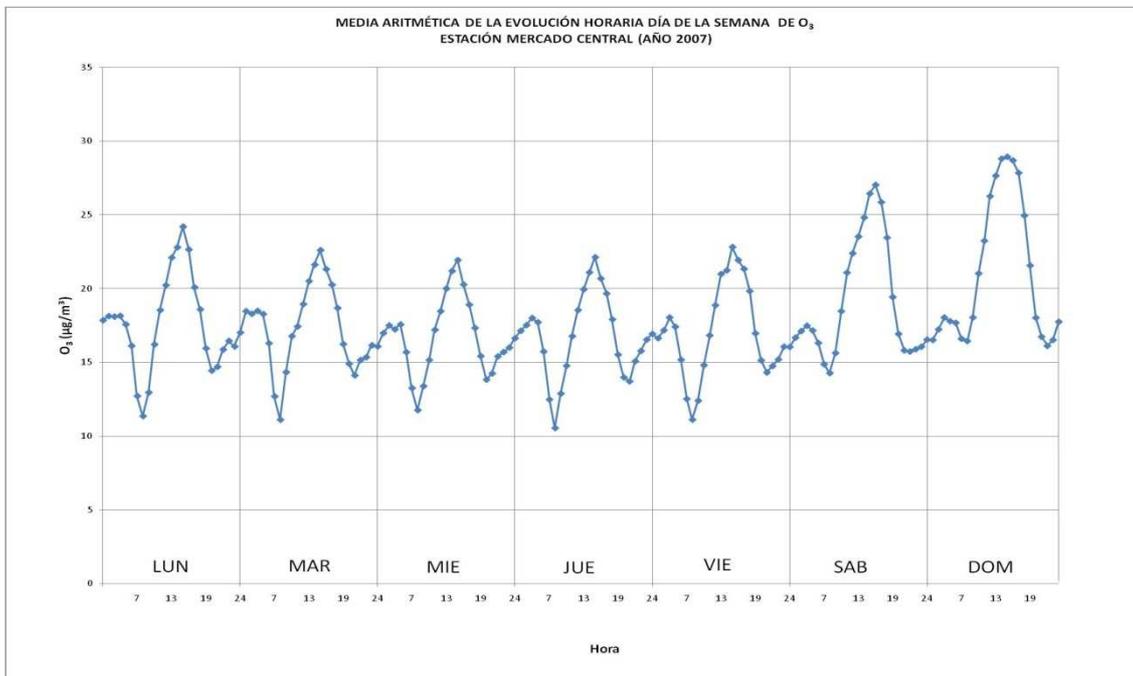


FIGURA 4.4.16.- CICLOS DE MEDIAS HORARIAS POR DÍA DE LA SEMANA EVOLUCIÓN HORARIA DE O₃ DÍA DE LA SEMANA ESTACIÓN MERCADO CENTRAL (AÑO 2006)

Los resultados obtenidos y discutidos en los párrafos anteriores, sugieren que el efecto fin de semana, en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria se presenta de la siguiente manera: aparece una disminución significativa de los niveles NO_x y un aumento de los niveles de O₃. Por tanto, se puede decir que la ciudad de las Palmas de Gran Canaria debe ser considerada como COV-sensible.

Con el fin de cuantificar el porcentaje de variación entre los domingos y los días centrales de la semana (martes-jueves), se ha realizado el estudio de correlación entre las concentraciones de ozono en los períodos otoño-invierno y primavera-verano, en el horario de 7 a 21 horas (figura 4.4.17).

El período otoño-invierno presenta una regresión lineal, obtenida mediante el método de los mínimos cuadrados, con un coeficiente de correlación R=0,9856 y responde a la siguiente ecuación: O₃ (domingos) = -2,27 + 1,54 O₃ (martes-jueves). Se puede afirmar, que la concentración de O₃ los domingos, es aproximadamente un 40 % superior, en términos medios, a la registrada en los días centrales de la semana.

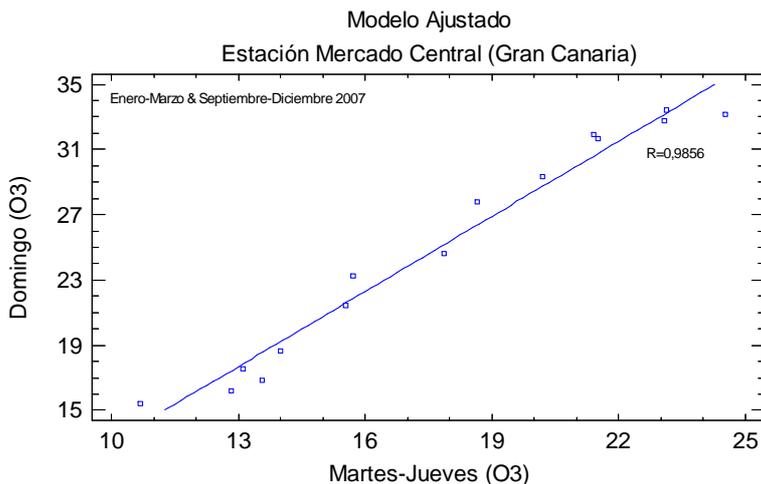


FIGURA 4.4.17.- CORRELACIÓN DE MEDIAS HORARIAS ANUAL DE O₃ (DOMINGO FRENTE MARTES-JUEVES) ESTACIÓN MERCADO CENTRAL DE 7 A 21 HORAS (ENERO-MARZO & SEPTIEMBRE-DICIEMBRE 2007)

El período primavera-verano (figura 4.4.18), con un coeficiente de correlación de 0,8475, revela un porcentaje algo menor, concretamente los niveles de O₃ en ésta época del año son un 30 % superiores los domingos, siendo la ecuación de la recta: O₃ (domingos) = 3,07 + 1,11 O₃ (martes-jueves).

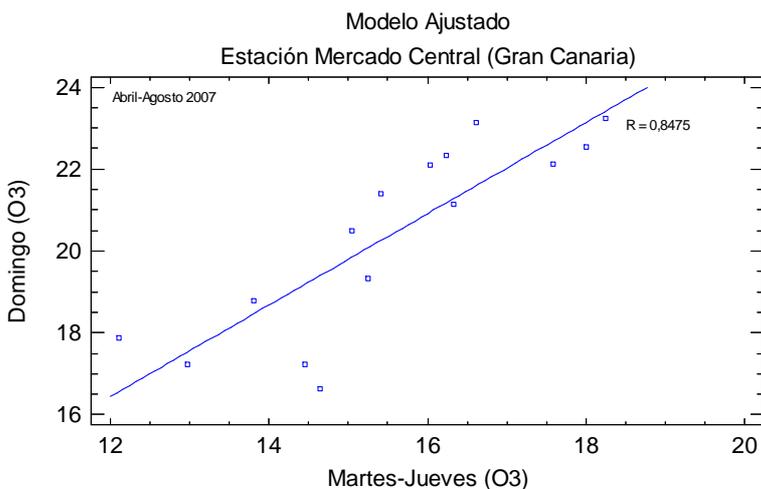


FIGURA 4.4.18.- CORRELACIÓN DE MEDIAS HORARIAS ANUAL DE O₃ (DOMINGO FRENTE MARTES-JUEVES) ESTACIÓN MERCADO CENTRAL DE 7 A 21 HORAS (ABRIL-AGOSTO 2007)

Con respecto, a la estación de medida Néstor Álamo, los niveles de O₃ aumentan ligeramente los fines de semana como se observa en la figura 4.4.19. La media de los domingos es superior a la anual (44,7 µg/m³ frente a 40,7 µg/m³). Además, los niveles de NO_x disminuyen, como se aprecia en la figura. Se puede decir, que los domingos, la disminución de NO_x implica un aumento en los niveles medios de O₃, siendo estos un 10 % superior a la media anual. Por tanto, el efecto fin de semana en Néstor Álamo, es parecido al de Mercado Central, pero no tan pronunciado.

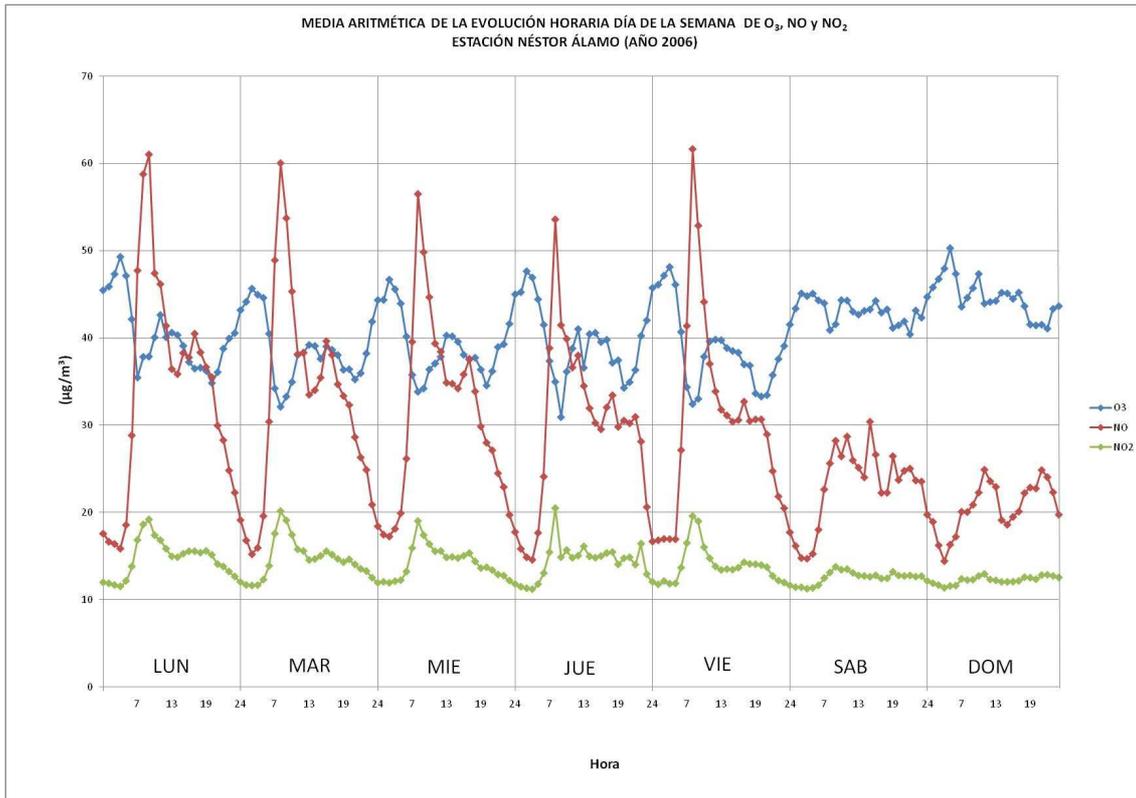


FIGURA 4.4.19.- CICLOS DE MEDIAS HORARIAS POR DÍA DE LA SEMANA EVOLUCIÓN HORARIA DE O₃, NO Y NO₂ DÍA DE LA SEMANA ESTACIÓN NÉSTOR ÁLAMO (AÑO 2006)

4.1 PARTÍCULAS (PM₁₀)

4.2 ÓXIDOS DE NITRÓGENO

4.3 DIÓXIDO DE AZUFRE

4.4 OZONO

4.5 ANÁLISIS DE FACTORES

4.5 ANÁLISIS DE FACTORES

4.5.1 ANÁLISIS MULTIVARIANTE

El análisis multivariante encuentra su mayor campo de aplicación en el tratamiento estadístico de “n” observaciones de “m” variables.

Su objetivo es la reducción de la dimensionalidad de un sistema, buscando unos pocos parámetros que describan adecuadamente la serie de datos estudiada.

Dentro de las técnicas de análisis multivariante, en la bibliografía han recibido una atención preferente los métodos de “análisis factorial” y de “conglomerados”.

- Análisis de factores

A la hora de identificar las fuentes que contribuyen, en mayor medida, con sus emisiones a la presencia de diferentes contaminantes en la atmósfera, es común realizar en cada zona objeto de estudio un análisis desglosado de esas fuentes.

Este tipo de análisis se ha basado frecuentemente en modelos de dispersión, en los que se usan como datos de entrada los registros existentes correspondientes a las emisiones procedentes de diversas fuentes. Se han desarrollado también procedimientos alternativos basados en modelos de trayectorias de tipo lagrangiano capaces de simular los principales procesos que conciernen a la emisión de aerosoles, su formación, transporte y depósito (Eldering y Cass, 1996; Kleeman y Cass, 1998). Aunque dichos procedimientos son bastante consistentes con los datos experimentales, requieren la existencia de inventarios detallados de emisiones que no siempre se encuentran disponibles.

Para salvar este escollo existen una serie de técnicas basadas en el modelo de receptores. Dichas técnicas se basan en la evaluación de datos adquiridos en los lugares de muestreo, y la mayoría de ellas no requieren una identificación previa de las fuentes emisoras (Henry et al., 1984).

Aunque en Estados Unidos el modelo de *Balance Químico de Masas* (Gertler et al., 1995; Chow et al., 1996) es el más usado, en Europa estas técnicas se han basado principalmente en metodologías que no requieren disponer de los perfiles químicos de las fuentes emisoras (Harrison et al., 1997; Pío et al., 1998).

Con el fin de clarificar las relaciones existentes entre los diferentes contaminantes y las variables meteorológicas, y determinar sus fuentes emisoras se hará uso de una técnica de análisis multivariante denominada análisis de los factores. Se trata de una técnica estadística que intenta representar las relaciones existentes entre las variables por medio de una pequeña cantidad de elementos relativamente independientes e interpretables, pero que no son observables directamente, llamados factores.

El modelo matemático para un análisis de factores se parece mucho a una ecuación de regresión múltiple. Cada variable es expresada como una combinación lineal de factores. Así la variable i-ésima tomaría la forma:

$$X_i = A_{i1}F_1 + A_{i2}F_2 + \dots + A_{in}F_n$$

Donde los términos A_{in} reciben el nombre de coeficientes o factores de peso y representan los coeficientes de correlación entre las variables iniciales y las nuevas variables F_i o componentes principales.

La determinación de estos componentes tiene como punto de partida el cálculo de la matriz de correlación de las variables. Seguidamente, debido a que el rango de valores de cada una variable generalmente es muy diferente, los valores de las n observaciones de cada una de ellas se normalizan a media 0 y varianza 1.

Una vez normalizada, la matriz de correlación se diagonaliza mediante una transformación ortogonal obteniéndose los valores propios y los vectores propios. El primer factor principal es la combinación que explica el mayor porcentaje de la varianza del sistema. El segundo factor principal ocurre para el segundo valor propio y no está correlacionado con el primero. Factores sucesivos explicarán porciones progresivamente más pequeñas de la varianza total y no están correlacionados unos con otros.

En el presente caso no se han tenido en cuenta aquellos factores con valores propios inferiores a la unidad, criterio de Kaiser, (Katrinak et al., 1995; Van Malderen et al., 1992) sometiéndose los restantes a una transformación ortogonal tipo Varimax.

Cada fila de la matriz de factores obtenida contendrá los coeficientes usados para expresar cada variable en término de los factores. Estos coeficientes se denominan, como se ha indicado anteriormente, factores de peso ya que indican cuanto peso se le asigna a cada factor. Los factores con coeficientes grandes, cerca de la unidad (en valor absoluto) para una variable indican que éste componente es el que gobierna básicamente su varianza.

Henry et al., (1984), han sugerido que el número mínimo de muestras (n) que se tendrían que tener para poder realizar de manera eficaz un análisis de factores debería satisfacer la siguiente expresión: $n = 30 + (V+3)/2$, siendo V el número de variables. En nuestro caso, se dispone de un número de muestras suficientes para realizar dicho análisis.

- Métodos de conglomerados

Los métodos de análisis de aglomerados tienen por objetivo clasificar una serie de objetos en grupos de forma que los miembros de un grupo difieran entre sí tan poco como sea posible, de acuerdo con un criterio previamente elegido.

Existen dos métodos de aglomerados diferentes:

- Divisivos: separan el conjunto de objetos asignándolos a los diferentes grupos o aglomerados con los que presentan mayor afinidad.
- Agregativos: reúnen progresivamente los objetos por orden de similitud.

La separación o unión de los objetos requiere la fijación de algún criterio que mida el grado de afinidad de los elementos que configuran cada aglomerado. Así, existen métodos de segmentación heurística, métodos jerárquicos, métodos basados en la utilización de la función objetiva, etcétera. Ello ha dado lugar a gran variedad de algoritmos descritos en la bibliografía.

Los algoritmos más usados son los jerárquicos y los no jerárquicos. En esta tesis se ha utilizado un *método de aglomerados jerárquicos* para someter a clasificación las variables. Esta

técnica utiliza una métrica euclídea mediante la cual secuencialmente se van agregando las diferentes variables hasta reunir las en un solo aglomerado.

El algoritmo utilizado consta de las siguientes etapas:

- (1) Cálculo de la matriz de correlación múltiple $R(n,n)$.
- (2) Transformación de dicha matriz en otra de distancias mediante la expresión: $d = 1-r$
- (3) Aglomeración inicial de los objetos p y q , cuya distancia e_{pq} es mínima
- (4) Elección de otro objeto (variable) r y determinación del cuál es su vecino más próximo. Este puede ser otro objeto o un aglomerado formado anteriormente, $K = p$ o q .
- (5) Elección del criterio de agregación; se fija definiendo la distancia, o sus cuadrados entre los objetos K y r .

$$E_{K,r} = \alpha d_{pr} + \beta d_{qr} + \gamma d_{pq} - \mu |d_{pr} - d_{qr}|$$

donde los parámetros α , β , γ y μ , dependen en última instancia del número de objetos que componen cada subgrupo.

Existen diferentes métodos jerárquicos, dependiendo de los valores que se asignen a estos coeficientes. En ésta Tesis, se utilizará el **enlace completo o vecino más alejado**. Mide la proximidad entre dos grupos calculando la distancia entre sus objetos más lejanos o la similitud entre sus objetos menos semejantes y conduce a conglomerados compactos.

Los resultados de este método pueden expresarse gráficamente mediante una figura que recibe el nombre de *dendograma*. Consiste en una representación bidimensional de las variables en función de la distancia a la que se van agregando.

Una de las ventajas que presenta este método, es que permite visualizar la composición de los conglomerados, lo que facilita su interpretación.

4.5.1.1 ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS

En éste caso, se ha comenzado por el método de conglomerados suponiendo una correlación entre NO y NO_2 . Se ha tenido en cuenta los contaminantes atmosféricos comunes en todas las estaciones de medida y presentes en la Directiva 2008/50, esto es: PM_{10} , NO_2 y SO_2 . Debido a la supuesta correlación entre NO y NO_2 , se ha descartado el NO , para realizar este análisis.

Una vez elegidas las variables, se han calculado las medias aritméticas anuales de los contaminantes anteriormente indicados. Estas aparecen reflejadas en la tabla 4.5.1.

Los valores de los cuadrados de las distancias euclidianas entre cada pareja de variables han conducido al dendograma de la figura 4.5.1.

TABLA 4.5.1.- MEDIAS ARITMÉTICAS ANUALES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS PRESENTES EN LA DIRECTIVA 2008/50, ESTACIONES DE MEDIDAS ISLA DE GRAN CANARIA (AÑO 2006)

Estación	PM ₁₀ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)
Mercado Central	34,0	25,4	7,3
Néstor Álamo	30,0	13,8	13,3
Jinámar	33,2	23,8	17,2
Jinámar III	32,3	18,6	14,9
Pedro Lezcano	34,0	10,5	15,5
Arinaga	26,6	7,2	6,3
Agüimes	21,8	10,7	5,6
Sardina	24	12,4	4,4
Castillo del Romeral	28,8	10,3	6,2
San Agustín	31,9	20,9	5,3
Playa del Inglés	24,1	12,3	9

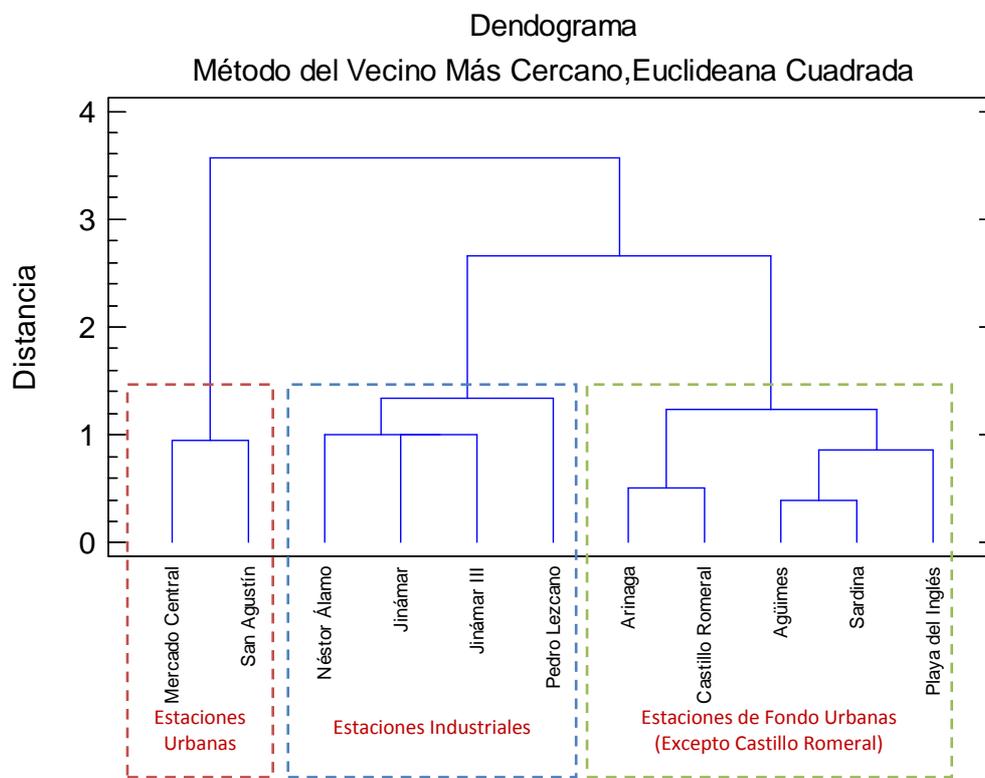


FIGURA 4.5.1.- DENDOGRAMA POR APLICACIÓN DEL MÉTODO DE AGLOMERADOS JERÁRQUICOS

En este dendograma puede apreciarse que las estaciones aparecen distribuidas en tres grupos (que se han resaltado en la figura para una mejor visualización).

- 1.- El primer grupo está constituido por las estaciones de medida de Mercado Central y San Agustín, consideradas en la clasificación realizada en ésta tesis, como urbanas.
- 2.- El segundo grupo aglutina a las estaciones de medida situadas en el valle de Jinámar, y que se habían considerado en la clasificación como industriales. Dentro de este

grupo parece existir una pequeña diferencia entre la estación de Pedro Lezcano y las otras tres.

3.- El último grupo, asocia las estaciones situadas en el sur de Gran Canaria (que han sido consideradas de fondo urbano en la clasificación inicial). La excepción es la estación de Castillo del Romeral, que está clasificada como industrial y en el análisis de conglomerados aparece junto con las de fondo urbano. Se agrupa con la de Arinaga, de la que se encuentra bastante próxima. A falta de un estudio temporal más amplio y detallado podría pensarse que en esta zona del sur-sureste de la isla podría prescindirse de algunas estaciones.

4.5.1.2 ANÁLISIS DE FACTORES

Una vez clasificadas las estaciones en tres grupos (de acuerdo con los resultados derivados del análisis de conglomerados), se pasa a realizar un análisis de factores a una estación perteneciente a cada uno (Mercado Central, Jinámar y Playa del Inglés, todas ellas ubicadas en Gran Canaria). A estas se suma la de Arrecife, por disponer de una estación de otra isla y estar Arrecife más poblada que Puerto del Rosario.

El citado análisis multivariante va a permitir no solo investigar las relaciones existentes entre los distintos contaminantes sino también determinar la influencia que sobre ellos ejercen algunas variables meteorológicas. Hay que tener en cuenta que muchas reacciones químicas que ocurren en la atmósfera se ven afectadas fundamentalmente por algunas de estas variables, entre las que pueden citarse: radiación solar, temperatura y humedad del aire. Habida cuenta que el viento suele ejercer una influencia fundamental en las concentraciones atmosféricas de los contaminantes, también se prestará atención a las dos variables que lo caracterizan: su velocidad y su dirección. La primera afecta sobre todo a la capacidad de dispersión de los mismos mientras que la segunda puede indicar la situación espacial de los focos emisores.

Hecho el pertinente análisis a cada una de las estaciones enunciadas, las matrices de factores obtenidas (una vez realizada la transformación ortogonal de varianza máxima, Varimax) se muestran en las tablas 4.5.2 a 4.5.5. Tal como puede observarse, en todos los casos se encontraron 4 factores con valores propios superiores o cercanos a 1, que explican entre el 67% y el 73% de la variabilidad de los sistemas.

En dichas matrices, junto a los factores se muestran también las comunalidades correspondientes; estas indican la proporción de variabilidad atribuible a los factores extraídos. Cuanto más cerca de la unidad se encuentren mayor será su influencia.

Las matrices de factores correspondientes a la estación Mercado Central para los años 2006 y 2007 se exponen en la tabla 4.5.2. En la correspondiente al año 2006 no se ha contemplado (al igual que en las otras estaciones) la radiación solar por no disponerse de datos. Como ésta es una variable importante en las reacciones químicas atmosféricas entre contaminantes gaseosos, se va a incidir en el presente análisis en las agrupaciones obtenidas con las matrices correspondientes al año 2007, que además es el único del que se tienen datos en Lanzarote.

Volviendo a esta primera matriz rotada, puede indicarse que los cuatro factores explican conjuntamente el 73,5% de la variabilidad del sistema; de ellos, el primero (con el 30,9% de la varianza del sistema) tiene elevados coeficientes de peso para los óxidos de nitrógeno a los que relaciona con la humedad relativa con distinto signo y en menor medida (y también con signo negativo) con la radiación solar. Los signos bipolares que aparecen entre las

dos variables meteorológicas y los dos contaminantes son perfectamente interpretables. Vienen a significar que altos porcentajes de humedad relativa llevan asociados bajas concentraciones de óxidos de nitrógeno, incrementándose estas concentraciones los días en los que humedad es baja. Este tipo de relación entre humedad y óxidos de nitrógeno ha sido encontrada en otros lugares, y es explicada en base a que dicha variable meteorológica favorece algunas reacciones (por ejemplo entre el NO₂ y partículas de NaCl (Vera et al., 1997) o a que su bajo porcentaje hace decrecer la reacción entre NO₂ y OH (Elminir H., 2005).

El segundo factor agrupa con coeficientes bastante elevados y del mismo signo a ozono y temperatura. Hay que recordar que el ozono es un contaminante secundario que se forma cuando coexisten óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles (emitidos básicamente por plantas aromáticas) en presencia de radiación solar y temperatura alta. Una relación similar a la aquí hallada es encontrada en la ciudad de El Cairo (Elminir, 2005) donde las concentraciones de ozono muestran una clara tendencia a aumentar con la temperatura. La relación entre la concentración de ozono y la temperatura puede explicarse de forma teórica. La temperatura juega un papel principal en la tasa de propagación de la cadena de radicales existentes en la atmósfera teniendo un efecto opuesto sobre la tasa de finalización de dichas cadenas (Ruíz Suárez et al, 1995; Abdul-Wahab y Al-Alawi, 2002). Por lo tanto no es extraña esta asociación, aunque sí lo es la no participación de la radiación solar en este grupo.

El tercer factor correlaciona dirección y velocidad de viento, variables que únicamente aparecen con coeficientes elevados en este grupo; esto parece indicar que la participación del viento es menos relevante en Mercado Central, quizá debido a la localización de la estación (afectada por la distribución urbanística de la zona) que la hace ser más influenciada por fenómenos locales de emisión.

Por último, el cuarto factor, que explica el 10,5% de la varianza del sistema agrupa PM₁₀ con SO₂ (esta con signo negativo) y radiación, variable ésta última que, al igual que el SO₂ se reparte entre los factores 1 y 4, aunque con menor presencia en el primero. La relación contraria entre radiación y SO₂ implica que un aumento de la primera trae como consecuencia un descenso en los niveles de concentración de la segunda, hecho que está de acuerdo con lo reflejado en diversos artículos (Alkezweeny et al., 1977; Breedin et al., 1976) sobre la existencia de una mayor tasa de oxidación en verano que en invierno. La relación contraria existente entre el SO₂ y la PM₁₀ puede estar influida, entre otras cosas, por reacciones de neutralización del dióxido de azufre con partículas finas de CaCO₃ presentes en la atmósfera seguidas de una rápida conversión a sulfatos (Stern, 1976).

TABLA 4.5.2.- MATRIZ DE FACTORES UNA VEZ REALIZADA LA ROTACIÓN VARIMAX (ESTACIÓN MERCADO CENTRAL)

VARIABLE	ESTACIÓN MERCADO CENTRAL (GRAN CANARIA)									
	Año 2006					Año 2007				
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Comunalidad	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Comunalidad
PM ₁₀	-0,080	0,146	0,777	0,033	0,634	0,317	-0,068	0,030	0,748	0,667
NO ₂	0,825	-0,239	0,303	-0,164	0,857	0,782	-0,144	-0,114	0,031	0,647
NO	0,754	-0,292	0,253	0,257	0,784	0,757	-0,392	-0,128	0,013	0,745
SO ₂	0,283	0,416	-0,098	0,711	0,768	0,405	-0,261	-0,0632	-0,657	0,668
O ₃	-0,627	-0,160	0,276	0,144	0,516	-0,165	0,826	0,292	-0,011	0,796
Velocidad viento	0,001	0,843	0,272	0,008	0,785	-0,081	0,113	0,827	0,216	0,752
Dirección viento	-0,198	0,706	-0,175	0,021	0,569	-0,078	0,0505	0,848	-0,012	0,730
Humedad relativa	-0,223	0,105	-0,761	0,001	0,639	-0,703	-0,065	-0,003	0,114	0,512
Radiación	-	-	-	-	-	-0,437	-0,0387	0,270	0,592	0,618
Temperatura	-0,373	-0,218	0,112	0,800	0,838	-0,056	0,837	-0,063	0,059	0,711
Valor Propio	2,31	1,53	1,41	1,14		3,09	1,46	1,25	1,05	
% Varianza	25,6	17,0	15,7	12,7		30,9	14,6	12,5	10,5	

Las matrices de factores correspondientes a las otras tres estaciones no muestran el ozono, al carecer de datos de este contaminante en ellas.

La de Jinámar explica con los 4 factores un 67% de la varianza. Al igual que sucede en Mercado Central, en el primer factor se agrupan con los coeficientes más elevados el monóxido y el dióxido de nitrógeno a los que acompaña, también con signo contrario, la radiación solar. La explicación a este agrupamiento sería la misma que se dio anteriormente, y al igual que sucedía allí, existe cierta participación del dióxido de azufre lo que lleva a pensar que parte del mismo procede de una fuente común de emisión. A diferencia de Mercado Central el factor también contiene a las variables que caracterizan el viento (dirección y velocidad) y los signos con que aparecen vienen a indicar que cuanto menor sean la velocidad y la dirección (esto último implica vientos del primer cuadrante) mayor será la concentración de estos gases; ello permite localizar su principal fuente emisora en una zona cercana y situada entre las direcciones N y NE. La única fuente importante en esta zona (excluyendo la autovía) es el complejo central térmica-potabilizadora.

El segundo factor, con un 19,5% de la varianza, agrupa con los mayores coeficientes a la velocidad del viento y la PM₁₀. Sin embargo este es un factor que relaciona todas las variables, a excepción de la humedad, y creemos que viene a indicar la influencia de fuentes algo alejadas de la zona de medida.

En Jinámar, las partículas menores de 10 µm se encuentran distribuidas en tres factores (2, 3 y 4) con coeficientes similares. Este hecho es típico de sustancias que presentan origen múltiple (Macías et al., 1981). Así, en el tercer factor se encuentran asociadas con la humedad y la temperatura, y en menor medida la radiación y en el cuarto factor con el dióxido de azufre y la humedad, en este caso ambas variables con signo contrario al de la PM₁₀.

TABLA 4.5.3.- MATRIZ DE FACTORES UNA VEZ REALIZADA LA ROTACIÓN VARIMAX (ESTACIÓN JINÁMAR)

VARIABLE	ESTACIÓN JINÁMAR (GRAN CANARIA)									
	Año 2006					Año 2007				
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Comunalidad	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Comunalidad
PM ₁₀	-0,052	-0,016	0,717	0,187	0,552	0,174	0,495	0,503	-0,557	0,840
NO ₂	0,717	-0,051	0,216	-0,169	0,592	0,686	0,371	0,019	0,218	0,656
NO	0,806	-0,121	0,092	0,255	0,738	0,698	0,341	0,225	0,124	0,671
SO ₂	-0,016	0,136	0,054	0,947	0,919	0,388	0,447	-0,043	0,458	0,563
Velocidad viento	-0,152	0,828	0,260	0,048	0,778	-0,566	0,575	-0,191	0,046	0,690
Dirección viento	-0,012	0,835	-0,253	0,112	0,775	-0,574	0,444	-0,157	0,346	0,673
Humedad relativa	-0,131	-0,013	-0,746	0,116	0,587	-0,341	-0,110	0,637	0,414	0,706
Radiación	-	-	-	-	-	-0,486	0,517	0,370	-0,141	0,662
Temperatura	0,758	0,002	-0,175	-0,075	0,610	-0,083	-0,493	0,517	0,232	0,571
Valor Propio	1,94	1,45	1,24	0,92		2,15	1,75	1,18	0,95	
% Varianza	24,2	18,1	15,6	11,5		23,9	19,5	13,1	10,6	

A diferencia de lo que ocurre en Mercado Central (tráfico urbana) y Jinámar (industrial), la estación de Playa del Inglés presenta una matriz de factores diferente. Tal como puede observarse (tabla 4.5.4) las partículas menores de 10 µm se encuentran formando parte del primer factor, que en este caso explica un 23,3% de la varianza, mientras que los óxidos de nitrógeno tienen una menor importancia, agrupándose (entre ellos) en el tercer factor. El dióxido de nitrógeno también tiene un coeficiente relativamente alto en el factor 2, donde se asocia con igual signo con la radiación solar y la velocidad del viento.

Volviendo al primer factor, puede verse que existe una asociación importante entre la PM₁₀ y la temperatura, mientras que con el SO₂ (compuesto que aparece únicamente en este

factor) ésta asociación es negativa igual que sucede en Mercado Central, pudiendo ofrecerse la misma explicación.

TABLA 4.5.4.- MATRIZ DE FACTORES UNA VEZ REALIZADA LA ROTACIÓN VARIMAX (ESTACIÓN PLAYA DEL INGLÉS)

VARIABLE	ESTACIÓN PLAYA DEL INGLÉS (GRAN CANARIA)									
	Año 2006					Año 2007				
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Comunalidad	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Comunalidad
PM ₁₀	0,042	0,077	0,936	-0,001	0,885	0,802	-0,043	0,1449	-0,209	0,711
NO ₂	0,953	-0,002	-0,004	-0,033	0,909	0,135	-0,590	0,627	0,082	0,767
NO	0,921	-0,163	0,052	0,085	0,886	0,014	-0,027	0,928	0,010	0,862
SO ₂	0,034	0,115	-0,007	0,977	0,971	-0,487	-0,074	-0,244	0,052	0,305
Velocidad viento	-0,143	0,708	0,049	0,121	0,540	-0,069	0,785	-0,049	0,158	0,649
Dirección viento	0,035	-0,422	-0,188	-0,091	0,223	-0,032	0,050	0,039	0,953	0,915
Humedad relativa	-0,052	0,737	-0,366	-0,041	0,682	-0,568	0,272	0,280	-0,225	0,528
Radiación	-	-	-	-	-	0,132	0,849	-0,016	-0,082	0,745
Temperatura	0,460	0,628	0,341	-0,138	0,741	0,785	0,083	-0,105	0,084	0,642
Valor Propio	2,06	1,70	1,09	0,98		2,10	1,78	1,20	1,05	
% Varianza	25,8	21,3	13,6	12,2		23,3	19,7	13,3	11,6	

Por último, la matriz de factores correspondiente a la estación de Arrecife se expone en la tabla 4.5.5. Tal como puede observarse, la matriz presenta agrupaciones similares a las obtenidas en Playa del Inglés. Así, la dirección del viento aparece sola en el factor 4, indicando una influencia menor sobre las concentraciones de contaminantes. La PM₁₀ vuelve a agruparse con humedad y temperatura, pero en este caso en el factor 3; igual sucede con el NO₂ que se relaciona con velocidad de viento y radiación, en el sentido de que cuanto mayor sean estas variables menor será la concentración de dióxido de nitrógeno. La única diferencia importante se encuentra en el primer factor donde los óxidos de nitrógeno se relacionan entre sí y con el dióxido de azufre. Ello se debe a que en esta estación, debido a su localización, existe un impacto más acusado de las emisiones procedentes de la Central termoeléctrica de Lanzarote.

TABLA 4.5.5.- MATRIZ DE FACTORES UNA VEZ REALIZADA LA ROTACIÓN VARIMAX (ESTACIÓN ARRECIFE)

VARIABLE	ESTACIÓN ARRECIFE (LANZAROTE)				
	Año 2007				
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Comunalidad
PM ₁₀	0,129	-0,165	0,835	0,117	0,756
NO ₂	0,720	-0,487	0,061	0,089	0,768
NO	0,835	0,220	0,049	0,066	0,752
SO ₂	0,657	0,333	0,085	-0,230	0,603
Velocidad viento	0,092	0,714	-0,009	0,0341	0,520
Dirección viento	-0,022	0,081	0,018	0,955	0,921
Humedad relativa	-0,142	-0,354	-0,722	0,284	0,748
Radiación	0,050	0,813	0,145	0,049	0,688
Temperatura	-0,532	0,240	0,635	0,140	0,765
Valor Propio	2,15	1,97	1,32	1,07	
% Varianza	23,9	22,0	14,7	11,9	

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

PARTÍCULAS: PM₁₀

1. Las partículas < 10 µm, PM₁₀, presentes en la atmósfera de las islas que constituyen la provincia de Las Palmas tienen concentraciones medias anuales (exceptuando las registradas en Costa Teguisse) inferiores a 40 µg/m³, que es el límite fijado por la Directiva Europea 2008/50 para ese periodo.
2. La estación Costa Teguisse presenta un número de excedencias bastante alto (82 días) y se mantiene en el límite para el 50 % de tolerancia, cifrado en 35 días. Estas excedencias se deben muy probablemente a la situación de la estación, emplazada en un terreno árido por lo que se ve más afectada que las otras por fenómenos de resuspensión local de polvos.
3. Se ha encontrado que las funciones de densidad de probabilidad que mejor ajustan los datos registrados en Gran Canaria son la loglogística y la lognormal, ambas de tres parámetros. Para Fuerteventura se ha determinado que una función gaussiana inversa es la más apropiada para predecir el comportamiento de las partículas y en Lanzarote lo es una función tipo gamma, debido principalmente al sesgo positivo que presentan las concentraciones en las dos estaciones de esta isla.
4. A partir de las expresiones correspondientes a estas funciones y mediante las respectivas funciones de frecuencias acumuladas complementarias se determinó (en un par de estaciones) previo ajuste de los valores más elevados a otra función de distribución el número teórico de días que superarían los 50 µg/m³. La diferencia encontrada entre lo predicho y lo real demuestran que las concentraciones elevadas se encuentran mejor ajustadas por una función exponencial de 2 parámetros.
5. Los habitantes de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria disfrutan de una atmósfera que, en términos de concentración de partículas atmosféricas, se encuentra situada en la zona media-baja de las de las provincias españolas, máxime teniendo en cuenta la población de la misma y la influencia que ejercen las masas de aire africano que, con regularidad, llegan a la isla.
6. Se ha encontrado un descenso histórico de las concentraciones en todas las estaciones de Gran Canaria, aunque este es mínimo en Sardina y solo de un 9% en Arinaga y Playa del Inglés, denotando la influencia constante de los aerosoles naturales en esta parte de la isla.
7. La evolución horaria experimentada en las tres estaciones de tráfico urbanas si bien presenta un máximo a las 9 de la mañana en todas ellas, en la situada en Arrecife existe cierta diferencia durante las horas centrales del día, posiblemente provocada

por las emisiones de la cercana central térmica, que no es más que un reflejo de la actividad empresarial e industrial durante las horas diurnas

8. Se han encontrado en Jinámar valores inusualmente altos en horas de madrugada (entre la 1 y 5 horas).
9. Un análisis factorial realizado sobre las concentraciones registradas en esta localización, revelan un origen múltiple de las partículas que se encuentran en la zona.
10. Comparadas las concentraciones registradas los días entre semana con las de los fines de semana se ha hallado que en la gran mayoría de las estaciones, estas son más elevadas los primeros, siendo en términos absolutos las catalogadas como urbanas las que registran las mayores concentraciones durante los días laborables, seguidas de las industriales y de las de fondo urbanas.
11. Se calcularon, utilizando el modelo de dispersión HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model), las retrotrayectorias de cinco días para los 365 días del año a tres alturas diferentes, encontrándose que el 73% de los días las masas de aire procedieron del Atlántico Norte, siendo las procedentes del cercano continente africano mucho menos frecuentes (13%) de lo que cabría suponer por su cercanía.
12. Se han identificado las superaciones del valor del límite diario de PM_{10} causadas por los aportes africanos y determinado en las mismas la carga neta de polvo aportada a la atmósfera de las islas. Descontando esta carga neta de las excedencias registradas se encuentra que ninguna de las estaciones de Gran Canaria superó los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ más de los 35 días al año que estipula la norma europea.
13. La estación localizada en Costa Tegui es la única que descontando los aportes africanos sigue teniendo un elevado número de excedencias (71), por lo que se hace necesario la realización de un estudio más completo en dicha estación si se desea comprender esta particularidad.

ÓXIDOS DE NITRÓGENO

1. El dióxido de nitrógeno predomina sobre el monóxido en todas las estaciones a excepción de una de las de tipo industrial situada en Jinámar: Néstor Álamo lo que viene a reflejar la particularidad de esta zona de Gran Canaria.
2. La única estación que no ha cumplido con la Directiva Europea 2008/50 relativa al dióxido de nitrógeno fue la de Pedro Lezcano, también situada en Jinámar, en donde se registraron 21 superaciones horarias ($\geq 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) adicionales a las 18 permitidas.
3. Se realizó un estudio de retrotrayectorias los días en que se registraron las 39 superaciones horarias, observándose claramente la influencia de las emisiones procedentes del complejo central térmica-potabilizadora. Esta influencia parece

corroborada por los bajos ratios NO_2/NO_x determinados en las estaciones de Néstor Álamo y de Jinámar.

4. El análisis de la evolución horaria de NO y NO_2 en las estaciones urbanas de tráfico ha revelado que este es el responsable de una gran proporción de los óxidos presentes en dichos ambientes.
5. El análisis de factores realizado (sobre el conjunto de contaminantes y de variables meteorológicas) en una de las estaciones situadas en Jinámar ha revelado una asociación importante de los óxidos con la radiación y reflejado cierta participación del dióxido de azufre, que lleva a pensar en una fuente emisora común, máxime si dicho análisis revela que son los vientos flojos procedentes de la zona donde se sitúa el complejo central térmica-potabilizadora lo que afectan positivamente a los registros observados.
6. Otro análisis de factores, realizado esta vez en una estación urbana de tráfico relaciona en la misma dichos óxidos aparte de con la radiación (al igual que en la estación industrial), con la humedad relativa pero con signo contrario indicando que en estas zonas un alto porcentaje de la misma favorece la formación de algunas reacciones que consumen NO_2 .
7. En la estación situada en Arrecife, representativa de las otras dos islas de la provincia, los óxidos de nitrógeno además de con la radiación solar se relacionan también con el dióxido de azufre. Ello se debe a que en esta estación, debido a su localización, existe un impacto más acusado de las emisiones procedentes de la central termoeléctrica de Lanzarote.
8. En las estaciones de fondo urbana, (de las que se ha escogido la de Playa del Inglés para el estudio), se encuentra una menor importancia de los óxidos de nitrógeno sobre los niveles de contaminación detectados, tal como muestra la matriz de factores obtenida. La radiación sigue demostrando su importancia posiblemente por su participación en el ciclo fotoquímico de los óxidos.

DIÓXIDO DE AZUFRE

1. El número de excedencias horarias y diarias recogida por la Directiva Europea 2008/50, no son superadas en ningún caso y las presentadas aparecen en las estaciones industriales: Jinámar III (8 horarias, 2007) y Pedro Lezcano (14 horarias y 2 diarias).
2. Los niveles de SO_2 más elevados se dan en las estaciones industriales del valle de Jinámar debido a la influencia de la central termoeléctrica situada en la zona. La influencia ejercida por este tipo de centrales aparece corroborada por los análisis de factores realizados en dos estaciones (Jinámar y Arrecife) situadas en las inmediaciones de las mismas

3. Las estaciones influenciadas por el tráfico rodado, presentan concentraciones bajas ($7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Mercado Central), lo que constituye un claro indicador del poco peso que tiene el tráfico rodado sobre este contaminante.
4. En este tipo de estaciones (de tráfico) se ha encontrado (análisis de factores) cierta relación entre el SO_2 y la PM_{10} . Posiblemente se deba a la existencia de cierta participación de reacciones de neutralización entre dióxido de azufre y partículas finas de CaCO_3 presentes en la atmósfera.

OZONO

1. No se ha superado en ninguna de las dos estaciones de medición el número máximo de episodios, 25, que marca la Directiva Europea 2008/50. Mercado Central no presenta excedencias y Néstor Álamo tiene 14, y han sido en 2006.
2. Las concentraciones medias anuales son dos veces más altas en esta última estación ($44,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) que en la situada en la capital de Gran Canaria.
3. Analizada la evolución horaria de este contaminante se ha hallado un patrón diferente en las dos estaciones. Así, en la situada en Las Palmas de Gran Canaria las concentraciones de ozono son máximas al mediodía, cuando la actividad solar es máxima y la atmósfera está cargada de hidrocarburos, mientras que en Jinámar esto sucede en horas de madrugada. Posiblemente los menores valores diarios registrados en Jinámar se deban a que parte del ozono oxida al SO_2 .
4. Un análisis de factores, realizado utilizando como variables los contaminantes estudiados y diferentes parámetros meteorológicos, ha revelado la existencia de una asociación importante entre ozono y temperatura, que se ha podido explicar de forma teórica en esta memoria.
5. Se ha encontrado que en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria, existe el denominado efecto fin de semana, presentándose los domingos (con independencia de la hora del día) los mayores registros de ozono, siendo la atmósfera de tipo NO_x sensible, es decir que una disminución de los niveles de NO_x viene acompañada por un aumento en los de O_3 .
6. Con el fin de cuantificar el porcentaje de variación entre los domingos y los días centrales de la semana (martes-jueves), se realizó un estudio de correlación entre las concentraciones de ozono en los períodos otoño-invierno y primavera-verano, encontrándose que (en Las Palmas GC) en otoño-invierno los domingos son un 40 % superior, y en primavera-verano un 30 %.
7. En Néstor Álamo, el efecto fin de semana, se manifiesta de forma parecida a Mercado Central, pero con menos intensidad. Los niveles de O_3 , los domingos, presentan una concentración un 13 % superior a la de los lunes-viernes.

CONCLUSIÓN FINAL

La calidad del aire de la provincia de Las Palmas, con respecto a los contaminantes estudiados, cumple en un altísimo porcentaje con la Directiva Europea 2008/50. La única fuente importante de contaminación atmosférica aparte del tráfico rodado parecen ser las centrales termoeléctricas. Debería hacerse un esfuerzo por mejorar la calidad de aire en el valle de Jinámar, sobre todo, en lo relativo al NO₂, contaminante que supera el máximo de excedencias horarias permitidas; su disminución pasaría por una mejora en las técnicas de control de este tipo de emisiones del complejo central termoeléctrica-potabilizadora. En las islas de Fuerteventura y Lanzarote, estas centrales termoeléctricas han quedado, prácticamente, dentro de la zona urbana perteneciente a las capitales de cada isla, por lo que sus emisiones afectan a la población. Su cambio de ubicación redundaría en una mejora de la calidad del aire ambiente.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

BIBLIOGRAFÍA CITADA

A

Alonso-Pérez, S., Cuevas, E., Querol, X., Viana, M., & Guerra, J. (2007). Impact of the Saharan dust outbreaks on the ambient levels of total suspended particles (TSP) in the marine boundary layer (MBL) of the Subtropical Eastern North Atlantic Ocean. *Atmospheric Environment*, *41*, 9468-9480.

Alvim-Ferraz, M., Sousa, S., Pereira, M., & Martins, F. (2006). Contribution of anthropogenic pollutants to the increase of tropospheric ozone levels in the Oporto Metropolitan Area, Portugal, since the 19TH century. *Environmental Pollution*, *140* (3), 516-524.

B

Berger, A., Melice, J., & Demuth, C. (1982). Statistical distributions of daily and high atmospheric SO₂ concentrations. *Atmospheric Environment*, *16* (12), 2863-2877.

Bhanarkar, A., Goyal, S., Sivacoumar, R., & Chalapati Rao, C. (2005). Assessment of contribution of SO₂ and NO₂ from different sources in Jamshedpur region, India. *Atmospheric Environment*, *39* (40), 7745-7760.

Blanchard, C., & Tanenbaum, S. (2003). Differences between weekday and weekend air pollutant levels in southern California. *Journal Air Waste Management Association* *53*, 816-828.

Blier, W., & Winer, A. (s.f.). Analysis of weekday/weekend differences in ambient air quality and meteorology in the South Coast Air Basin, Final Report; Contract N°95-334. California Air Resources Board, Sacramento CA.

Bond, M. (1996). Dirty ships evade acid rain controls. *New Scientist*, 4,22 June.

Brook, R., & al., e. (2004). Air pollution and cardiovascular diseases (AHA scientific statement). *Circulation*, 2655-2671.

Bustos, J., Cuevas, E., Marrero, E., & Alonso, S. (1998). Caracterización de las masas de aire en la troposfera y en la capa de mezcla en Canarias. *IX Asamblea Geodesia y Geofísica*, (págs. 9-13). Aguadulce (Almería).

C

Calvert J.G., A. W., & Stockwell, W. R. (1984). *Mechanism and rates of the gas-phase oxidations of sulfur dioxide and nitrogen oxides in the atmosphere*. Boston: Calvert, J.G.

Capaldo, K., Cobertt, J., Kasibhatla, P., Fishbeck, P., & Pandis, S. (1999). Effect of chip emissions on sulphur cycling radioactive climate forcing over the ocean. *Natura* , 400, 743-746.

Carslaw, D. C., & Beevers, S. D. (2005). Estimations of road vehicle primary NO₂ exhaust emission fractions using monitoring data in London. *Atmospheric Environment* , 39, 167-177.

Carslaw, D. C., & Beevers, S. D. (2004). Investigating the potential importance of primary NO₂ emissions in a street canyon. *Atmospheric Environment* , 38, 3585-3594.

Castleman Jr., A. W., Davis, R. E., Munkelwitz, H. R., Tang, I. N., & Wood, W. P. (1975). Kinetics of association reactions pertaining to H₂SO₄ aerosol formation. *International Journal Chemical Kinetics Symposium 1*, 629-640.

Chan, L., Liu, H., K.S., L., Wang, T., Harris, J., & S.J., O. (1998). Analysis of the seasonal behaviour of tropospheric ozone at Hong Kong. *Atmospheric Environment* , 32, 159-168.

Chan, Y., Simpsons, R., Mactainsh, G., Vowles, P., Cohen, D., & Bailey, G. (1997). Characterization of chemical species in PM_{2.5} and PM₁₀ aerosols in Brisbane, Australia. *Atmospheric Environment* , 31, 3773-3785.

Chiapello, I., Bergametti, G., & Chatenet, B. (1997). Origins of African dust transported over the northeastern tropical Atlantic. *Journal of Geophysical Research* , 102 (D12), 13701-13709.

Chiapello, I., Bergametti, G., Gomez, L., & Chatenet, B. (1995). An additional low layer transport of Sahelian and Saharan dust over the North-Eastern Tropical Atlantic. *Journal of Geophysical Research* , 22 (23), 3191-3194.

D

D'Almeida, G., & Koepke, P. (1986). Space and time distribution of tropospheric aerosol optical properties. *Journal of Aerosol Science* , 17 (3), 249-253.

Delfino, R., Staimer, N., Gillen, D., Tjoa, T., Sioutas, C., Fung, K., y otros. (2006). Personal and ambient air pollution is associated with increased exhaled nitric oxide in children with asthma. *Environment Health Perspective* , 114, 1736-1743.

Delfino, R., Zeiger, R., Seltzer, J., Street, D., & McLaren, C. (2002). Association of asthma symptoms with peak particulate air pollution and effect modification by anti-inflammatory medication use. *Environment Health Perspect* , 110, A610-A617.

Dockery, D., Pope, C., & Xu, X. E. (1993). An association between air pollution and mortality in six cities. *New England Journal of Medicine* , 329, 1753-1759.

Dorta Antequera, P. (1996). Las inversiones térmicas en Canarias. *Investigaciones Científicas* , 15, 109-124.

E

Environmental Science Published for Every Body Round The Earth, Encyclopedia, (2004). <http://espero.mpch-mainz.mpg.de/documents/pdf>. Recuperado el 08 de 05 de 2007

Escudero, M., Querol, X., Pey, J., Alastuey, A., Pérez, N., Ferreira, F. (2007). A methodology for the quantification of the net African dust load in air quality monitoring networks. *Atmospheric Environment* , 41, 5516-5524.

España. LEY 34/2007, de 15 de Noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera. *Boletín Oficial del Estado*, 16 de Noviembre de 2007 (275), 46962-46987.

EU. (s.f.). Directiva 1999/30/CE DEL CONSEJO, de 22 de Abril de 1999, relativa a los valores límites de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 29 de Junio de 1999 , L163/41-L163/60.

EU. (s.f.). Directiva 2000/69/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 16 de Noviembre de 2000 sobre los valores límite para el benceno y el monóxido de carbono en el aire ambiente. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, trece de diciembre de 2000 , L 313/12-L 313/21.

EU. (s.f.). Directiva 2002/3/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 12 de febrero de 2002 relativa a ozono en el aire ambiente. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, nueve de marzo de 2002 , L 67/14-L 67/30.

EU. (s.f.). Directiva 2004/107/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 15 de diciembre de 2004 relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos policíclicos en el aire ambiente. *Diario Oficial de la Unión Europea*, veintiséis de enero de 2005 , L 23/3-L 23/16.

EU. (s.f.). Directiva 2008/50/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. *Diario Oficial de la Unión Europea*, once de Junio de 2008 , L 153/1-L 153/43.

EU. (s.f.). Directiva 96/61/CE DEL CONSEJO de 24 de septiembre de 1996 relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas, diez de Octubre de 1996* , L 257/26-L 257/40.

EU. (s.f.). Directiva 96/62/CE DEL CONSEJO de 27 de septiembre de 1996 sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente. *Diario Oficial de las Comiunidades Europeas, 21 de Noviembre de 1996* , L296/55-L296/63.

F

Finlayson-Pitts, B. J., & Pitts Jr, J. N. (1997). Tropospheric air pollution: ozone, airborne toxics, polycyclic aromatic hydro-carbons and particles. *Science* , 276.

Font, I. (1956). *El tiempo atmosférico en las Islas Canarias*. Ed. Servicio Nacional de Meteorología.

Fujita, E., Stockwell, W., Campbell, D., Keislar, R., & Lawson, D. (2003). Evolution of the magnitude and spatial extend of the weekend ozone effect in California's south coast air basin. *Journal Air Waste Management Association* , 53, 802-815.

G

Guerra, J., Rodríguez, S., Arencibia, M.-T., & García, M.-D. (2004). Study on the formation and transport of ozone in relation to the air quality management and vegetation protection in Tenerife (Canary Island). *Chemosphere* , 56, 1157-1167.

H

Harrison, R., Stedman, J., & Derwert, D. (2008). New directions: why are PM₁₀ concentrations in Europe not falling? *Atmospheric Science Perspectives Special Series*, 42, 603-606.

Herman, J., Bhartia, P., Torres, O., Hsu, O., Seftor, C., & Celarier, E. (1997). Global distribution of UV-absorbing from Nimbus 7/TOMS data. *Journal of Geophysical Research*, 102, 16911-16922.

Hoek, G., Brunekreef, B., Goldbohm, S., Fisher, P., & van den Brandt, P. (2002). Association between mortality and indicators of traffic related air pollution in Netherlands: a cohort study. *Lancet* , 360, 1203-1209.

HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrate Trajectory). Website (http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT_info.php)

I

Isakson, J., Persson, T., & Selin Lindggen, E. (2000). Identification and assessment of chip emissions and their effects in the harbour of Göteborg, Sweden. *Atmospheric Environment*, 35, 3659-3666.

J

Jenkin, M. E. (2004). Analysis of sources and partitioning of oxidant in the UK. Part 2: Contributions of nitrogen dioxide emissions and background ozone at a kerbside location in London. *Atmospheric Environment*, 38 (30), 5131-5138.

K

Kallos, G., Kotronic, V., & Lagouvardos, K. (1997). *The regional weather forecasting system SKIRON: an overview*. Proceedings of Symposium on regional weather prediction on parallel computer environments, Universidad of Athens, Grecia.

Karlsson, L., Hernández, f., Rodríguez, S., López-Pérez, M., Hernández-Armas, J., Alonso-Pérez, S. (2008). Using ¹³⁷Cs and ⁴⁰K to identify natural Saharan dust contributions to PM₁₀ concentrations and air quality impairment in the Canary Islands. *Atmospheric Environment*, 42, 7034-7042.

Khoder, M. I. (2002). Atmospheric conversion of sulfur dioxide to particulate sulfate and nitrogen dioxide to particulate nitrate and gaseous nitric acid in an urban area. *Chemosphere*, 49, 675-684.

Kley, D., Kleinmann, M., Sanderman, H., & Krupa, S. (1999). Photochemical oxidants: state of the science. *Environmental Pollution*, 100, 19-42.

Künzli, N., Kaier, R., Medina, S., Studnicka, M., Chanel, O., Filliger, P., y otros. (2000). Public health impact outdoor and traffic related air pollution: a European assessment. *The Lancet*, 356, 795-801.

L

Lamki, T., Hoek, G., Timonen, K., Peters, A., Tiittanen, P., Vaininen, E., y otros. (2008). Hourly variation in fine particle exposure is associated with transiently increased risk of ST segment depression. *Occupational Environmental Medicine*, 65, 782-786.

Larrieu, S., Jusot, J., Prouvost, H., Declerq, C., Fabre, P., Pascal, L., y otros. (2007). Short terms effects of air pollution on hospitalizations for cardiovascular diseases in eight French cities: The PSAS program. *Science of the Total Environment*, 387, 105-112.

Leeuw, G., Moerman, M., De Jong, A., & Zeisse, C. (2000). Effect of aerosols on coastal transmission. *Journal of Aerosol Science* , 31, 727-728.

Lonati, G., Giugliano, M., & Cernuschi, S. (2006). The role of traffic emissions from weekend and weekday fine PM data in Milan. *Atmospheric Environment* , 40 (31), 5998-6011.

Lu, H. (2002). The statistical character of PM₁₀ concentration in Taiwan area. *Atmospheric Environment* , 36, 491-502.

Lu, H., & Fang, G. (2003). Predicting the exceedances of a critical PM₁₀ concentration a case study in Taiwan. *Atmospheric Environment* , 37, 3491-3499.

M

Marr, L., & Harley, R. (2002). Spectral analysis o weekday-weekend differences in ambient ozone, nitrogen oxide, and non-methane hydrocarbon time series en California. *Atmospheric Environment* , 36 (14), 2327-2335.

Matsumoto, K., Naggo, I., Tanaka, H., Miyaji, H., & Iida, K. (1998). Seasonal characteristics of organic and inorganic species and their size distributions in atmospheric aerosols over the northwest Pacific Ocean. *Atmospheric Environment* , 32 (11), 1931-1946.

Mijic, Z., Tasic, M., Rajsic, S., & Novakovic, V. (2009). The statistical characters of PM₁₀ in Belgrade area. *Atmospheric Research* , 92 (4), 420-426.

Moreno, T., Querol, X., Alastuey, A., García do Santo, S., & Gibbons, W. (2006). Controlling influences on daily fluctuations of inhalable particles and gas concentrations: Local versus regional and exotic atmospheric pollutants at Puertollano, Spain. *Atmospheric Environment* , 40, 3207-3218.

O

Orozco Barrenetxea, C., Pérez Serrano, A., González Delgado, M., Rodríguez Vidal, F. J., & Alfayate Blanco, J. (2003). *Contaminación Ambiental: Una visión desde la química* (3ª ed.). Thompson.

P

Pandey, S. K., Kim, K. H., Chung, S. C., Cho, S. J., Kim, M. Y., & Shon, Z. H. (2008). Long term study of NO_x behavior at urban roadside and background locations in Seoul, Korea. *Atmospheric Environment* , 42, 807-622.

Peace, H., Owen, B., & Raper, D. (2004). Identifying the contribution of different urban highway air pollution sources. *Science of The Total Environment* , 347-357.

Persinger, R. L., Poynter, M. E., Ckless, K., & Jansen-Heininger, Y. M. (2002). Molecular mechanisms of nitrogen dioxide induced epithelial injury in the lung. *Molecular and Cellular Biochemistry* , 234-235, 71-80.

Pope, C., Thum, M., Namboodiri, N., Dockery, D., Evans, J., Speizer, F., y otros. (1995). Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *American Journal Respiratory Critical Care Medicine* , 151, 669-674.

Prospero, J., & Carlson, T. (1981). Saharan air outbreaks over the tropical North Atlantic. *Pure and Applied Geophysics* , 119, 667-691.

Pun, B., Seigneur, C., & White, W. (2003). Day-of-week behavior of atmospheric ozone in three US cities. *Journal Air Waste Management Association* , 53, 789-801.

Q

Querol, X., Alastuey, A., Escudero, M., Pey, J., & Castillo, S. (2008). *Procedimiento para identificación de episodios naturales Africanos de PM₁₀ y PM_{2,5}, y la demostración de causa en lo referente a las superaciones del valor límite diario de PM₁₀*. Instituto de Ciencias de la Tierra, CSIC, Universidad NOva de Lisboa, INM-Izaña, CIEMAT, Universidad de Huelva.

Querol, X., Alastuey, A., Rodríguez, S., Viana, M., Artiñano, B., Salvador, P., y otros. (2004). Levels of particulate matter in rural, urban and industrial sites in Spain. *Science of the Total Environment* , 359-376.

Querol, X., Alastuey, A., Viana, M., T., M., Castillo, S., Pey, J., y otros. (28 de Septiembre de 2006). Seminario. *La calidad del aire en las ciudades* . Vigo, España.

R

Reddy, M., & Venkataramen, C. (2002). Inventory of Aerosol and Sulphur Dioxide Emissions from India: I - Fossil Fuel Combustion. *Atmospheric Environment* , 36 (4), 677-697.

Riga-Karandinos, A. N., & Saitanis, C. (2005). Comparative assessment of ambient air quality in two typical Mediterranean coastal cities in Greece. *Chemosphere* , 59, 1125-1136.

Rodríguez, S. (1999). Comparación de las variaciones de ozono superficial asociadas a procesos de transporte sobre y bajo la inversión térmica subtropical en Tenerife. *Tesis de Licenciatura. Universidad de La Laguna* .

Rodríguez, S., & Guerra, J.-C. (2001). Monitoring of ozone in a marine environment in Tenerife (Canary Island). *Atmospheric Environment* , 135, 1829-1841.

Rodríguez, S., Querol, S., Alastuey, A., Kallos, G., & Kakaliagou, O. (2001). Saharan dust contributions to PM₁₀ and TSP levels in Southern and Eastern Spain. *Atmospheric Environment*, 35, 2433-2447.

S

Seaton, A., MacNee, W., Donaldson, K., & Godden, D. (1995). Particulate air pollution and acute health effects. *Lancet*, 345, 176-178.

Shen, g., Suto, M., & Lee, L. (1990). Reaction rate constant of SO₃+NH₃, in the gas phase. *Journal Geophysical Research*, 95 (D9), 13981-13984.

Sillman, S. (1999). *Overview: Tropospheric ozone, smog and ozone-NO_x-VOC Sensitivity*. Obtenido de <http://www-personal.engin.umich.edu/~sillman>.

So, K., & Wang, T. (2003). On the local and regional influence on ground-level ozone concentrations in Hong Kong. *Environment Pollution*, 123, 307-317.

T

Toon, G., Kasting, J., Turco, R., & Liu, M. (1987). The sulfur cycle in the marine atmosphere. *Journal Geophysical Research*, 92, 943-963.

Torres, C., Cuevas, E., Guerra, J., & Carreño, V. (20-23 de Noviembre de 2001). Caracterización de las Masas de Aire en la Región Subtropical. *Proceedings from V Symposium Nacional de Predicción, Instituto Nacional de Meteorología*, Madrid.

V

Vandeale, A., Tsouli, A., Carleer, M., & Colin, R. (2002). UV Fourier transform measurements of tropospheric O₃, NO₂, SO₂, benzene and toluene. *Environmental Pollution*, 116, 193-201.

Vera Castellano, A., López Cancio, J., & Corujo Jiménez, J. (1997). Selección de algunas variables meteorológicas necesarias para crear modelos de predicción del NO₂ troposférico en Jinámar. *Anales de Física*, 93, 23-30.

Viaggiato, A., & Arnold, F. (1983). Stratospheric sulfuric acid vapor: new and updated measurements. *Journal Geophysical Research*, 88, 1457-1462.

Viana, M. (2003). *Niveles, composición y origen del material particulado atmosférico en los sectores Norte y Este de la península Ibérica y Canarias*. Tesis Doctoral.

Viana, M., Querol, X., Alastuey, A., Cuevas, E., & Rodríguez, S. (2002). Influence of African dust on the levels of atmospheric particulates in the Canary Islands air quality network. *Atmospheric Environment*, 36, 5861-5875.

W

Wang, X., Jin, Y., Suto, M., & Lee, L. (1988). Rate constant of the gas phase reaction of SO₃ with H₂O. *Journal Chemical Physical* , 89, 4853-4860.

Z

Zabalza, J., Ogulei, D., Elustondo, D., Santamaría, J., Alastuey, a., Querol, X., y otros. (2007). Study of urban atmospheric pollution in Navarre (Northern Spain). *Environment Monitoring Assessment* , 134, 137-151.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

A

A. Abu-Jrai, J. R.-F. (2009). Performance, combustion and emissions of a diesel engine operated with reformed EGR. Comparison of diesel and GTL fuelling. *Fuel*, 88, 1031-1041.

A. B. Chelani, S. D. (2005). Impact of change in fuel quality on PM₁₀ in Delhi. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 75, 600-607.

Abdul-Wahab, S., & Al-Alawi, S. (2002). Assessment and prediction of tropospheric ozone concentration levels using artificial neural networks. *Environment Modelling & Software*, 17, 219-228.

Alastuey, A., Querol, X., Castillo, S., Escudero, M., Avila, A., Cuevas, E., y otros. (2005). Characterization of TSP and PM_{2.5} at Izaña and Sta. Cruz de Tenerife (Canary island, Spain) during a Saharan dust episode (July 2002). *Atmospheric Environment*, 39, 4715-4728.

Alkezweeny, A., & Powell, D. (1997). Estimation of transformation rate of SO₂ to SO₄, from atmospheric concentration data. *Atmospheric Environment*, 11, 1079-182.

Amanda Scoggings, G. F. (2002). Air pollution exposure index for New Zealand. *New Zealand Geographer*, 58, 56-64.

Amish P. Vyas, N. S. (2009). Production of biodiesel through transesterification of Jatropha oil using KNO₃/Al₂O₃ solid catalyst. *Fuel*, 88, 625-628.

B

Breeding, R., Klonis, H., Lodge, J., Pate, J., Sheesley, D., Englert, T., y otros. (1976). Measurements of atmospheric pollutants in the St. Louis Area. *Atmospheric Environment*, 10, 181-194.

Brunekreef, A., & Holgate, S. (2002). Air pollution and health. *Lancet*, 360, 1233-1242.

C

Chang, S.-C., & Lee, C.-T. (2008). Evaluation of the temporal variations of air quality in Taipei City, Taiwan, from 1994 to 2003. *Journal of Environment Management*, 86, 627-635.

Charlie S. Bristow, N. D. (2009). Deflation in the dustiest place on Earth: The Bodélé Depression, Chad. *Geomorphology*, 105, 50-58.

Chow, J., Watson, J., Lowenthal, D., & Countess, R. (1996). Source and chemistry of PM₁₀ aerosol in Santa Barbara County, CA. *Atmospheric Environment*, *30*, 1489-1499.

Christer Johansson, M. N. (2007). Spatial & temporal variations of PM₁₀ and particle number. *Environmental Monitoring and Assessment*, *27*, 477-487.

Clara Novoa, R. S. (2009). An approximate dynamic programming approach for the vehicle routing problem with stochastic demands. *European Journal of Operational Research*, *196*, 509-515.

Cristofanelli, P., & Bonasoni, P. (2009). Background ozone in the southern Europe and Mediterranean area: Influence of the transport processes. *Environment Pollution*, *157*, 1399-1406.

D

Dorta-Antequera, P., Gelado-Caballero, M., Criado-Hernández, C., Cardona-Castellano, P., M.D., Collado-Sánchez, C., y otros. (2005). *Sahara air incursions and dust deposition over the Canary Island and its impact on the terrestrial and oceanic environment*. Seminary International Forum UNESCO.

Dushyant Shekhawat, D. A. (2009). Fuel constituent effects on fuel reforming properties for fuel cell applications. *Fuel*, *88*, 817-825.

E

E. Katragkou, S. K. (2009). PM₁₀ regional transport pathways in Thessaloniki, Greece. *Atmospheric Environment*, *43*, 1079-1085.

Eldering, A., & Cass, G. (1996). Source-oriented model for air pollutant effects on visibility. *Journal of Geophysical Research*, *101* (D14), 19343-19369.

Elminir, H. (2005). Dependence of urban air pollutants on meteorology. *Science of the Total Environment*, *350*, 225-237.

Esther Coz, F. J.-M. (2009). Individual particle characteristics of North African dust under different long-range transport scenarios. *Atmospheric Environment*, *43*, 1850-1863.

Esposito, F. D. (2009). Detection of Sahara dust intrusions during mixed advection patterns over south-east Italy: a case study. *Atmospheric Research*, *92*, 489-504.

F

Frank, A. D., Moussiopouos, N., Sahm, P., & Bartanova, A. (2001). Urban air quality in larger conurbations in the European Union. *Environmental Modelling & Software*, *16*, 399-414.

G

G. Jarquin-López, G. P.-V.-L. (2008). Analytical and experimental research for decreasing nitrogen oxides emissions. *Applied Thermal Engineering*, 29, 1614-1621.

Gertler, A., Lowenthal, D., & Coulombe, W. (1995). PM₁₀ Source Apportionment Study in Bullhead City, Arizona. *Journal Air and Waste Management Association*, 45, 75-82.

Gidhagen, L., Johansson, H., & Omstedt, G. (2009). SIMAIR-Evaluation tool for meeting the EU directive on air pollution limits. *Atmospheric Environment*, 43, 1029-1036.

Giorgio Zamboni, M. C. (2009). Estimation of road vehicle exhaust emissions from 1992 to 2010 and comparison with air quality measurements in Genoa, Italy. *Atmospheric Environment*, 43, 1086-1092.

Giuseppe Genon, M. F. (2008). Energy and environmental assessment of small district heating systems: Global and local effects in two case-studies. *Energy Conversion and Management*, 50, 522-529.

Gokhale, S., & Raokhande, N. (2008). Performance evaluation of air quality models for predicting PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations at urban traffic intersection during winter period. *Science of the Total Environment*, 394, 9-24.

Gupta, A., Kakoli, K., Ayoob, S., & Kuruvilla, J. (2008). Spatio-temporal characteristics of gaseous and particulate pollutants in an urban region of Kolkata, India. *Atmospheric Research*, 87, 103-115.

H

H. von Suchodoletza, D. L. (2009). Geomorphological investigations of sediment traps on Lanzarote (Canary Islands) as a key for the interpretation of a palaeoclimate archive off NW Africa. *Quaternary International*, 196, 44-56.

Harrison, R., Deacon, A., Jones, M., & Appleby, R. (1997). Source and processes affecting concentrations of PM₁₀ and PM_{2.5} particulate matter in Birmingham (U.K.). *Atmospheric Environment*, 31, 4103-4117.

Harrison, R., Smith, D., Pio, C., & Castro, L. (1997). Comparative receptor modeling study of airborne particulate pollutants in Birmingham (United Kingdom), Coimbra (Portugal) and Lahore (Pakistan). *Atmospheric Environment*, 31, 3309-3321.

Hazar, H. (2009). Effects of biodiesel on a low heat loss diesel engine. *Renewable Energy*, 34, 1533-1537.

He, K., Huo, H., & Zhang, Q. (2002). Urban air pollution in China: Current Status, Characteristics, and Progress. *Annual Review Energy Environment*, 27, 397-431.

Henry, R., Charles, W., Hopke, P., & Williamson, H. (1984). Review of receptor model fundamentals. *Atmospheric Environment*, *18*, 1507-1515.

I

I. Menéndez, J. D.-H.-S. (2007). Airborne dust accumulation and soil development in the North-East sector of Gran Canaria. *Journal of Arid Environments*, *71*, 57–81.

Ibarra-Berastegi, G., Elías, A., Barona, A., Sáenz, J., Ezcurra, A., & Díaz de Argadoña, J. (2008). Rom diagnosis to prognosis for forecasting air pollution using neural networks: Air pollution monitoring in Bilbao. *Environment Modelling & Software*, *23*, 622-637.

J

Jarkko V. Niemi, S. S. (2009). Long-range transport episodes of fine particles in southern Finland during 1999–2007. *Atmospheric Environment*, *43*, 1255-1264.

Jean-Pierre Nicolas, D. D. (2009). Passenger transport and CO₂ emissions: What does the French transport survey tell us? *Atmospheric Environment*, *43*, 1015-1020.

Jean-Yves Favez, M. W. (2009). Cold start extra emissions as a function of engine stop time: Evolution over the last 10 years. *Atmospheric Environment*, *43*, 996–1007.

Jian Gao, T. W. (2009). Measurement of aerosol number size distributions in the Yangtze River delta in China: Formation and growth of particles under polluted conditions. *Atmospheric Environment*, *43*, 829-836.

Jie Xiong, H. Z. (2009). An economic feasibility study of O₂/CO₂ recycle combustion technology based on existing coal-fired power plants in China. *Fuel*, *88*, 1135-1142.

Jie Zhang, K. H. (2009). Influence of fuel sulfur on the characterization of PM₁₀ from a diesel engine. *Fuel*, *88*, 504-510.

Johanson, C., Norman, M., & Gidhagen, L. (2007). Spatial & temporal variations of PM₁₀ and particle number concentrations in urban air. *Environment Monitoring Assessment*, *127*, 477-487.

Jülide Kahyaoglu-Koracin, S. D. (2009). Application of a scenario-based modeling system to evaluate the air quality impacts of future growth. *Atmospheric Environment*, *43*, 1021–1028.

K

Katrinak, K., Anderson, J., & Buseck, P. (1995). Individual particle types in the aerosol of Phoenix, Arizona. *Environment Science Technology*, *29*, 321-329.

Kleeman, M., & Cass, G. (1998). Source contributions to the size and composition distribution of urban particulate air pollution. *Atmospheric Environment*, 32, 2803-2816.

M

Macías, E., & Hopke, P. (1981). Atmospheric aerosol, sources air quality relationships. *ACS Symposium Series 167*. Washington D.C.: American Chemical Society.

Maitre, A., Bonnetterre, V., Huillard, L., Sabaties, P., & Guaemaris, R. (2006). Impact of urban atmospheric pollution on coronary disease. *European Heart Journal*, 27 (19), 2275-2284.

Michel André, M. R. (2009). Analysis and modelling of the pollutant emissions from European cars regarding the driving characteristics and test cycles. *Atmospheric Environment*, 43, 986-995.

Moreno, T., Lavín, J., Querol, X., Alastuey, A., Viana, M., & Gibbons, W. (2009). Controls on hourly variations in urban background air pollutant concentrations. *Atmospheric Environment*, 43 (26), 3989-3997.

Murat Karabektas, M. H. (2009). Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol–diesel fuel blends. *Renewable Energy*, 34, 1554-1559.

P

Paraskevi N. Polymenakou, M. M. (2008). Particle size distribution of airborne microorganisms and pathogens during an intense African dust event in the Eastern Mediterranean. *Environmental Health Perspectives*, 116 (3), 292-296.

Paulo A.Z. Suarez, B. R. (2009). Comparing the lubricity of biofuels obtained from pyrolysis and alcoholysis of soybean oil and their blends with petroleum diesel. *Fuel*, 88, 1143-1147.

Pío, C., Ramos, M., & Duarte, A. (1998). Atmospheric aerosol and soiling of external surfaces in an urban environment. *Atmospheric Environment*, 32, 1979-1989.

Pires, J., Sousa, S., Pereira, M., Alvim-Ferraz, & Martins, F. (2008). Management of air quality monitoring using principal component and cluster analysis-Part I: SO₂ and PM₁₀. *Atmospheric Environment*, 42, 1249-1260.

Prospero, J., & Carlson, T. N. (1980). Saharan Air Outbreaks Over the Tropical North Atlantic. *Pure and Applied Geophysics*, 119, 677-691.

Q

Querol, X., Alastuey, A., Moreno, T., Viana, M., Castillo, S., J., P., y otros. (2008). Spatial and temporal variations in airborne particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) across Spain 1999-2005. *Atmospheric Environment*, 42, 3964-3979.

R

Ram M. Shrestha, S. M. (1995). Air pollution from energy use in a developing country city: the case of Kathmandu Valley, Nepal. *Energy*, 21 (9), 785-794.

Ranjit Bahadur, G. H. (2009). Climatology of PM_{2.5} organic carbon concentrations from a review of ground-based atmospheric measurements by evolved gas analysis. *Atmospheric Environment*, 43, 1591-1602.

Rodenhausen, R. (1999). Case study: choosing selective catalytic reduction as a preferred technology for the destruction of NO_x. *Environmental Progress*, 18 (4), 260-266.

Rodríguez, S. (1999). Comparación de las variaciones de ozono superficial asociadas a procesos de transporte sobre y bajo la inversión térmica subtropical en Tenerife. *Tesis de Licenciatura. Universidad de La Laguna*.

Rodríguez, S., Cuevas, E., González, Y., Ramos, R., Romero, P. M., Pérez, N., y otros. (2008). Influence of sea breeze circulation and road traffic emissions on the relationship between particle number, black carbon, PM₁, PM_{2.5} and PM_{2.5-10} concentrations in a coastal city. *Atmospheric Environment*, 42, 6523-6534.

Rodríguez, S., Querol, S., Alastuey, A., Kallos, G., & Kakaliagou, O. (2001). Saharan dust contributions to PM₁₀ and TSP levels in Southern and Eastern Spain. *Atmospheric Environment*, 35, 2433-2447.

Ruiz-Suárez, J., Mayora-Ibarra, O., Torres-Jimenez, J., & Ruiz-Suárez, L. (1995). Short-term ozone forecasting by artificial neural networks. *Advances in Engineering Software*, 23, 143-149.

S

Saib A. Yousif, A. A. (2006). Investigation of pollutants dispersion from power stations. *International Journal of Energy Research*, 30, 1352-1362.

Seth R. Hoffman, J. A. (2009). A comparative study of n-heptane, methyl decanoate, and dimethyl ether combustion characteristics under homogeneous-charge compression-ignition engine conditions. *Fuel*, 88, 1099-1108.

Shu-Hwei Fand, H.-W. C. (1993). Air quality and pollution control in Taiwan. *Atmospheric Environment* , 30 (5), 735-741.

Sri Juari Santosa, T. O. (2008). Air pollution and urban air quality management in Indonesia. *Clean Journal* , 36, 466-475.

Stelyus L. Mkomaa, W. M. (2009). Characterization of PM₁₀ atmospheric aerosols for the wet season 2005 at two sites in East Africa. *Atmospheric Environment* , 43, 631-639.

Stern, A. (1976). Air pollution. *Academic Press* , 1.

Steven J. Dutton, J. J. (2009). PM_{2.5} characterization for time series studies: Pointwise uncertainty estimation and bulk speciation methods applied in Denver. *Atmospheric Environment* , 43, 1136-1146.

T

T. Bardají, J. G.-M. (2009). Sea level and climate changes during OIS 5e in the Western Mediterranean. *Geomorphology* , 104, 22-37.

Tony R. Walker, P. D. (2008). Multiple indicators of human impacts on the environment in the Pechora Basin, north-eastern European Russia. *Ecological indicators* , 765 – 779.

V

Van Malderen, H., Rojas, C., & Van Grieken, R. (1992). Characterization of individual giant aerosol particles above the North Sea. *Environmental Science Technology* , 26, 750-756.

Velders, G. J., & Matthijsen, J. (2009). Meteorological variability in NO₂ and PM₁₀ concentrations in the Netherlands and its relation with EU limit values. *Atmospheric Environment* , 1-9.

Vincent A. Dutkiewicz, S. A. (2009). Black carbon aerosols in urban air in South Asia. *Atmospheric Environment* , 43, 1737-1744.

W

W.H.J. Graus, E. W. (2007). Effects of SO₂ and NO_x control on energy-efficiency power generation. *Energy Policy* , 35, 3898–3908.

Wolfgang Marquardt, E. B. (2001). Trends of pollution in rain over East Germany caused by changing emissions. *Tellus* , 53-B, 529–545.

Y

Yan Xu, T. M. (2009). Local air pollutant emission reduction and ancillary carbon benefits of SO₂ control policies: Application of AIM/CGE model to China. *European Journal of Operational Research* , 198, 315–325.

Young-Soo Chang, R. L. (1998). Air quality impacts as a result of changes in energy use in China's Jiangsu province. *Atmospheric Environment* , 32 (8), 1383,1395.

Yu Zhao, S. W. (2008). Primary air pollutant emissions of coal-fired power plants in China: Current status and future prediction. *Atmospheric Environment* , 42, 8442–8452.

Z

Zamboni, G., Capobianco, M., & Daminelli, E. (2009). Estimation of road vehicle exhaust emissions from 1992 to 2010 and comparison with air quality measurements in Genoa, Italy. *Atmospheric Environment* , 43, 1086-1092.

ANEXOS

ANEXO A

GRÁFICAS NO, NO₂ Y PM₁₀ (MEDIAS HORARIAS)

ANEXO A

ÍNDICE FIGURAS

- Figura A.1: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Mercado Central (2006)
Figura A.2: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación San Agustín (2006)
Figura A.3: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Pedro Lezcano (2006)
Figura A.4: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Jinámar III (2006)
Figura A.5: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Jinámar (2006)
Figura A.6: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Néstor Álamo (2006)
Figura A.7: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Castillo del Romeral (2006)
Figura A.8: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Arinaga (2006)
Figura A.9: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Agüimes (2006)
Figura A.10: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Playa del Inglés (2006)
Figura A.11: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Sardina (2006)
Figura A.12: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Mercado Central (2007)
Figura A.13: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación San Agustín (2007)
Figura A.14: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Arrecife (2007)
Figura A.15: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Pedro Lezcano (2007)
Figura A.16: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Jinámar III (2007)
Figura A.17: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Jinámar (2007)
Figura A.18: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Néstor Álamo (2007)
Figura A.19: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Castillo del Romeral (2007)
Figura A.20: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Agüimes (2007)
Figura A.21: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Arinaga (2007)
Figura A.22: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Playa del Inglés (2007)
Figura A.23: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Sardina (2007)
Figura A.24: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Centro Juan Ismael (2007)
Figura A.25: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Parque de la Piedra (2007)
Figura A.26: Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀ Estación Costa Teguisse (2007)

ANEXO A

GRÁFICAS NO, NO₂ y PM₁₀ (Medias Horarias)

Año 2006

ESTACIONES URBANAS

Gráfico de Medias Horarias para NO, NO₂ y PM₁₀

Estación Mercado Central (Gran Canaria)

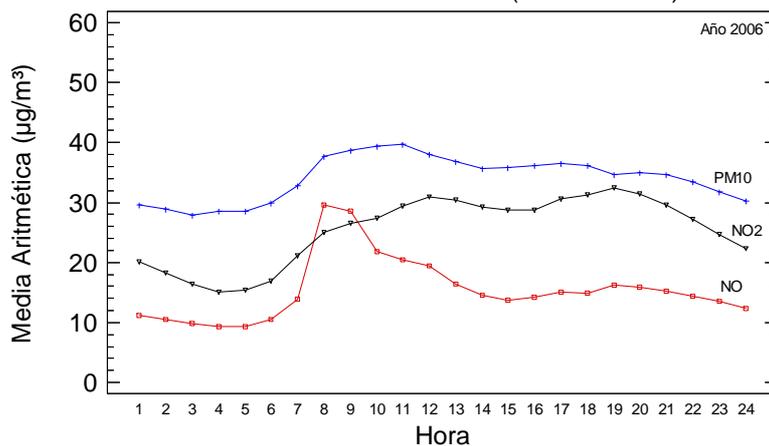


Figura A.1

Gráfico de Medias Horarias para NO, NO₂ y PM₁₀

Estación San Agustín (Gran Canaria)

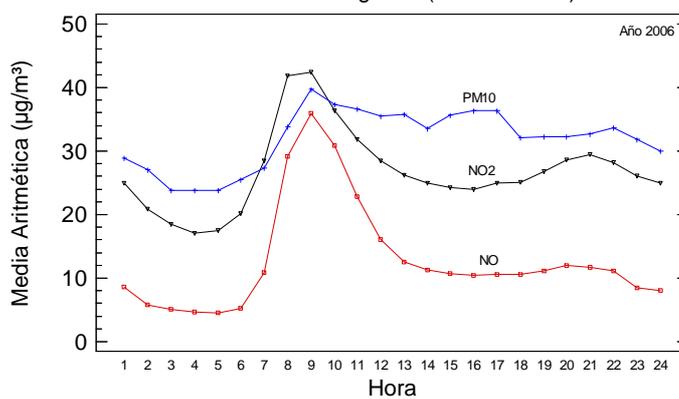


Figura A.2

ESTACIONES INDUSTRIALES

Gráfico de Medias Horarias para NO, NO₂ y PM₁₀
Estación Pedro Lezcano (Gran Canaria)

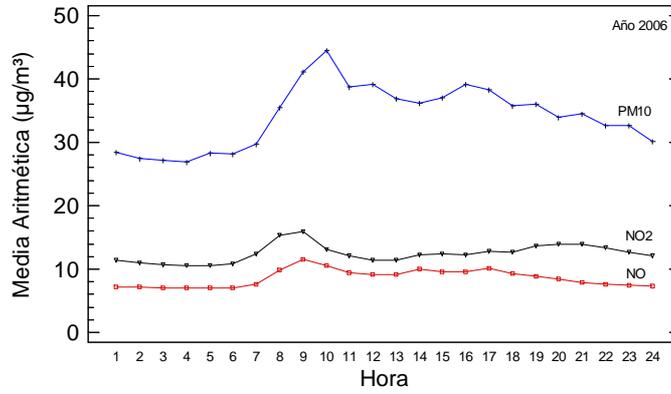


Figura A.3

Gráfico de Medias Horarias para NO, NO₂ y PM₁₀
Estación Jinámar III (Gran Canaria)

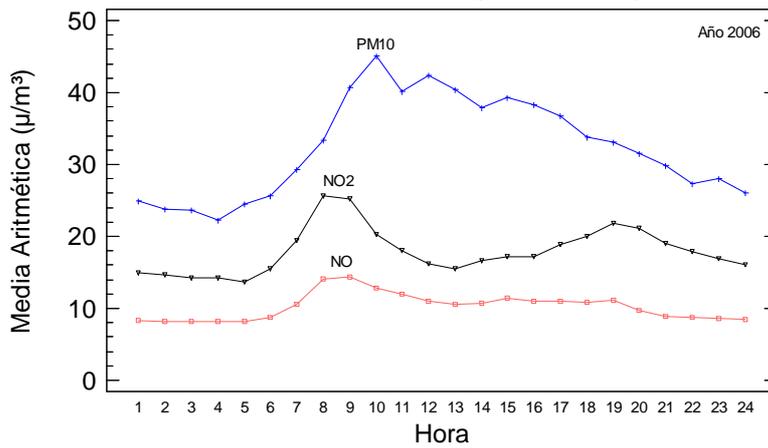


Figura A.4

Gráfico de Medias Horarias para NO, NO₂ y PM₁₀
Estación Jinámar (Gran Canaria)

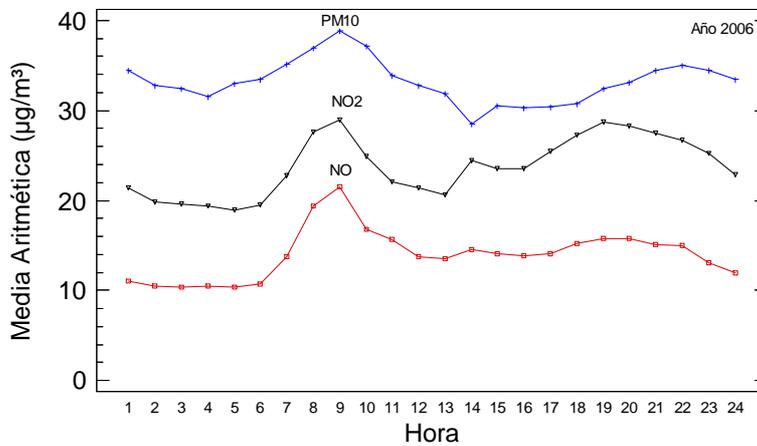


Figura A.5

Gráfico de Medias Horarias para NO, NO2 y PM10

Estación Néstor Álamo (Gran Canaria)

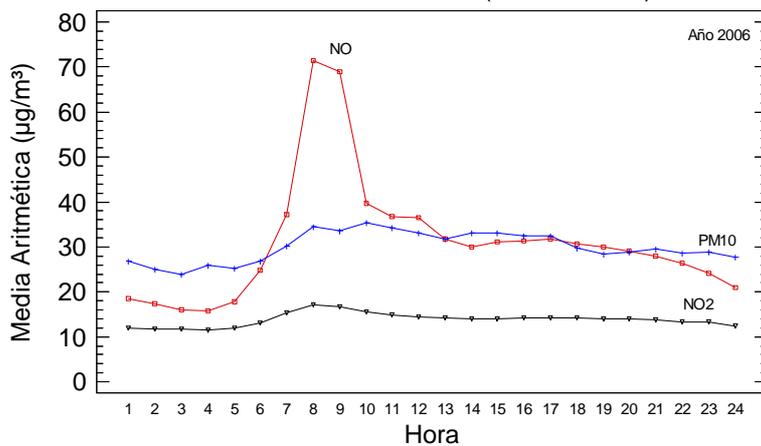


Figura A.6

Gráfico de Medias Horarias para NO, NO2 y PM10

Estación Castillo del Romeral (Gran Canaria)

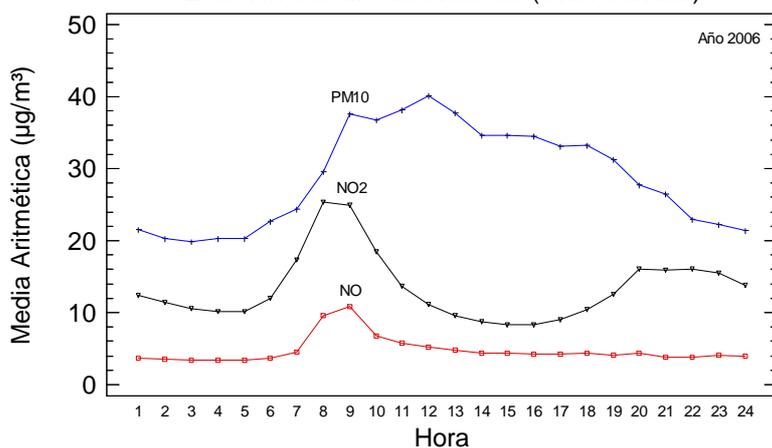


Figura A.7

ESTACIONES DE FONDO URBANAS

Gráfico de Medias Horarias para NO, NO2 y PM10

Estación Arinaga (Gran Canaria)

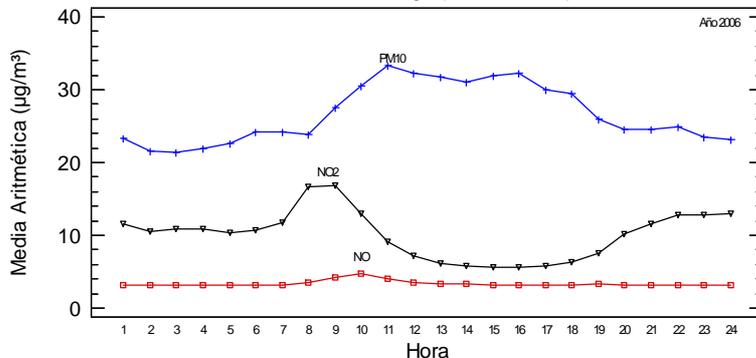


Figura A.8

Gráfico de Medias Horarias para NO, NO₂ y PM₁₀
Estación Agüimes (Gran Canaria)

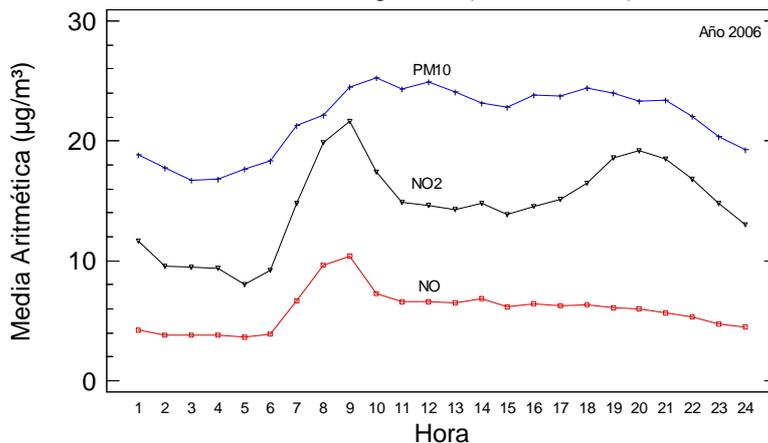


Figura A.9

Gráfico de Medias Horarias para NO, NO₂ y PM₁₀
Estación Playa del Inglés (Gran Canaria)

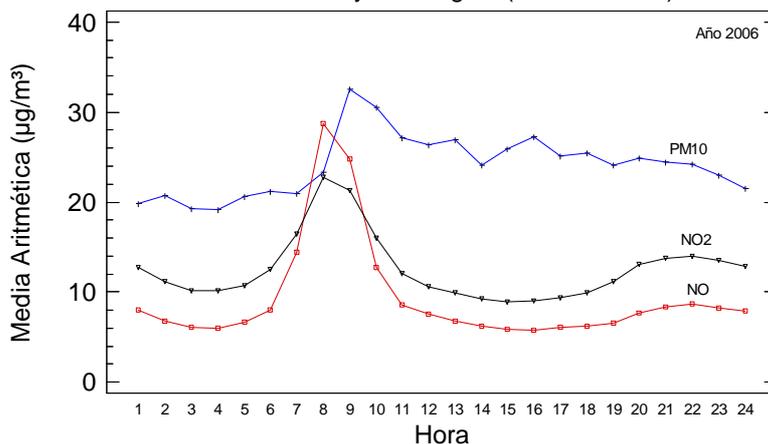


Figura A.10

Gráfico de Medias Horarias para NO, NO₂ y PM₁₀
Estación Sardina (Gran Canaria)

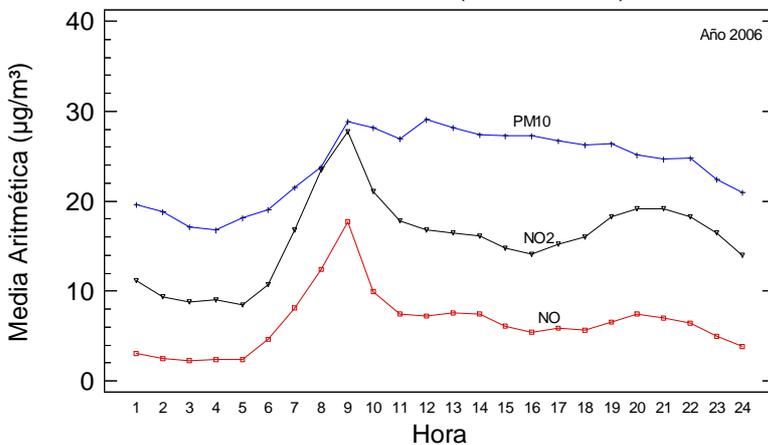


Figura A.11

Año 2007

ESTACIONES URBANAS

Gráfico de Medias Horarias para NO, NO2 y PM10

Estación Mercado Central (Gran Canaria)

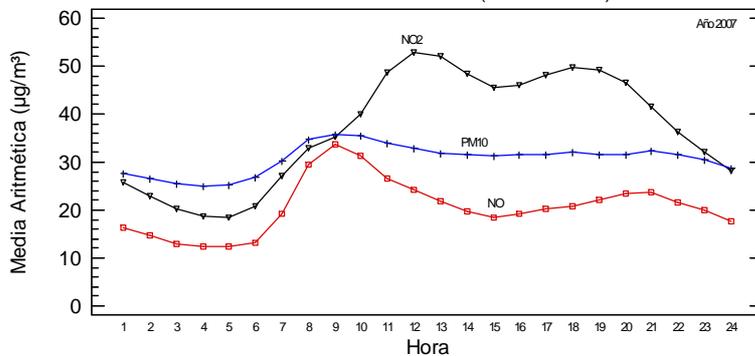


Figura A.12

Gráfico de Medias Horarias de NO, NO2 y PM10

Estación San Agustín (Gran Canaria)

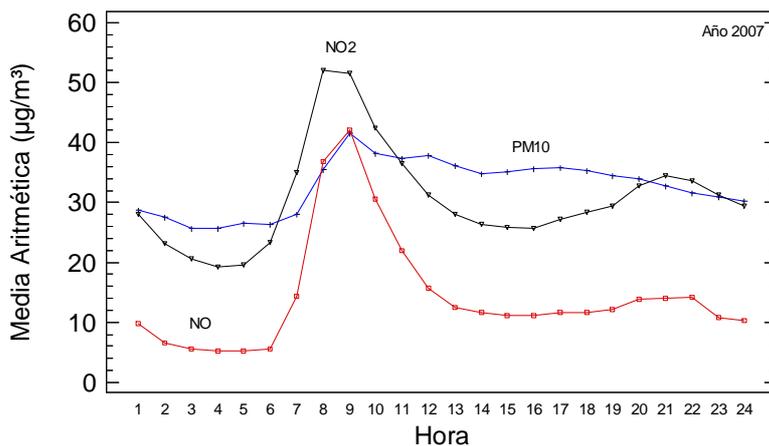


Figura A.13

Gráfico de Medias Horarias de NO, NO2 y PM10

Estación Arrecife (Lanzarote)

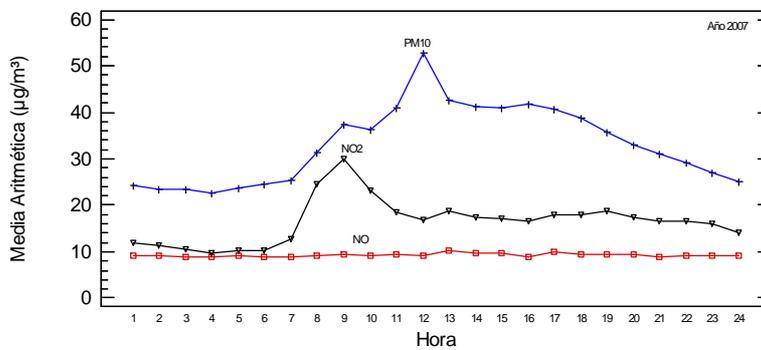


Figura A.14

ESTACIONES INDUSTRIALES

Gráfico de Medias Horarias de NO, NO₂ y PM₁₀
Estación Pedro Lezcano (Gran Canaria)

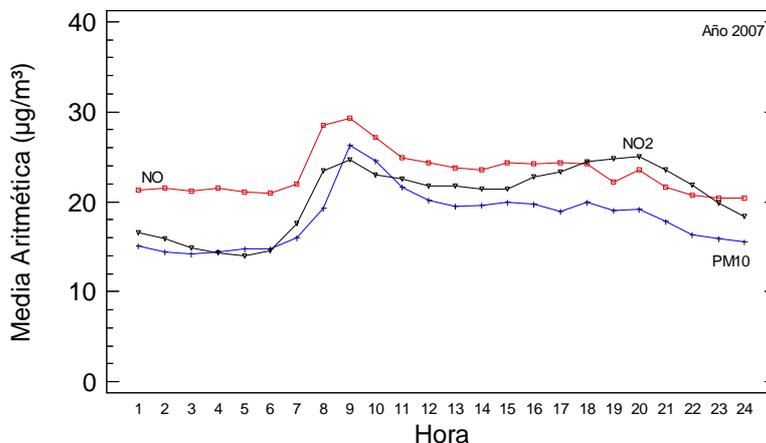


Figura A.15

Gráfico de Medias Horarias de NO, NO₂ y PM₁₀
Estación Jinámar III (Gran Canaria)

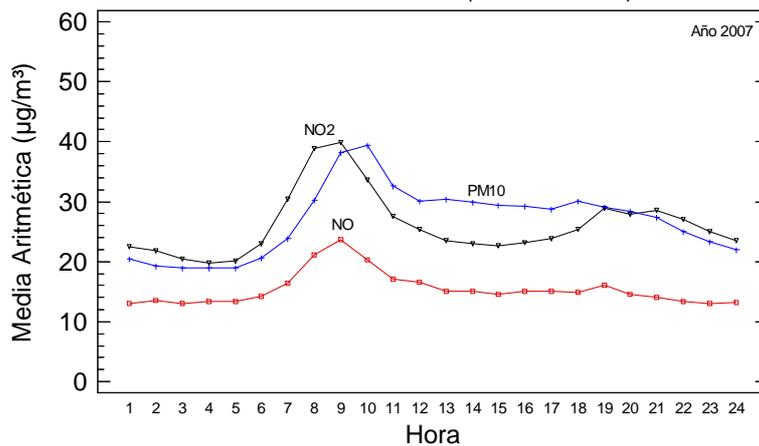


Figura A.16

Gráfico de Medias Horarias de NO, NO₂ y PM₁₀
Estación Jinámar (Gran Canaria)

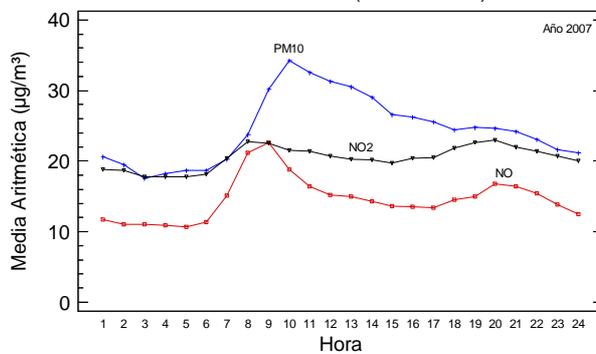


Figura A.17

Gráfico de Medias Horarias de NO, NO2 y PM10
Estación Néstor Álamo (Gran Canaria)

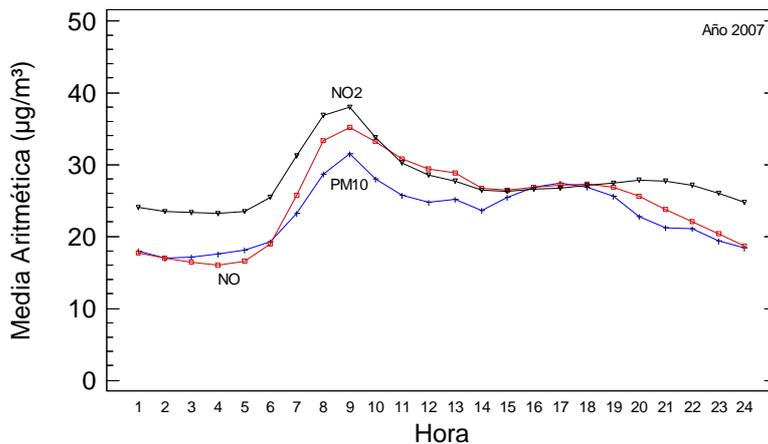


Figura A.18

Gráfico de Medias Horarias de NO, NO2 y PM10
Estación Castillo del Romeral (Gran Canaria)

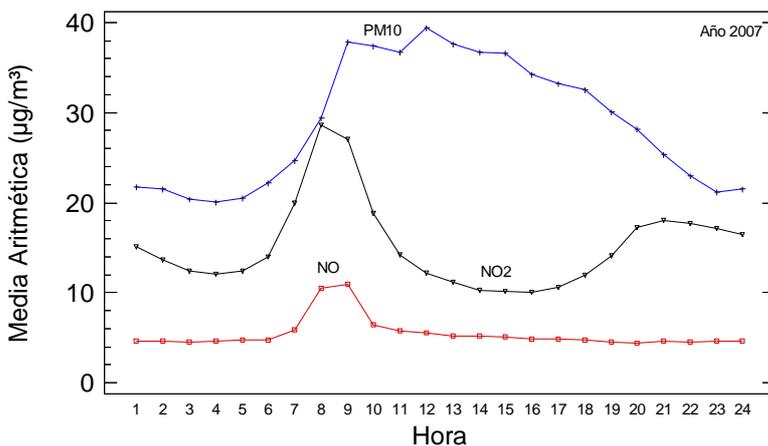


Figura A.19

ESTACIONES DE FONDO URBANAS

Gráfico de Medias Horarias de NO, NO2 y PM10
Estación Agüimes (Gran Canaria)

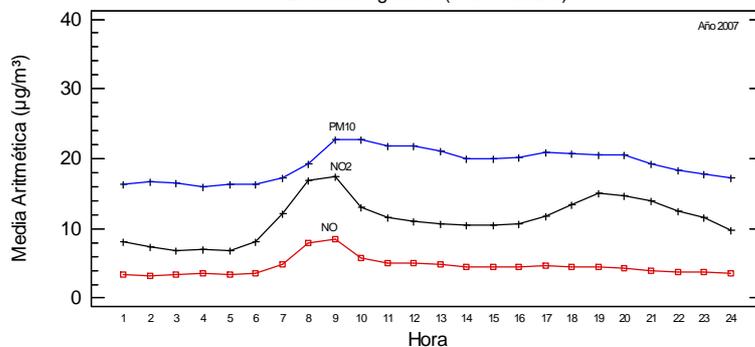


Figura A.20

Gráfico de Medias Horarias de NO, NO₂ y PM₁₀
Estación Arinaga (Gran Canaria)

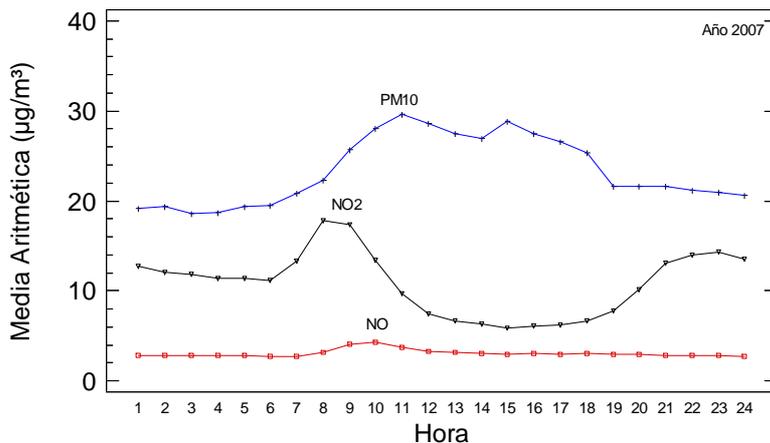


Figura A.21

Gráfico de Medias Horarias de NO, NO₂ y PM₁₀
Estación Playa del Inglés (Gran Canaria)

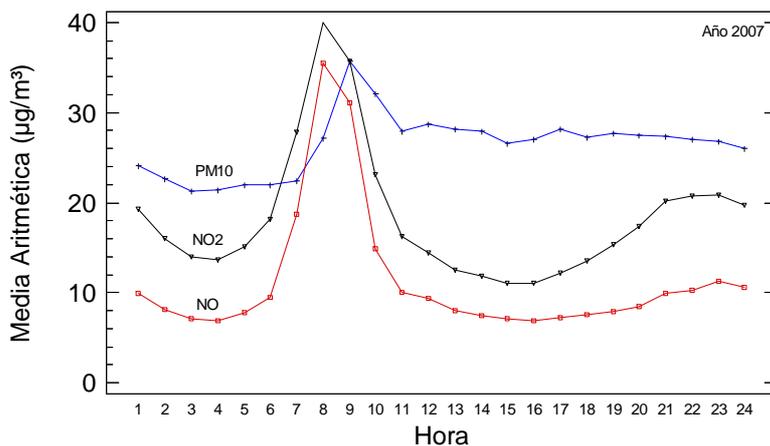


Figura A.22

Gráfico de Medias Horarias de NO, NO₂ y PM₁₀
Estación Sardina (Gran Canaria)

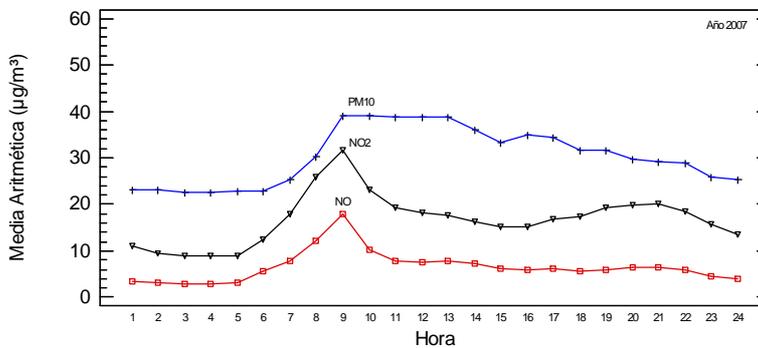


Figura A.23

Gráfico de Medias Horarias NO, NO₂ y PM₁₀
Estación Centro Juan Ismael (Fuerteventura)

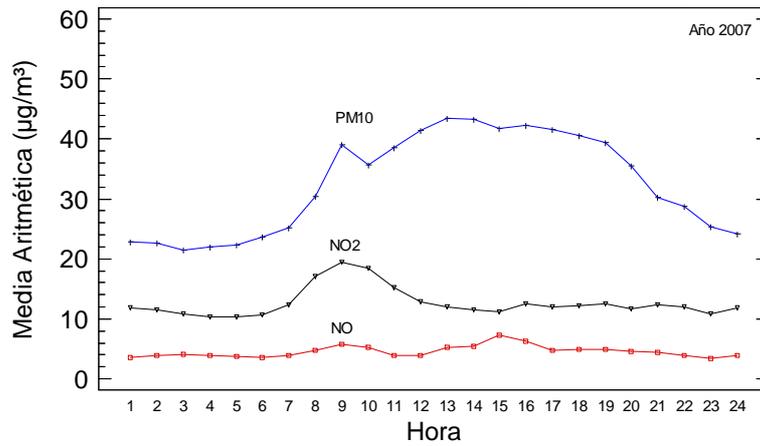


Figura A.24

Gráfico de Medias Horarias de NO, NO₂ y PM₁₀
Estación Parque de la Piedra (Fuerteventura)

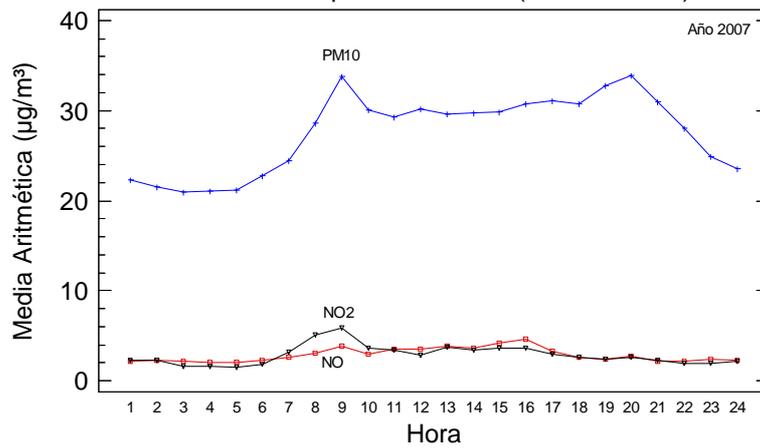


Figura A.25

Gráfico de Medias Horarias de NO, NO₂ y PM₁₀
Estación Costa Tegüise (Lanzarote)

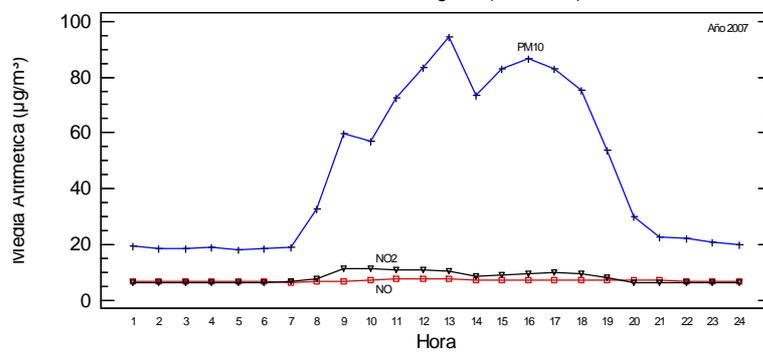


Figura A.26

ANEXO B

GRÁFICAS SO₂ ***(MEDIAS HORARIAS Y MENSUALES)***

ANEXO B

ÍNDICE FIGURAS

- Figura B.1: Medias Mensuales SO₂ Estación Mercado Central (2006)
- Figura B.2: Medias Mensuales SO₂ Estación Néstor Álamo (2006)
- Figura B.3: Medias Horarias SO₂ y O₃ Estación Mercado Central (2006)
- Figura B.4: Medias Horarias SO₂ Estación San Agustín (2006)
- Figura B.5: Medias Horarias SO₂ Estación Jinámar III (2006)
- Figura B.6: Medias Horarias SO₂ Estación Jinámar (2006)
- Figura B.7: Medias Horarias SO₂ y O₃ Estación Pedro Lezcano (2006)
- Figura B.8: Medias Horarias SO₂ Estación Néstor Álamo (2006)
- Figura B.9: Medias Horarias SO₂ Estación Castillo del Romeral (2006)
- Figura B.10: Medias Horarias SO₂ Estación Agüimes (2006)
- Figura B.11: Medias Horarias SO₂ Estación Sardina (2006)
- Figura B.12: Medias Horarias SO₂ Estación Arinaga (2006)
- Figura B.13: Medias Horarias SO₂ Estación Playa del Inglés (2006)
- Figura B.14: Medias Horarias SO₂ Mercado Central (2007)
- Figura B.15: Medias Horarias SO₂ Estación San Agustín (2007)
- Figura B.16: Medias Horarias SO₂ Estación Arrecife (2007)
- Figura B.17: Medias Horarias SO₂ Estación Pedro Lezcano (2007)
- Figura B.18: Medias Horarias SO₂ Estación Jinámar III (2007)
- Figura B.19: Medias Horarias SO₂ Estación Jinámar (2007)
- Figura B.20: Medias Horarias SO₂ Estación Néstor Álamo (2007)
- Figura B.21: Medias Horarias SO₂ Estación Castillo del Romeral (2007)
- Figura B.22: Medias Horarias SO₂ Estación Agüimes (2007)
- Figura B.23: Medias Horarias SO₂ Estación Arinaga (2007)
- Figura B.24: Medias Horarias SO₂ Estación Sardina (2007)
- Figura B.25: Medias Horarias SO₂ Estación Playa del Inglés (2007)
- Figura B.26: Medias Horarias SO₂ Centro Juan Ismael (2007)
- Figura B.27: Medias Horarias SO₂ Parque de la Piedra (2007)
- Figura B.28: Medias Horarias SO₂ Costa Teguisse (2007)

ANEXO B

GRÁFICAS SO₂ (Medias Horarias y Mensuales)

AÑO 2006

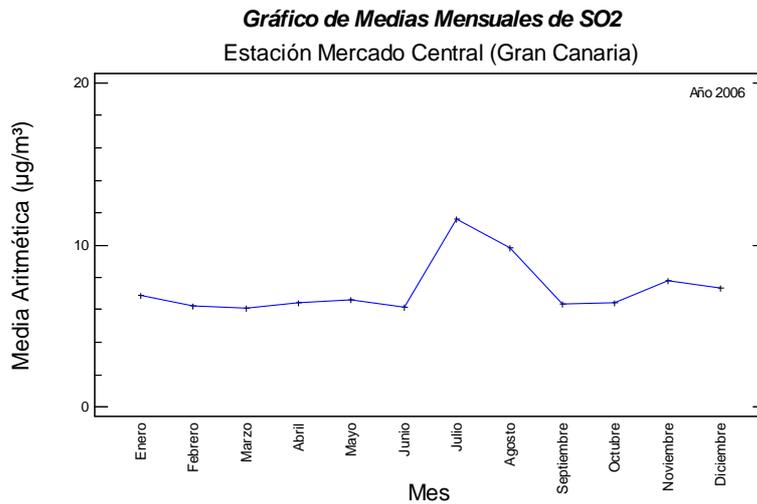


Figura B.1

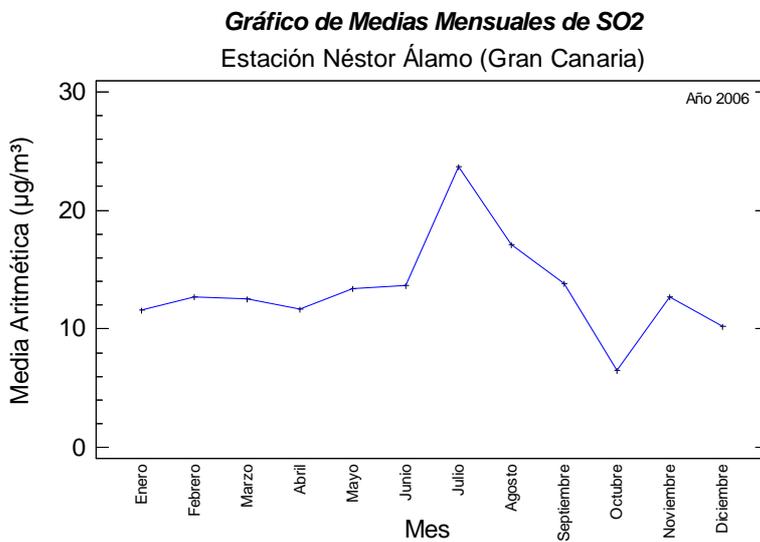


Figura B.2

Año 2006

ESTACIONES URBANAS

Gráfico de Medias para SO₂ y O₃

Estación Mercado Central (Gran Canaria)

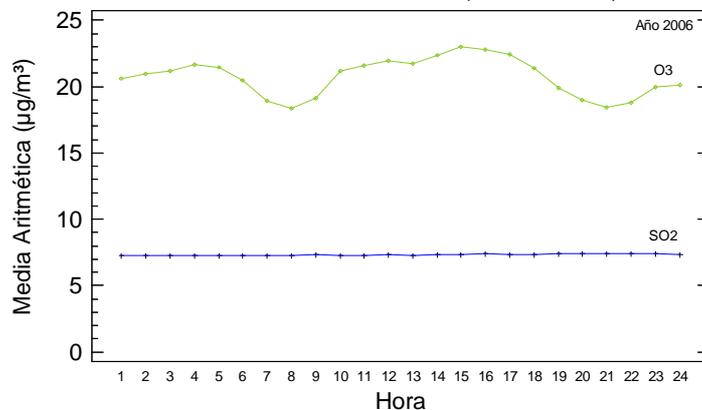


Figura B.3

Gráfico de Medias Horarias de SO₂

Estación San Agustín (Gran Canaria)

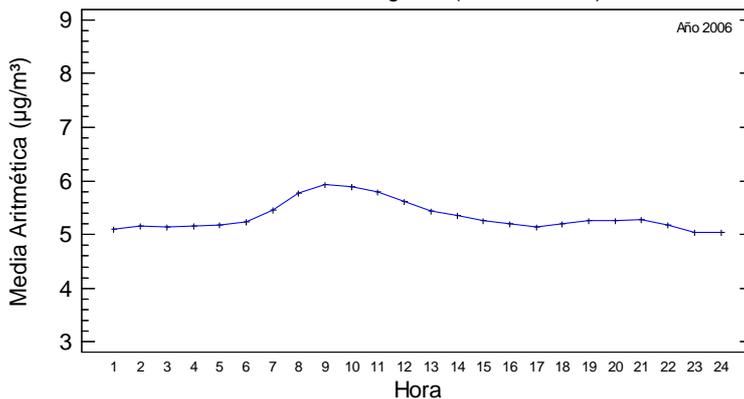


Figura B.4

ESTACIONES INDUSTRIALES

Gráfico de Medias Horarias de SO₂

Estación Jinámar III (Gran Canaria)

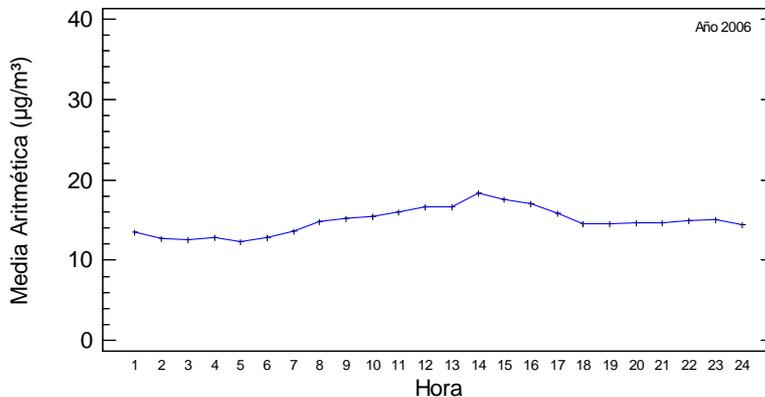


Figura B.5

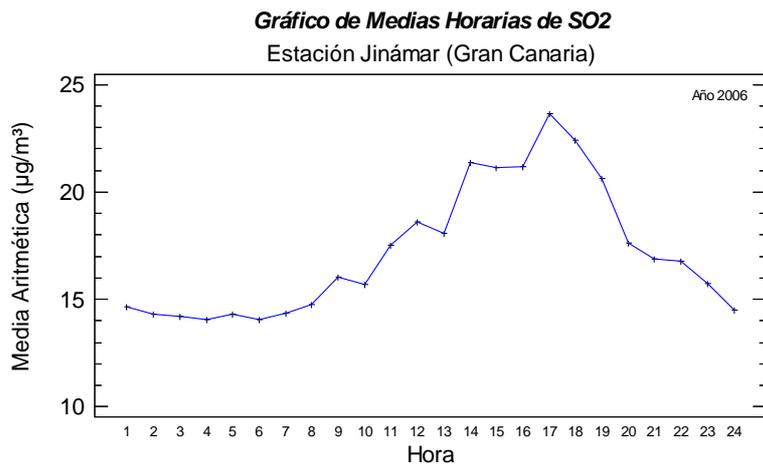


Figura B.6

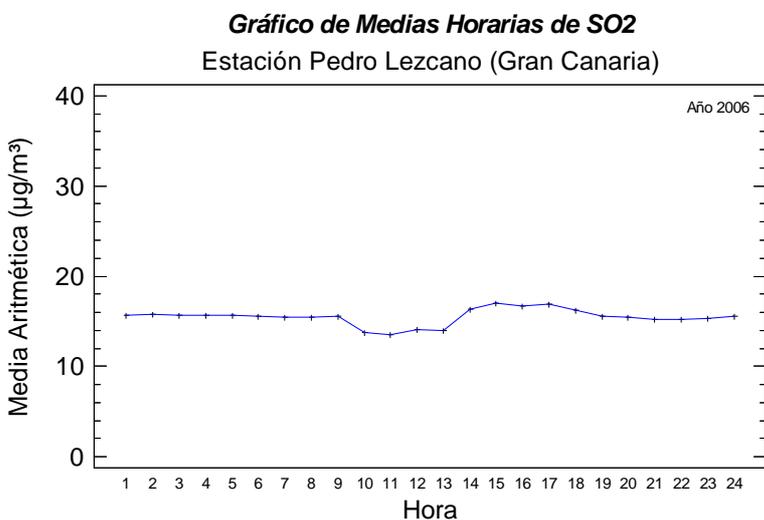


Figura B.7

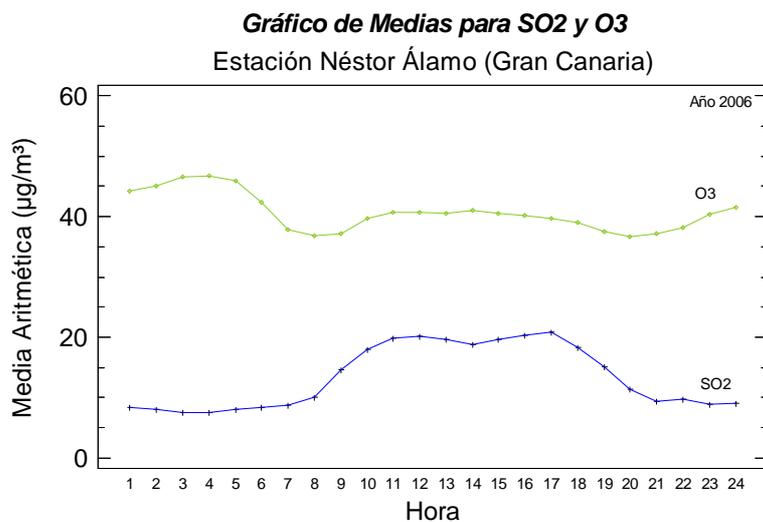


Figura B.8

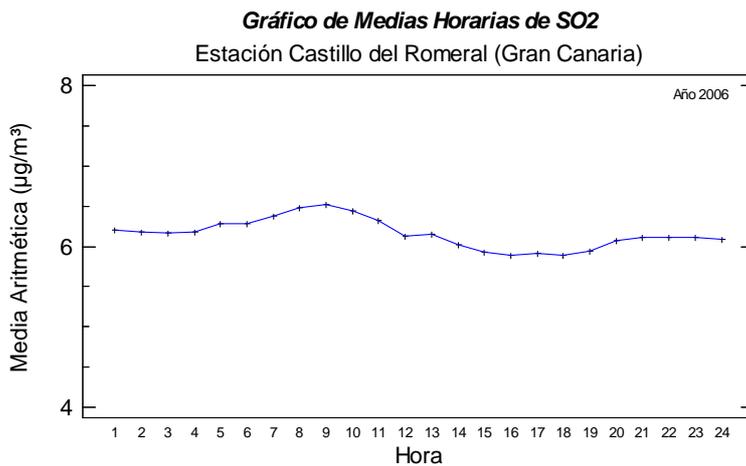


Figura B.9

ESTACIONES DE FONDO URBANO

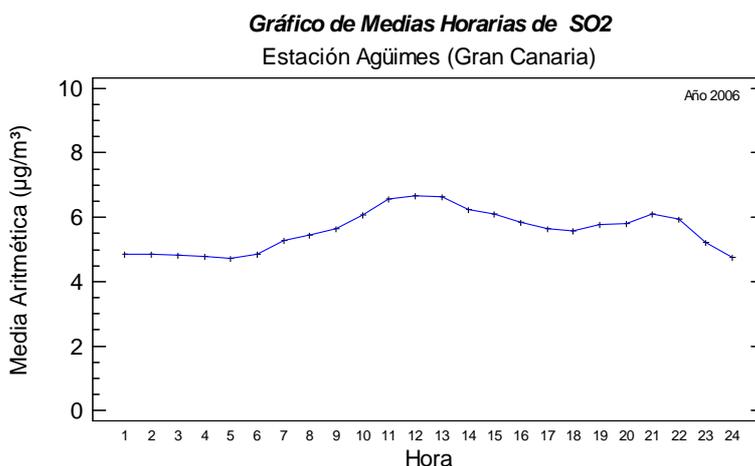


Figura B.10

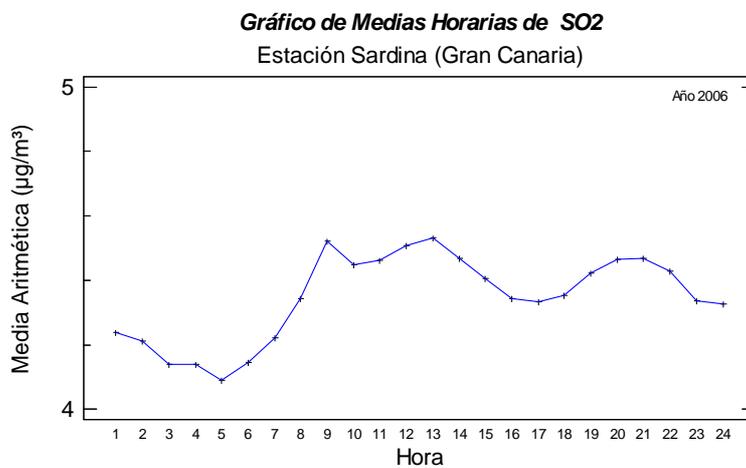


Figura B.11

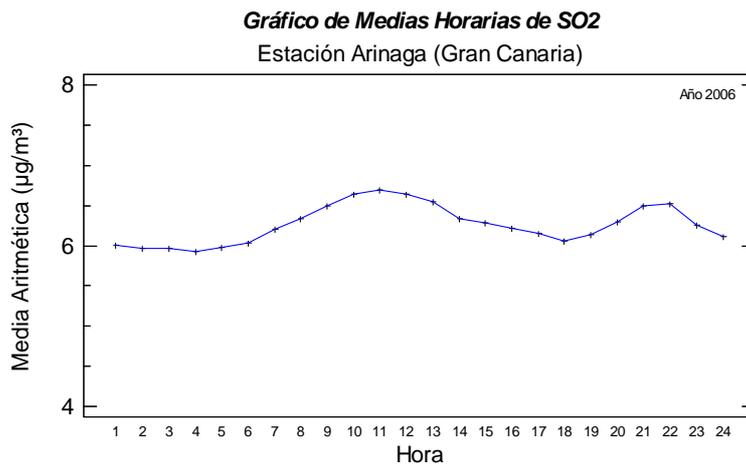


Figura B.12

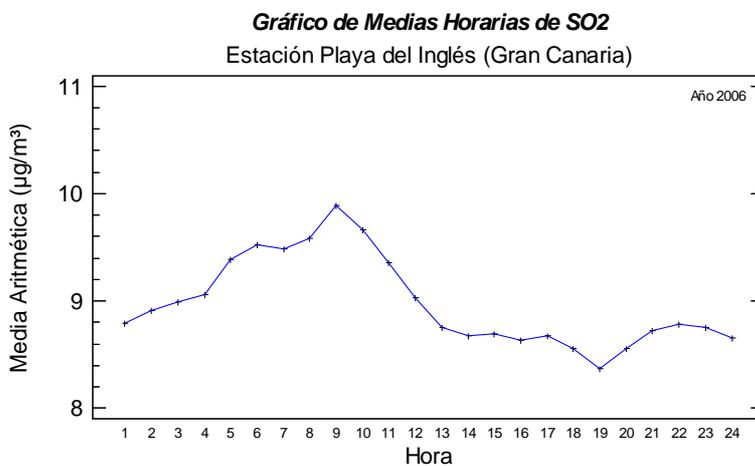


Figura B.13

AÑO 2007
ESTACIONES URBANAS

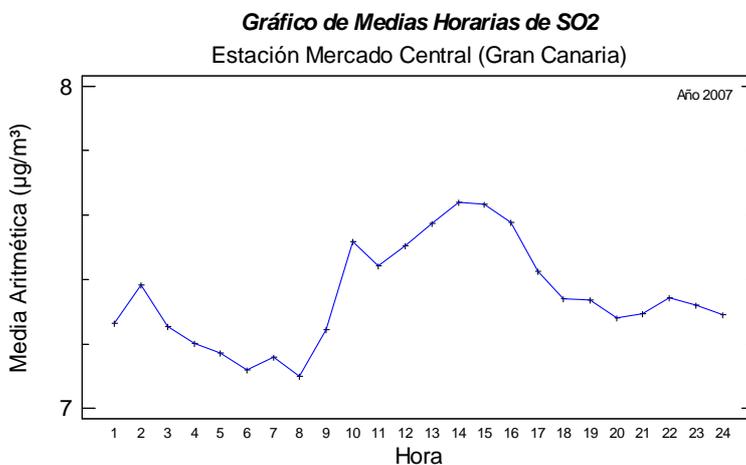


Figura B.14

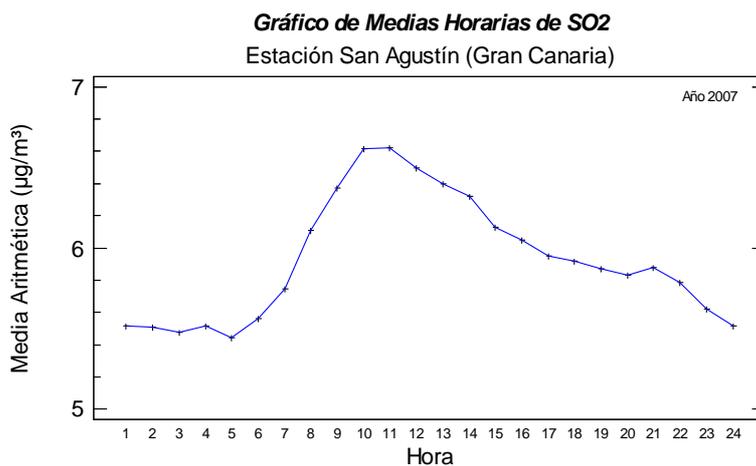


Figura B.15

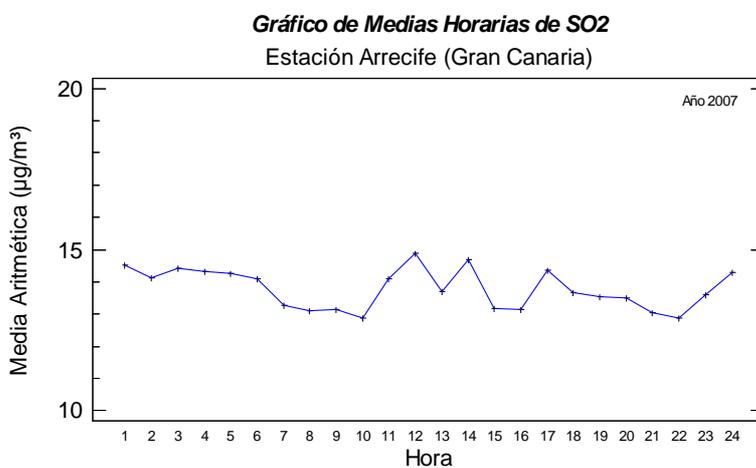


Figura B.16

ESTACIONES INDUSTRIALES

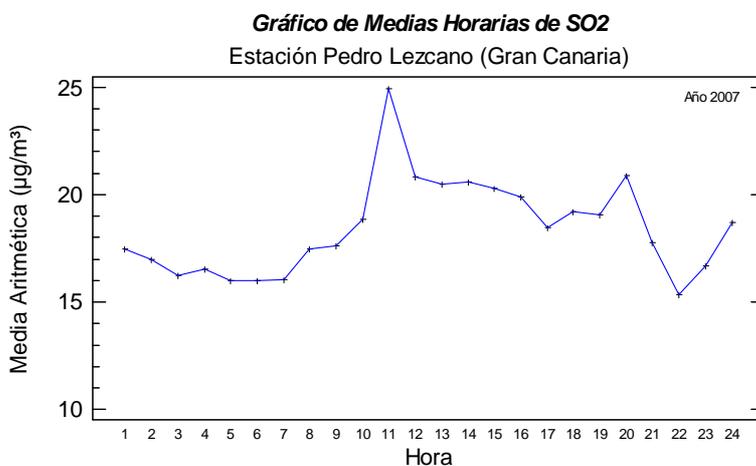


Figura B.17

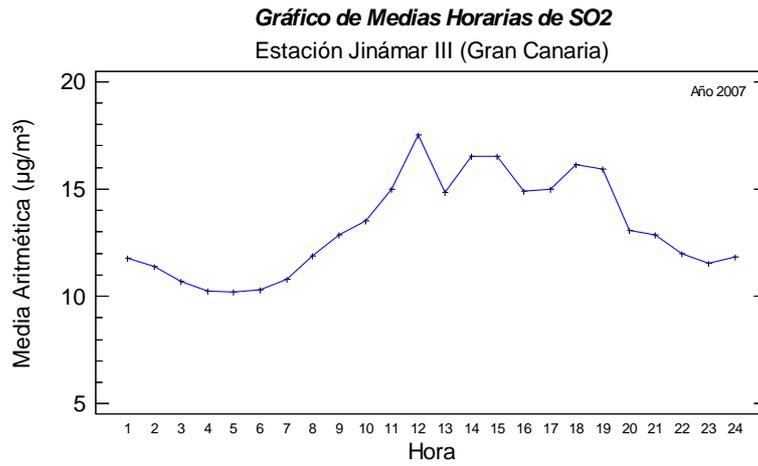


Figura B.18

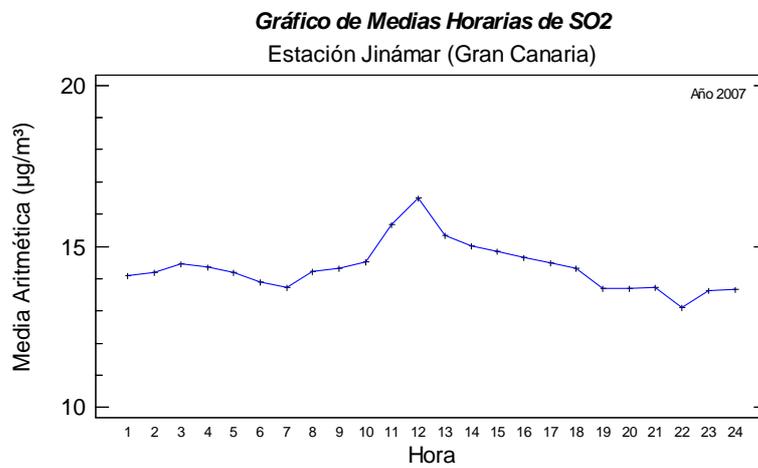


Figura B.19

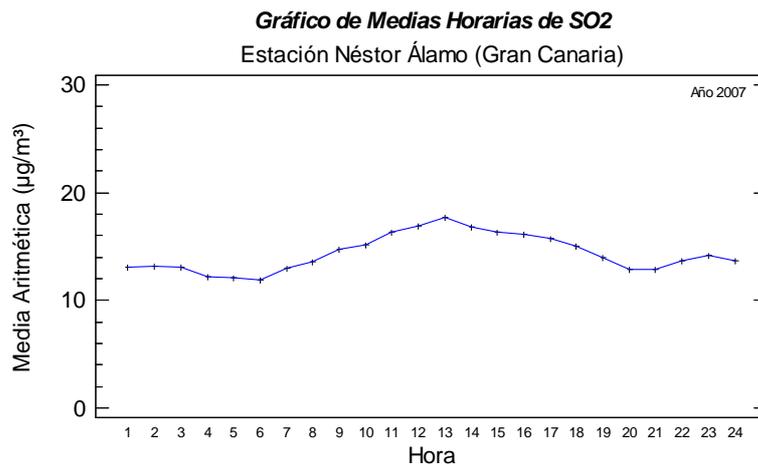


Figura B.20

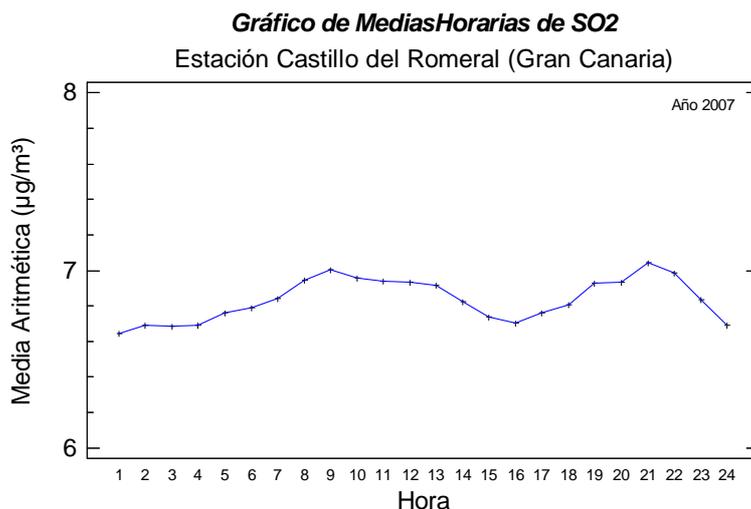


Figura B.21

ESTACIONES DE FONDO URBANO

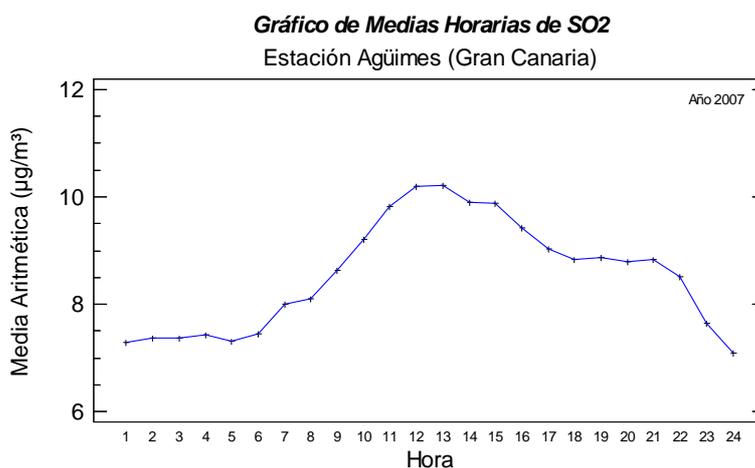


Figura B.22

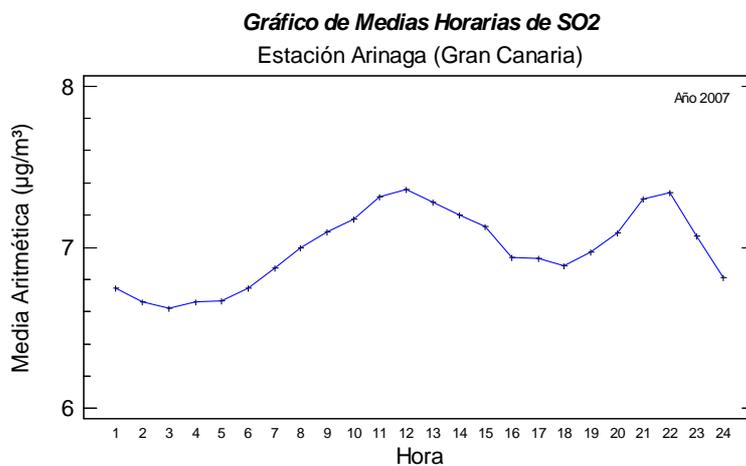


Figura B.23

Gráfico de Medias Horarias de SO2

Estación Sardina (Gran Canaria)

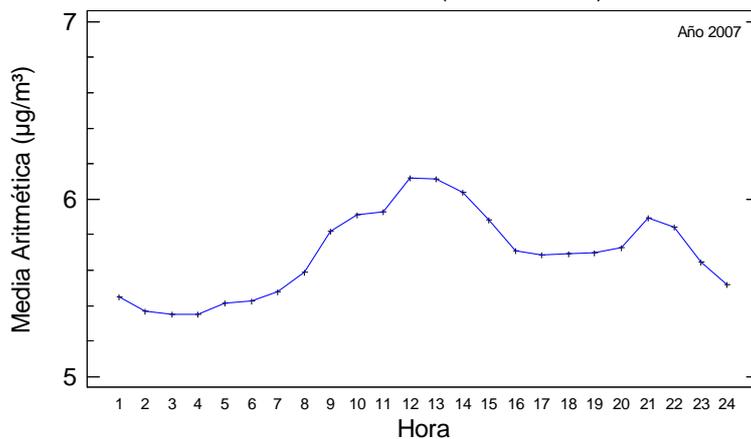


Figura B.24

Gráfico de Medias Horarias de SO2

Estación Playa del Inglés (Gran Canaria)

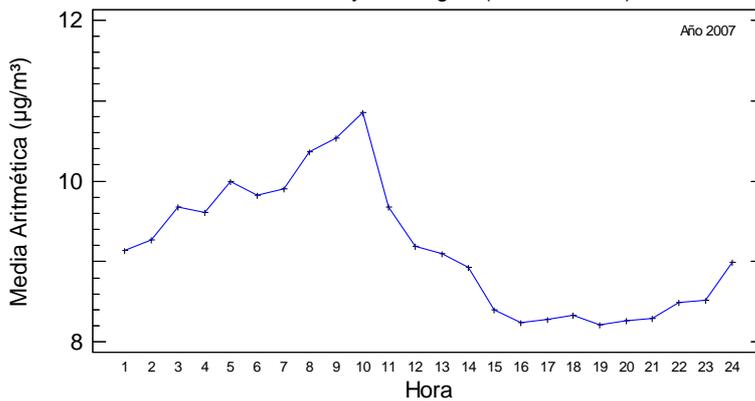


Figura B.25

Gráfico de Medias Horarias de SO2

Estación Centro Juan Ismael (Fuerteventura)

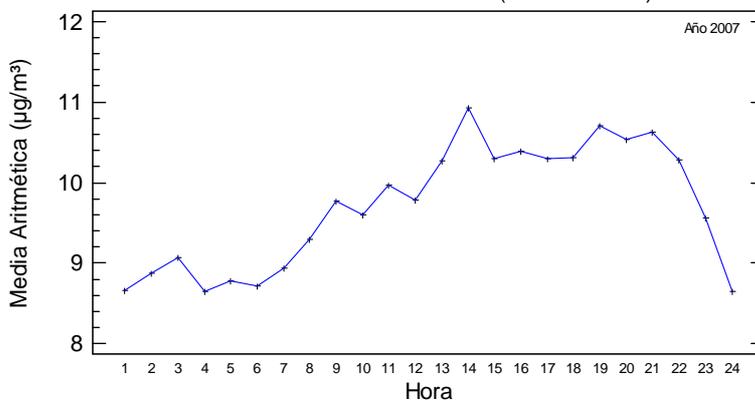


Figura B.26

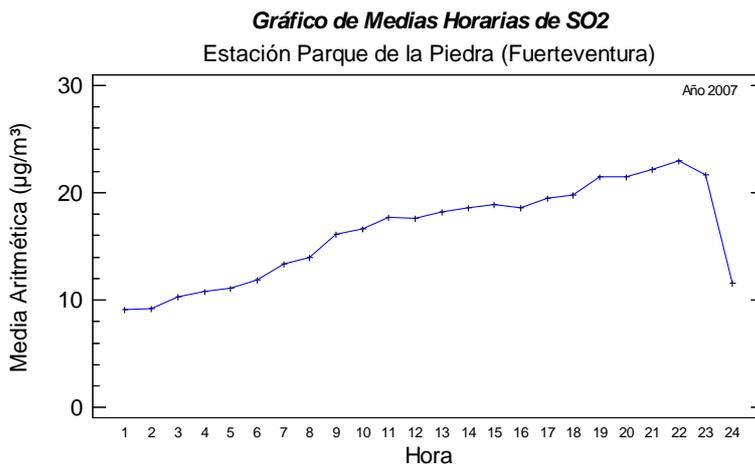


Figura B.27

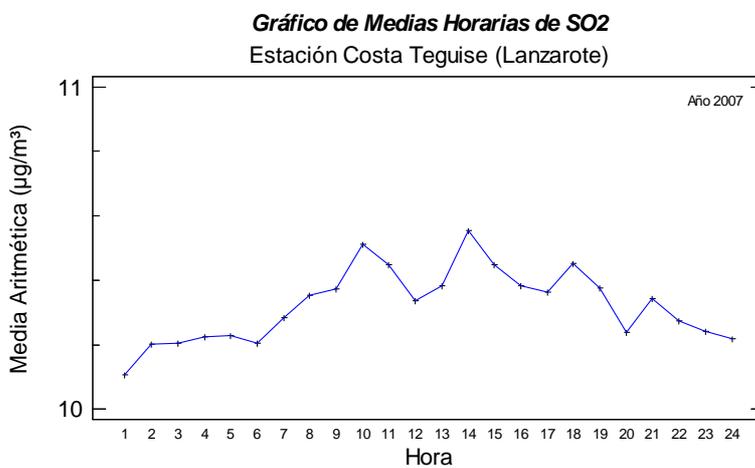


Figura B.28

ANEXO C

MEDIAS DÍAS LABORABLES-FIN DE SEMANA

ANEXO C

ÍNDICE FIGURAS

Figura C.1: Medias PM_{10} Días Laborables-Fin de Semana Estación Mercado Central (2006-2007)

Figura C.2: Medias PM_{10} Días Laborables-Fin de Semana Estación San Agustín (2006-2007)

Figura C.3: Medias PM_{10} Días Laborables-Fin de Semana Estación Arrecife (2007)

Figura C.4: Medias PM_{10} Días Laborables-Fin de Semana Estación Pedro Lezcano (2006-2007)

Figura C.5: Medias PM_{10} Días Laborables-Fin de Semana Estación Jinámar (2006-2007)

Figura C.6: Medias PM_{10} Días Laborables-Fin de Semana Estación Jinámar III (2006-2007)

Figura C.7: Medias PM_{10} Días Laborables-Fin de Semana Estación Castillo del Romeral (2006-2007)

Figura C.8: Medias PM_{10} Días Laborables-Fin de Semana Estación Agüimes (2006-2007)

Figura C.9: Medias PM_{10} Días Laborables-Fin de Semana Estación Arinaga (2006-2007)

Figura C.10: Medias PM_{10} Días Laborables-Fin de Semana Estación Sardina (2006-2007)

Figura C.11: Medias PM_{10} Días Laborables-Fin de Semana Estación Playa del Inglés (2006-2007)

Figura C.12: Medias PM_{10} Días Laborables-Fin de Semana Estación Centro Juan Ismael (2007)

Figura C.13: Medias PM_{10} Días Laborables-Fin de Semana Estación Parque de la Piedra (2007)

Figura C.14: Medias PM_{10} Días Laborables-Fin de Semana Estación Costa Teguisse (2007)

ANEXO C

MEDIAS DÍAS LABORABLES-FIN DE SEMANA

ESTACIONES URBANAS

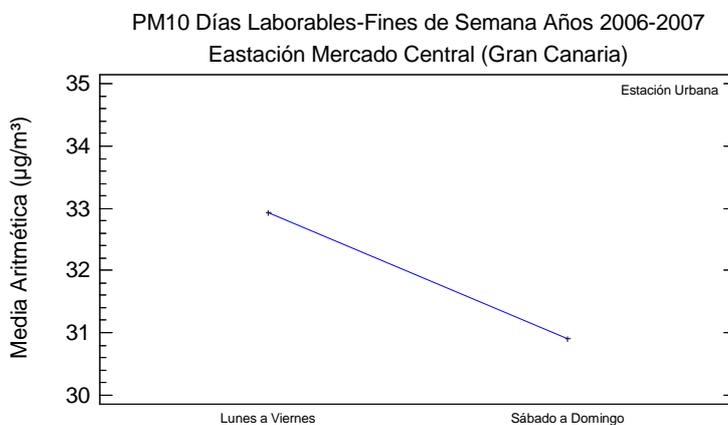


Figura C.1

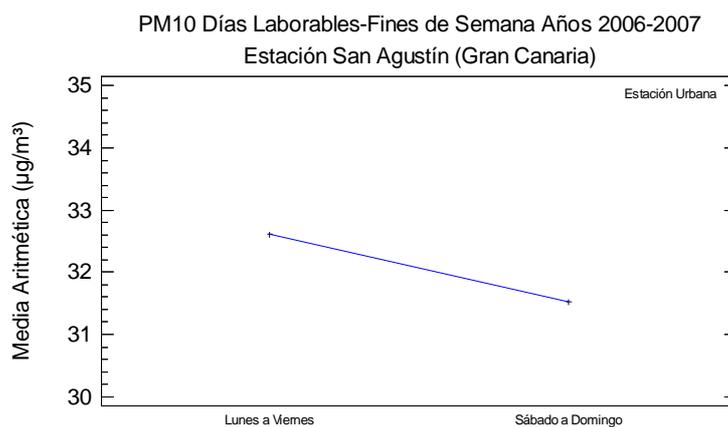


Figura C.2

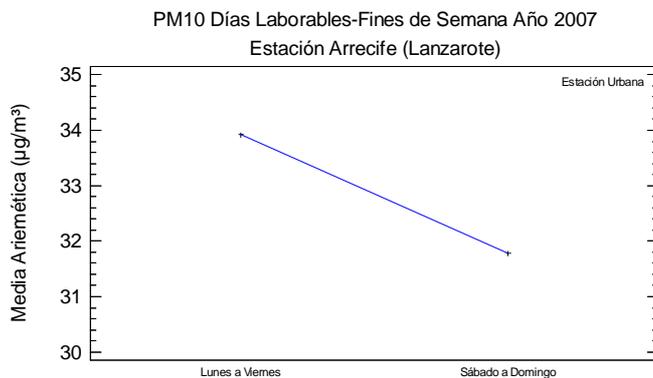


Figura C.3

ESTACIONES INDUSTRIALES

PM10 Días Laborables-Fines de Semana Años 2006-2007
Estación Pedro Lezcano (Gran Canaria)

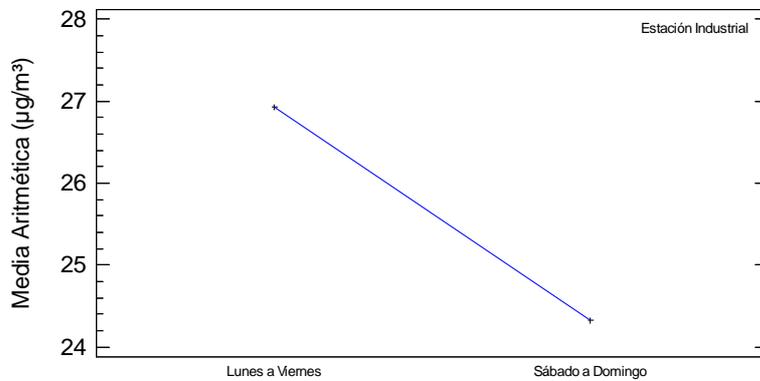


Figura C.4

PM10 Días Laborables-Fines de Semana Años 2006-2007
Estación Jinámar (Gran Canaria)

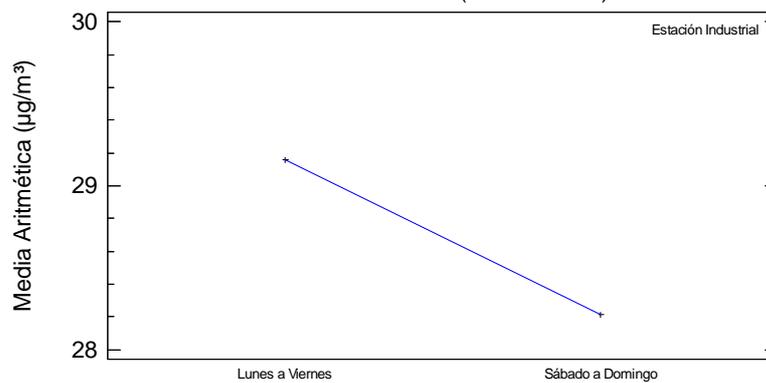


Figura C.5

PM10 Días Laborables-Fines de Semana Años 2006-2007
Estación Jinámar III (Gran Canaria)

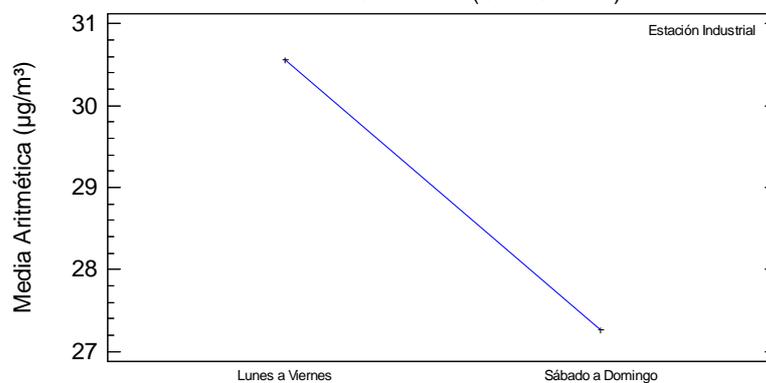


Figura C.6

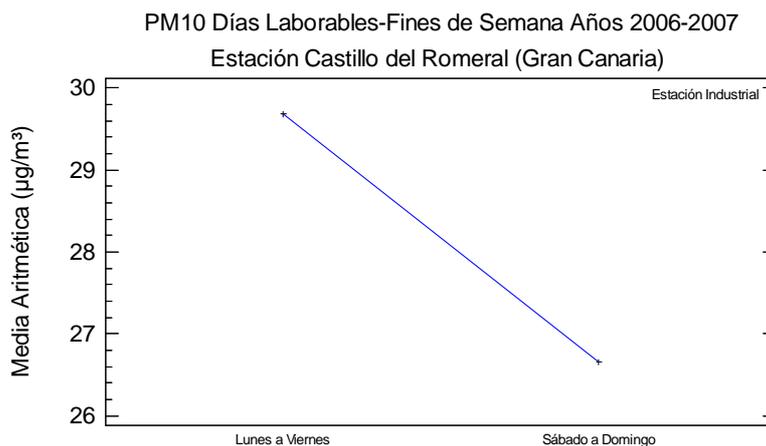


Figura C.7

ESTACIONES DE FONDO URBANO

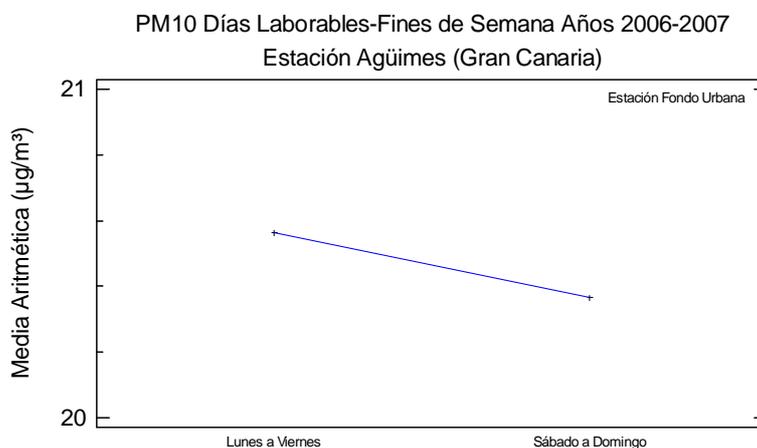


Figura C.8

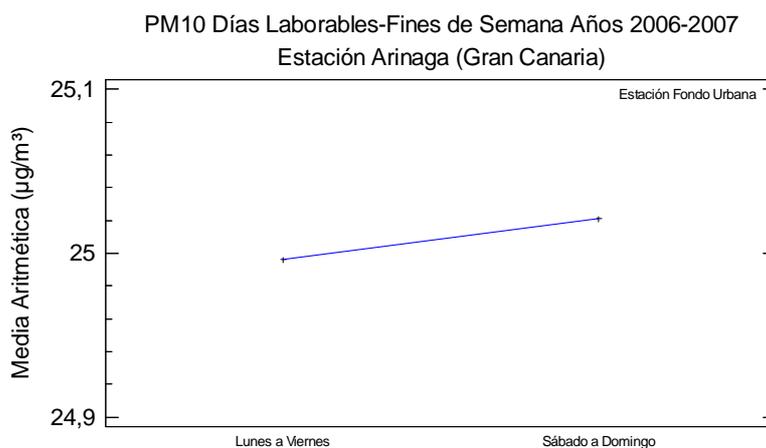


Figura C.9

PM10 Días laborables-Fines de Semana Años 2006-2007
Estación Sardina (Gran Canaria)

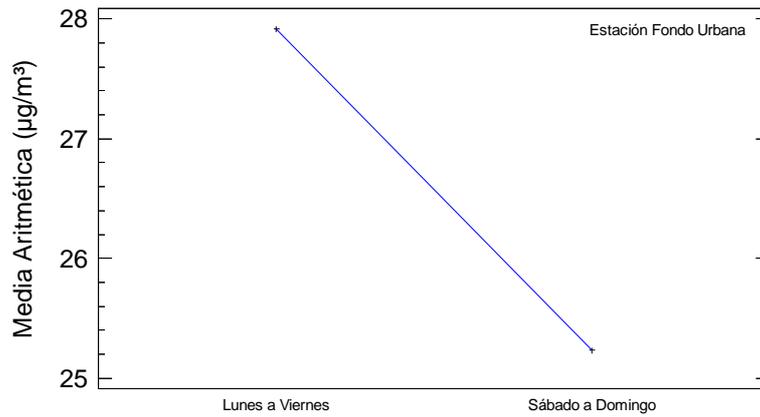


Figura C.10

PM10 Días Laborables-Fines de Semana Años 2006-2007
Estación Playa del Inglés (Gran Canaria)

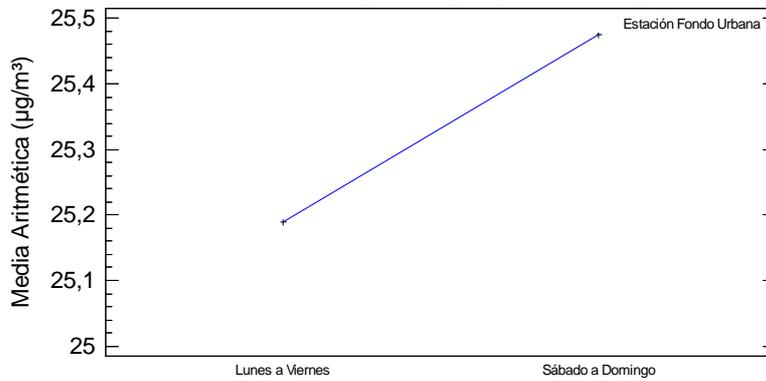


Figura C.11

PM10 Días Laborables-Fines de Semana Año 2007
Estación Centro Juan Ismael (Fuerteventura)

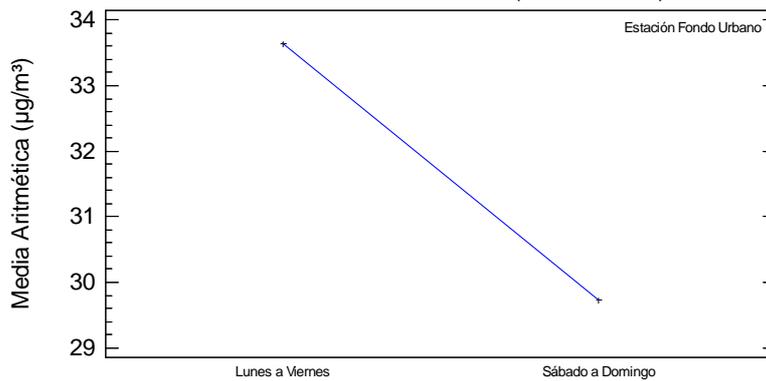
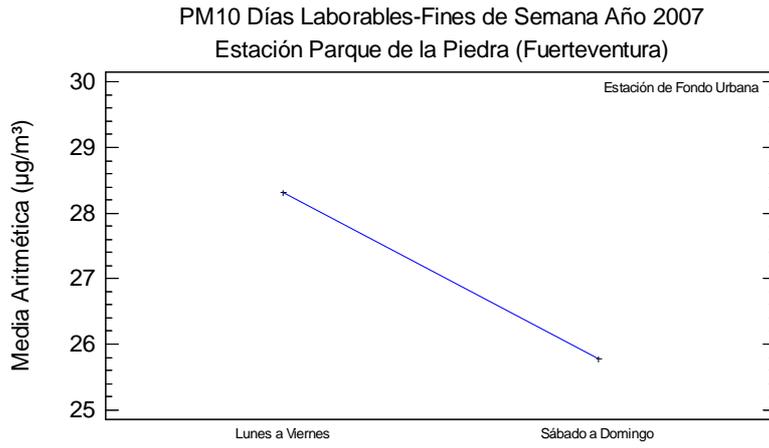
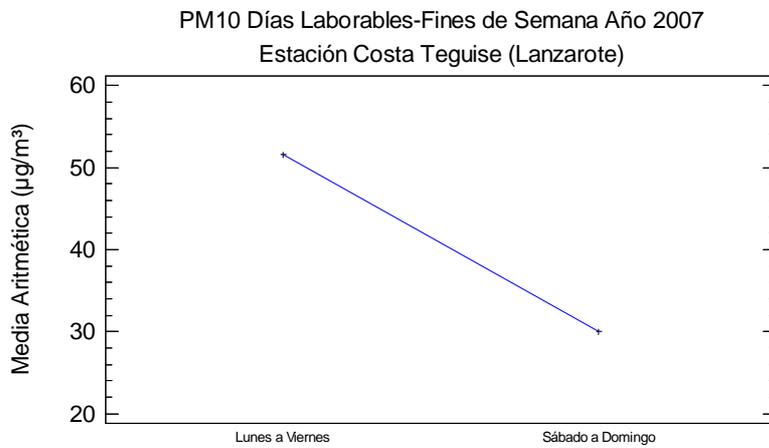


Figura C.12


Figura C.13

Figura C.14

ANEXO D

VALORES MEDIOS DIARIOS DE PM₁₀ EN LAS ESTACIONES DE MEDIDA DE LA PROVINCIA DE LAS PALMAS EN DÍAS DE INTRUSIONES AFRICANAS

ANEXO D

VALORES MEDIOS DIARIOS DE PM₁₀ EN LAS ESTACIONES DE MEDIDA DE LA PROVINCIA DE LAS PALMAS EN DÍAS DE INTRUSIONES AFRICANAS

Enero 2006

Días	Estaciones												
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)			Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	Media
	PM ₁₀	percentil 30	Carga neta Polvo africano	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀					
1	37,3	-	-	37,2	28,4	33,8	-	-	29,8	22,8	43,3	29,5	
10	71,4 (16,2)	105,8 (50,6)	-	88,6 (33,4)	44,5	69,2 (14)	14,0	55,2	47,6	39,7	70,0 (14,8)	29,8	63,0
12	23,3	25,0	14,6	29,6	14,1	18,4	-	-	12,5	12,9	18,8	17,0	
13	25,1	21,3	13,0	24,6	12,9	11,9	-	-	10,5	9,9	17,7	13,7	
14	22,8	18,0	-	19,3	11,4	13,2	-	-	9,7	9,2	14,8	16,8	
22	40,3	47,7	32,1	35,6	35,7	28,7	13,2	15,5	35,4	24,7	51,2 (35,7)	29,1	36,1
23	80,6 (28,5)	100,0 (47,9)	65,4 (13,3)	69,4 (17,3)	59,3 (7,2)	65,6 (13,5)	13,5	52,1	57,5 (5,4)	51,0 (-1,1) (11,9)	78,3 (26,2)	48,5	68,0
24	24,6	20,6	39,6	11,8	12,8	17,1	-	-	11,3	10,9	24,6	17,7	

ESTACIONES

M.C. = Mercado Central

P.L. = Pedro Lezcano

J. = Jinámar

J. III = Jinámar III

S. = Sardina

Ag. = Agüimes

C.R. = Castillo del Romeral

S.A. = San Agustín

P.d.I. = Playa del Inglés

J.I. = Centro Juan Ismael

P.P. = Parque de la Piedra

A. = Arrecife

C.T. = Costa Teguisse

Febrero 2006

Días	Estaciones												
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)			Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	Media
	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	Percentil 30	Carga neta Polvo africano	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀
7	49,1	55,6 (28,7)	51,8 (24,9)	48,8	45,5	41,1	14,1	26,9	40,9	37,7	64,0 (37,1)	32,6	46,7
8	200,4 (44,7)	61,2 (-94,5) (19,7)	162,2 (6,5)	131,7 (-24) (19,5)	107,5	169,6 (13,9)	13,9	155,7	108,6 (-47,1) (11,3)	156,3 (0,6)	112,4 (-43,3) (18,7)	109,3 (-46,4) (15,0)	132,3
12	25,8	24,9	49,9	22,4	16,6	20,3	-	-	15,2	14,4	18,3	23,2	
13	35,1	37,0	52,4 (41,3)	33,7	23,1	25,0	13,9	11,1	21,6	18,9	23,8	24,1	

Marzo 2006

Días	Estaciones												
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)			Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	Media
	PM ₁₀	Percentil 30	Carga neta Polvo africano	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀					
7	63,5 (0,3)	93,0 (29,8)	77,5 (14,3)	78,8 (15,6)	93,8 (30,6)	80,5 (17,3)	17,3	63,2	74,8 (11,6)	77,0 (13,8)	137,3 (74,1)	63,5 (0,3)	84,0
8	164,0 (25,1)	207,6 (68,7)	140,1 (1,2)	190,0 (51,1)	158,8 (19,9)	155,5 (16,6)	16,6	138,9	138,9 (0)	150,0 (11,1)	243,2 (104,3)	93,1 (-45,8) (15,8)	164,1
9	90,3 (18,3)	108,4 (36,4)	90,2 (18,2)	106,0 (34)	100,6 (28,6)	88,6 (16,6)	16,6	72	90,7 (18,7)	78,7 (6,7)	144,8 (72,8)	71,7 (-0,3) (16,2)	97,0
31	32,8	47,0	30	36,1	37,8	25,2	18,1	7,1	20,7	29,5	61,7 (54,6)	32,8	

Abril 2006

Días	Estaciones												
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)			Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	Media
	PM ₁₀	Percentil 30	Carga neta Polvo africano	PM ₁₀									
1	36,5	34,2	35,5	61,8 (42,4)	40,7	39,0	19,6	19,4	35,4	42,6	66,8 (47,4)	56,5 (37,1)	44,9
2	44,2	26,2	33,9	47,9	35,1	40,8	-	-	29,0	39,9	46,1	45,3	38,8
3	42,1	96,3 (60,6)	50,2 (14,5)	76,9 (41,2)	48,7	56,0 (20,3)	20,3	35,7	41,9	45,3	61,5 (25,8)	47,6	56,7
26	42,3	55,5	36,3	39,8	33,2	31,4	-	-	25,7	26,3	42,0	17,8	
27	63,3 (31,7))	75,5 (43,9)	49,7	60,2 (28,6)	48,7	52,8 (31,6)	21,2	31,6	41,9	42,4	70,8 (39,2))	31,2	53,7
28	51,8 (28,4)	66,1 (42,7)	45,6	48,8	45,8	42,8	19,4	23,4	35,1	35,9	64,3 (40,9)	32,9	46,9

Mayo 2006

Días	Estaciones												
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)			Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	Media
	PM ₁₀	Percentil 30	Carga neta polvo africano	PM ₁₀									
9	33,7	39,2	36,9	30,0	30,8	27,8	-	-	25,6	29,6	41,6	22,2	
10	24,0	33,9	28,7	24,6	24,2	23,3	-	-	20,5	23,8	32,6	20,3	
16	17,5	33,5	29,1	34,0	22,2	14,0	-	-	19,0	23,0	21,1	20,7	
18	18,1	30,5	24,7	19,9	24,1	23,4	-	-	13,9	36,6	34,2	15,4	
24	35,0	48,1	35,5	36,8	26,8	27,6	-	-	15,9	34,4	39,9	21,2	
25	47,8	57,4 (41,1)	41,4	43,9	27,8	34,4	18,1	16,3	20,3	32,8	21,9	27,0	
26	49,4	65,3 (47,8)	44,3	44,8	30,4	37,8	20,3	17,5	21,8	39,0	26,8	30,6	39,0
27	38,1	54,5 (42,4)	38,8	37,8	39,4	33,3	21,2	12,1	27,0	40,4	24,5	25,8	
28	35,8	49,0	39,6	37,5	-	33,2	-	-	23,5	33,8	19,7	21,0	
29	31,7	43,4	40,2	36,9	22,4	29,2	-	-	22,9	30,5	18,3	20,7	
31	36,0	65,1 (53,4)	47,2	53,6 (41,9)	26,9	32,9	21,2	11,7	30,9	39,3	22,8	24,3	

Junio 2006

Días	Estaciones												
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)		Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	Media	
	PM ₁₀	Percentil 30	PM ₁₀										
1	34,0	41,2	37,8	36,2	22,7	31,8	-	23,1	35,9	22,0	22,5		
2	43,4	45,5	38,4	40,8	19,4	30,5	-	21,4	33,3	21,7	25,5		
4	33,3	38,8	29,5	27,1	15,8	28,0	-	19,9	26,6	15,8	19,8		

Julio 2006

Días	Estaciones												
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)			Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	Media
	PM ₁₀	Percentil 30	Carga neta Polvo africano	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀					
11	36,8	32,3	32,6	28,1	26,4	35,8	-	-	22,3	47,7	36,3	17,3	
12	41,1	35,1	32,3	29,8	23,8	32,3	-	-	27,6	42,7	40,0	27,2	
13	39,3	30,2	30,5	27,3	23,8	30,5	-	-	27,0	46,6	47,5	29,9	
22	31,8	39,0	24,6	25,6	35,7	33,9	23,5	10,4	44,6	50,0 (39,6)	49,6	34,3	
23	30,6	33,4	17,7	27,4	26,0	26,1	22,4	3,7	28,7	38,8 73,2 (69,5)		38,3	
24	32,0	24,3	34,1	45,5	22,7	35,2	22,4	12,8	25,3	55,3 (42,5)	67,0 (54,2)	50,2 (37,4)	39,2
25	27,0	29,5	25,2	31,7	26,6	24,2	22,4	1,8	25,7	37,7	51,0 (49,2)	29,4	

Agosto 2006

Días	Estaciones												
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga		Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	Media	
	PM ₁₀	Percentil 30	PM ₁₀										
31	38,7	41,7	30,0	41,0	26,2	32,4	-	33,9	41,1	44,1	36,0	36,5	

Septiembre 2006

Días	Estaciones												
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)			Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	Media
	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	Percentil 30	Carga neta Polvo africano	PM ₁₀				
1	43,3	46,7	56,0 (48,8)	44,3	33,4	35,5	28,3	7,2	39,1	49,0	49,6	32,8	43,0
2	49,9	60,4 (40,6)	27,9	56,0 (36,2)	52,4 (32,6)	48,1	28,3	19,8	64,2 (44,4)	63,5 (43,7)	82,2 (62,4)	63,7 (43,9)	56,8
3	83,2 (-28,7) (21,1)	162,9 (51)	55,3 (-56,6) (19,5)	143,4 (31,5)	122,9 (11)	140,2 (28,3)	28,3	111,9	152,6 (40,7)	137,7 (25,8)	177,5 (65,6)	135,9 (27,6)	131,2
4	42,6	35,6	59,2 (36,9)	81,1 (58,8)	55,7 (33,4)	50,6 (28,3)	28,3	22,3	58,6 (36,3)	113,4 (91,1)	128,7 (106,4)	60,4 (23,7)	68,6
5	39,5	58,7 (43)	62,4 (46,7)	77,8 (62,1)	46,6	44,0	28,3	15,7	53,9 (38,2)	66,8 (51,1)	70,0 (54,3)	48,9	56,9
6	40,3	55,6 (34)	57,2 (35,6)	65,9 (44,3)	41,1	45,8	24,2	21,6	36,4	59,4 (37,8)	55,5 (33,9)	36,8	49,4
7	41,8	13,0	46,0	53,4 (34,6)	36,5	39,0	20,2	18,8	39,4	54,1 (35,3)	45,8	34,4	40,3
8	48,0	10,2	47,9	54,2 (23,7)	29,8	50,0 (19,5)	19,5	30,5	36,3	52,6 (22,1)	49,1	33,9	41,2
9	46,6	9,8	46,1	58,7 (32,4)	41,7	45,6	19,3	26,3	38,6	53,1 (26,8)	54,9 (28,6)	31,9	42,7
10	41,1	11,7	36,7	41,4	22,7	41,2	18,6	22,6	24,6	34,5	51,5 (26,9)	42,6	34,8
11	50,7 (21,5)	13,5	47,8	55,1 (25,9)	31,0	47,1	17,9	29,2	34,8	82,3 (53,1)	68,6 (39,4)	48,6	42,9
12	34,5	13,8	39,2	49,9	40,8	58,6	17,5	41,1	33,8	68,5 (27,4)	67,3 (38,1)	44,6	45,1

Octubre 2006

Días	Estaciones												
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)			Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	Media
	PM ₁₀	Percentil 30	Carga neta Polvo africano	PM ₁₀									
3	26,3	23,9	26,4	32,5	35,6	29,4	-	-	28,9	41,4	45,2	44,3	
4	28,1	61,0 (49,5)	26,0	32,8	19,9	25,3	13,8	11,5	12,5	39,9	29,1	31,9	
8	26,1	32,5	23,2	29,8	26,2	22,7	-	-	30,6	36,3	49,7	-	
9	25,0	45,3	26,9	33,8	29,5	19,4	-	-	22,9	31,9	35,9	31,4	
29	15,5	26,6	16,7	15,9	11,8	14,6	-	-	9,8	9,9	11,8	16,3	
30	26,5	40,0	28,4	31,3	12,5	12,3	-	-	19,4	13,7	15,3	15,6	
31	28,3	68,0 (63,9)	25,0	43,2	27,6	19,6	15,5	4,1	25,9	27,6	24,0	27,2	

Noviembre 2006

Días	Estaciones												
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)			Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	Media
	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	Percentil 30	Carga neta Polvo africana	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀
10	194,9 (64)	64,6 (-66,3)	153,9 (23)	183,6 (52,7)	93,3 (-37,6)	146,9	16,0	130,9	131,4 (0,5)	157,0 (26,1)	144,4 (13,5)	69,8 (-61,1)	134,0
11	292,3 (76,6)	152,3 (-63,4) (12,9)	245,0 (29,3)	286,5 (70,8)	173,5 (-42,2)	231,7 (16)	16,0	215,7	222,9 (7,2)	265,0 (49,3)	242,4 (26,7)	131,2 (-84,5)	224,3
12	135,1 (51,1)	59,1 (-24,9) (10,5)	97,6 (13,6)	133,8 (49,8)	71,9 (-12,1) (13,3)	99,5 (15,5)	15,5	84	92,4 (8,4)	174,6 (90,6)	127, 43,2)	62,0 (-22) (12,8)	105,3
13	58,3 (25,3)	42,0	50,3 (17,3)	89,8 (56,8)	54,9 (21,9)	48,5	15,5	33	57,6 (24,6)	52,7 (19,7)	62,0 (29)	39,4	55,6
14	51,3 (20)	44,4	43,3	69,0 (37,7)	43,4	47,3	16,0	31,3	47,8	48,0	39,4	29,6	46,4
15	75,5 (40,9)	53,0 (18,4)	54,4 (19,8)	84,5 (49,9)	45,6	50,6 (16)	16,0	34,6	51,3 (16,7)	61,2 (26,6)	52,7 (18,1)	39,4	56,8
20	202,2 (39,4)	39,4	165,6 (2,8)	266,3 (103,5)	197,5 (34,7)	179,8 (17)	17,0	162,8	191,1 (28,3)	240,5 (77,7)	208,8 (46)	143,7 (-19,1) (12,5)	183,5
21	83,8 (36,2)	44,6	60,5 (12,9)	89,4 (41,8)	52,8 (5,2)	64,0 (16,4)	16,4	47,6	45,9	74,1 (26,5)	64,6 (17)	31,9	61,2
22	36,8	28,6	31,9	38,8	29,0	31,8	-	-	24,4	38,2	36,6	24,2	
23	21,6	12,0	19,1	-	15,0	13,7	-	-	9,7	21,4	19,4	13,1	
24	27,8	24,4	31,4	41,3	31,3	20,2	-	-	18,4	26,6	17,7	12,0	
30	39,0	31,3	38,1	51,6 (39,2)	38,7	29,4	17,0	12,4	43,2	42,8	41,6	24,6	

Diciembre 2006

Días	Estaciones												Media PM ₁₀
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)			Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	
	PM ₁₀	Percentil 30	Carga neta Polvo africano	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀						
1	40,9	29,3	35,7	48,2	50,2 (38)	29,2	17,0	12,2	31,0	37,5	43,6	25,4	
2	31,2	-	30,9	31,5	19,8	25,0	-	-	19,8	26,6	29,1	22,4	
12	55,2 (28)	37,0	40,1	61,5 (34,3)	37,2	46,6	19,4	27,2	31,7	42,1	48,2	21,4	42,1
13	49,5	27,3	33,4	49,2	36,1	31,9	-	-	31,7	40,8	49,8	21,6	37,1
14	42,1	28,1	32,8	41,7	32,6	28,0	-	-	24,4	34,0	33,7	17,8	
15	38,5	25,9	30,6	36,6	31,6	26,6	-	-	22,4	31,6	30,4	15,6	
16	43,0	31,9	32,0	38,6	23,8	31,2	-	-	22,0	28,4	29,4	18,3	
17	34,5	-	27,8	28,6	22,0	24,8	-	-	16,8	26,6	26,4	18,1	
18	41,8	16,9	36,5	43,4	21,8	29,0	-	--	20,4	32,7	27,4	18,3	
25	28,5	20,0	27,1	-	22,8	24,2	-		17,6	25,0	29,1	17,0	
26	47,9	28	33,6	-	38,6	34,5	21,2	13,3	39,4	43,7	50,2 (36,9)	25,5	
27	49,1	25,8	37,2	47,0	35,4	29,7	-	-	27,4	39,3	43,9	26,4	
28	35,4	24,1	36,2	40,5	31,8	26,0	-	-	23,1	35,6	34,3	20,5	
29	34,4	-	38,1	40,5	23,8	26,3	-	-	18,7	24,9	25,6	14,8	
30	29,2	-	36,7	30,4	23,5	21,7	-	-	19,3	26,1	28,1	17,3	
31	33,4	-	38,7	38,8	26,2	34,5	-	-	23,4	30,1	32,3	17,9	

Enero 2007

Días	Estaciones																Media
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)			Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	J.I.	P.P.	A.	C.T.	
	PM ₁₀	Percentil 30	Carga neta Polvo africano	PM ₁₀													
1	69,5 (39)	-	78,1 (47,6)	71,8 (41,3)	49,1	51,7 (21,2)	21,2	30,5	46,6	63,1 (32,6)	64,8 (34,3)	32,3	-	-	70,0 (39,59)	-	59,7
2	54,6 (27,9)	-	69,1 (42,4)	72,3 (45,6)	51,6 (24,9)	47,9	21,2	26,7	43,8	57,5 (30,8)	60,2 (33,5)	33,5	-	-	54,7 (28)	-	54,6
3	43,2	-	44,7	46,0	29,5	34,4	-	-	19,0	34,3	27,7	17,9	-	-	49,4	-	34,6
4	34,3	-	33,7	49,1	16,4	25,7	-	-	12,5	35,2	18,2	11,0	22,4	21,0	25,5	-	
10	32,8	25,6	25,7	30,5	26,5	19,8	23,5	-3,7	15,0	25,2	30,0	19,0	52,0	51,6	56,4	-	
11	95,4 (35,7)	52,90 (-6,8)	75,8 (16,1)	88,2 (28,5)	66,3 (6,6)	81,4 (21,7)	21,7	59,7	54,00 (-5,7)	85,3 (25,6)	77,0 (17,3)	43,7	123,5 (63,8)	95,7 (36)	106,0 (46,3)	-	80,4
12	73,3 (40,4)	33,6	60,4 (27,5)	66,3 (33,4)	39,9	53,6 (20,7)	20,7	32,9	33,2	51,3 (18,4)	50,8 (17,9)	26,0	66,6 (33,7)	62,1 (29,2)	58,4 (25,5)	-	52,0
13	44,0	32,5	39,8	45,4	28,4	38,6	-	-	24,6	34,8	35,9	21,2	42,9	30,8	40,8	-	35,4
14	41,3	33,4	43,2	43,7	24,6	44,6	-	-	22,3	33,8	31,4	18,1	35,1	34,3	37,4	-	
18	39,6	24,0	34,5	37,3	31,8	28,6	14,1	-	20,0	27,5	27,4	15,4	49,5	40,4	49,1	-	
19	59,0 (22,5)	35,7	55,4 (18,9)	62,5 (26)	45,9	50,1 (13,6)	13,6	36,5	39,1	55,2 (18,7)	49,5	26,7	64,5 (28)	52,4 (15,9)	73,2 (36,7)	-	51,5
20	70,2 (22,7)	37,0	60,7 (13,2)	59,8 (12,3)	49,1	60,7 (13,2)	13,2	47,5	49,0	65,4 (17,9)	70,5 (23)	36,3	50,0 (2,5)	43,9	44,1	-	53,6
21	36,3	26,4	28,7	31,3	30,9	35,7	13,4	-	25,8	35,2	34,8	22,0	38,2	35,1	38,4	-	
22	38,0	21,6	28,7	27,2	38,3	25,7	13,2	-	27,7	34,5	33,1	19,1	46,6	38,8	46,1	-	

Febrero 2007

Días	Estaciones																Media
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)			Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	J.I.	P.P.	A.	C.T.	
	PM ₁₀	Percentil 30	Carga neta Polvo africano	PM ₁₀													
13	36,0	24,5	42,2	40,8	30,7	23,5	-	-	17,9	29,1	27,6	18,1	31,5	22,8	42,0	35,3	
14	32,6	28,3	43,6	45,5	30,7	18,9	-	-	16,7	23,0	24,4	16,8	31,7	28,7	37,0	41,1	
15	44,8	31,6	53,5 (30,3)	53,0 (29,8)	48,5	36,8	13,6	23,2	30,1	36,6	37,2	19,8	63,2 (40)	40,6	55,3 (32,1)	44,6	42,5
16	42,4	43,3	43,3	39,0	54,4 (33,7)	34,4	13,7	20,7	35,2	41,3	49,6	29,3	50,0 (29,3)	47,8	66,7 (46)	35,5	43,7

Marzo 2007

Días	Estaciones																Media
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)			Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	J.I.	P.P.	A.	C.T.	
	PM ₁₀	Percentil 30	Carga neta Polvo africano	PM ₁₀													
4	24,1	14,1	22,8	19,3	23,7	17,2	-	-	17,0	17,6	32,3	19,6	27,9	22,0	-	32,2	
9	58,5 (22,6)	29,4	56,0 (20,1)	51,8 (15,9)	47,2	53,7 (17,8)	17,8	35,9	28,2	47,4	36,6	20,7	78,4 (42,5)	62,7 (26,8)	45,5	88,6 (52,7)	51,9
10	50,4 (20,5)	31,2	54,4 (24,5)	54,9 (25)	142,2 (112,3)	47,7	17,8	29,9	89,0 (59,1)	82,6 (52,7)	261,8 (231,1)	147,9 (118)	48,5	44,9	39,4	40,8	85,0
11	35,2	17,6	38,4	32,0	86,8 (77,4)	26,1	16,7	9,4	50,3 (40,9)	28,4	89,5 (80,1)	48,7	32,4	31,1	35,1	25,9	
12	38,5	19,6	39,3	33,6	50,9 (40,3)	26,6	16,0	10,6	34,6	39,9	54,6 (44)	25,3	39,4	33,6	28,9	49,7	38,1
15	69,0 (34,3)	38,9	69,3 (34,6)	70,3 (35,6)	76,4 (41,7)	52,9 (18,2)	18,2	34,7	51,9 (17,2)	69,1 (34,4)	84,4 (49,7)	37,3	108,5 (73,8)	87,8 (53,1)	96,6 (61,9)	162,5 (127,89)	79,7
16	56,2 (25)	29,7	60,1 (28,9)	53,3 (22,1)	85,5 (54,3)	49,8	18,6	31,2	51,8 (20,6)	68,0 (36,8)	94,5 (63,3)	47,9	58,3 (27,1)	47,4	38,5	66,3 (35,1)	59,8
17	42,6	21,2	38,1	32,1	43,1	32,2	-	-	28,3	36,1	39,0	22,7	46,0	40,0	40,5	33,7	
18	52,4 (29,6)	25,9	47,8	38,0	51,0 (28,2)	40,4	17,6	22,8	37,4	46,9	44,0	23,0	56,3 (33,5)	48,3	50,4 (27,6)	37,9	
19	76,6 (34,3)	37,9	67,7 (25,4)	59,6 (17,3)	58,3 (16)	60,9 (18,6)	18,6	42,3	48,6	58,0 (15,7)	54,0 (11,7)	29,0	91,3 (49)	74,3 (32)	38,5	108,0 (65,7)	63,4
20	42,5	23,6	41,3	31,4	43,8	32,1	19,1	13	25,4	36,1	48,3	22,9	57,3 (38,2)	43,7	21,4	102,4 (83,3)	42,2

Abril 2007

Días	Estaciones																Media
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)			Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	J.I.	P.P.	A.	C.T.	
	PM ₁₀	Percentil 30	Carga neta Polvo africano	PM ₁₀													
18	36,3	14,0	35,1	25,2	31,0	28,8	19,6	9,2	23,2	28,4	69,5 (60,3)	16,0	45,7	35,3	44,0	-	
19	33,3	20,4	41,7	28,2	32,0	26,4	-	-	23,7	32,4	38,7	17,8	44,7	38,3	41,6	-	
22	38,0	17,8	38,7	26,0	30,2	30,6	-	-	21,9	31,0	27,5	16,7	37,9	33,4	30,3	-	
23	41,4	20,1	43,5	32,9	36,7	33,3	-	-	22,9	39,6	34,5	20,9	47,3	42,6	43,1	-	36,6
24	51,7 (24,2)	24,7	58,2 (30,7)	46,3	48,7	44,9	17,4	27,5	38,5	52,0 (24,5)	42,0	24,2	84,8 (57,3)	60,2 (32,7)	64,7 (37,2)	-	51,4
25	44,8	28,5	66,7 (36,9)	53,3 (23,5)	77,8 (48)	47,5	17,7	29,8	60,2 (30,4)	65,6 (35,8)	61,1 (31,3)	30,7	67,6 (37,8)	51,5 (21,7)	52,4 (22,6)	-	56,6

Mayo 2007

Días	Estaciones																Media
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)			Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	J.I.	P.P.	A.	C.T.	
	PM ₁₀	Percentil 30	Carga neta Polvo africano	PM ₁₀													
8	37,3	37,9	60,9 (38)	61,8 (38,9)	68,8 (45,9)	42,6	19,7	22,9	48,6	66,2 (43,3)	78,7 (55,8)	61,7 (38,8)	-	-	43,9	-	57,1
9	55,6 (24)	38,8	59,4 (27,8)	68,2 (36,6)	57,9 (26,3)	50,6 (19)	19,0	31,6	37,8	57,5 (25,9)	72,0 (40,4)	67,0 (35,4)	-	-	49,4	-	51,5
10	67,0 (32,2)	37,1	76,0 (41,2)	73,5 (38,7)	57,8 (23)	53,6 (18,8)	18,8	34,8	37,5	63,8 (29)	75,6 (40,8)	69,6 (34,8)	59,1 (24,3)	37,5	66 (31,2)	-	67,0
11	76,4 (32,4)	44,6	79,2 (35,2)	76,5 (32,5)	59,0 (15)	61,7 (17,7)	17,7	44	41,1	79,0 (35)	81,7 (37,7)	70,9 (26,9)	73,8 (29,8)	62,3 (18,3)	64,8 (20,8)	-	75,1
12	64,7 (25,7)	37,4	72,4 (33,4)	72,6 (33,6)	64,0 (25)	56,2 (17,2)	17,2	39	47,8	68,1 (29,1)	73,4 (34,4)	66,9 (27,9)	72,8 (33,8)	62,4 (23,4)	51,6 (12,6)	-	70,3
13	69,2 (18)	42,2	78,9 (27,7)	79,4 (28,2)	74,5 (23,3)	67,8 (16,6)	16,6	51,2	59,8 (8,6)	70,4 (19,2)	77,3 (26,1)	72,1 (20,9)	79,4 (28,2)	60,6 (9,4)	46,1	-	76,0
17	42,5	21,3	38,7	41,7	43,6	33,3	17,2	16,1	30,7	47,1	46,1	40,5	52,2 (36,1)	41,9	34,9	-	
18	39,6	20,8	25,4	37,9	37,4	31,3	17,2	-	26,4	38,8	38,8	32,7	50,7 (36,6)	32,8	45,1	-	
19	38,9	20,8	37,2	33,0	41,3	27,7	-	-	23,6	34,6	39,5	36,2	47,2	33,4	34,2	-	
25	15,5	11,7	12,4	17,1	17,7	10,2	-	-	10,2	15,9	15,6	15,0	18,9	13,9	14,4	-	
26	18,9	13,7	25,6	19,0	17,6	15,0	-	-	11,7	17,3	15,3	15,6	19,3	16,8	11,2	-	

Junio 2007

Días	Estaciones																Media
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)			Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	J.I.	P.P.	A.	C.T.	
	PM ₁₀	Percentil 30	Carga neta Polvo africano	PM ₁₀													
2	-	18,6	31,2	31,2	19,8	29,7	-	-	12,0	46,7	37,6	34,1	40,8	33,3	17,6	-	
3	-	21,5	35,6	35,7	28,7	30,9	-	-	18,6	34,9	31,3	27,2	45,3	37,9	17,2	-	

Julio 2007

Días	Estaciones																Media
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)			Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	J.I.	P.P.	A.	C.T.	
	PM ₁₀	Percentil 30	Carga neta Polvo africano	PM ₁₀													
9	37,8	16,7	25,1	34,3	44,1	28,9	21,6	7,3	19,9	31,8	59,8 (52,5)	44,8	50,2 (42,9)	36,9	13,4	80,1 (72,8)	
10	49,0	21,5	33,0	39,7	55,9 (35,5)	38,2	17,8	20,4	22,3	44,8	61,1 (40,7)	51,2 (30,8)	47,8	44,0	10,8	70,2 (49,8)	43,7
11	45,1	21,3	32,5	38,0	61,2 (40,8)	38,5	18,1	20,4	21,2	46,0	60,8 (40,4)	51,1 (30,7)	39,4	33,3	20,8	40,4	
12	43,8	21,0	32,7	38,7	50,7 (35,8)	34,2	19,3	14,9	26,8	51,4 (36,5)	54,5 (39,6)	42,7	41,0	40,3	16,8	34,9	
18	35,8	17,5	20,7	28,8	37,2	23,9	20,1	3,8	16,0	42,0	69,8 (66)	49,0	35,9	37,2	26,7	63,4 (59,6)	
19	39,0	22,0	24,8	38,8	42,1	32,0	19,8	12,2	18,7	43,9	81,5 (69,3)	56,8 (44,6)	38,4	38,1	22,0	80,2 (68)	
20	37,9	22,1	24,6	38,9	37,5	30,3	19,1	11,2	19,1	34,7	59,2 (48)	54,2 (43)	44,0	43,4	23,0	61,9 (50,7)	
21	27,5	16,5	19,5	27,3	23,5	24,3	19,1	5,2	15,7	28,2	51,9 (46,7)	38,8	38,0	34,4	-	55,6 (50,4)	
27	44,4	23,1	27,1	41,8	53,8 (40,1)	32,8	19,1	13,7	34,1	41,7	48,1	46,1	61,8 (48,1)	47,4	-	110,6 (96,9)	49,1
28	46,6	35,6	40,9	41,3	62,2 (39,9)	40,8	18,5	22,3	46,0	68,6 (46,3)	77,1 (54,8)	65,4 (43,1)	72,9 (50,6)	61,4 (39,1)	34,1	143,6 (121,3)	66,7
29	50,5 (29,3)	35,6	37,9	40,8	57,9 (36,7)	40,1	18,9	21,2	52,9 (31,7)	51,3 (30,1)	65,6 (44,4)	63,5 (42,3)	54,1 (32,9)	35,6	40,8	76,3 (55,1)	55,6
30	48,3	25,7	33,9	22,7	51,5 (49,8)	19,8	18,1	1,7	28,2	53,7 (52)	78,6 (76,9)	59,1 (57,4)	70,6 (68,9)	47,9	50,8 (49,1)	-	
31	50,6	31,2	38,0	25,5	72,8	-	-	-	40,1	70,7	87,3	66,8	73,2	56,9	48,2	192,3	68,5

Agosto 2007

Días	Estaciones																Media
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)			Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	J.I.	P.P.	A.	C.T.	
	PM ₁₀	Percentil 30	Carga neta Polvo africano	PM ₁₀													
1	34,9	28,8	29,6	37,0	53,3 (39,5)	32,0	18,2	13,8	36,0	58,2 (44,4)	72,1 (58,3)	55,1 (41,3)	51,0 (37,2)	28,4	20,1	90,9 (77,1)	46,0
9	41,0	20,2	24,0	21,1	39,6	29,9	20	9,9	27,3	38,5	42,2	34,3	47,8	19,0	52,4 (42,5)	56,0 (46,1)	
10	40,7	20,8	24,5	24,4	50,2 (39,9)	30,3	20	10,3	30,7	44,4	48,4	44,7	47,1	32,2	54,6 (44,3)	39,6	
11	36,3	20,4	23,0	25,8	41,7	30,3	20	10,3	30,2	34,9	51,3 (41)	49,6	43,0	35,9	54,7 (44,4)	38,8	
20	42,4	20,2	24,4	24,2	36,7	28,6	21,4	7,2	23,4	46,4	40,5	34,1	51,7 (44,5)	25,7	36,5	47,6	
21	43,5	23,1	25,3	29,2	44,4	30,6	-	-	25,2	44,1	42,6	42,2	43,5	28,0	33,9	43,6	
22	39,0	18,4	20,1	24,1	32,5	24,8	-	-	20,1	32,8	35,0	32,5	32,0	21,7	25,6	24,5	
30	33,8	17,6	21,2	27,3	62,1 (55,8)	27,4	21,1	6,3	26,1	37,4	47,1	41,9	49,8	44,9	86,5 (80,2)	111,2 (104,9)	47,4

Septiembre 2007

Días	Estaciones																Media
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)			Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	J.I.	P.P.	A.	C.T.	
	PM ₁₀	Percentil 30	Carga neta Polvo africano	PM ₁₀													
15	33,5	16,2	17,6	30,0	29,0	23,6	-	-	21,3	23,0	38,3	32,1	37,2	31,4	15,0	26,3	
16	27,6	15,8	15,8	27,7	24,6	20,8	-	-	20,0	22,8	32,4	30,5	31,3	24,3	15,1	21,3	
26	36,3	14,5	16,5	24,6	33,0	22,5	-	-	25,8	33,6	33,4	33,9	48,1	25,1	27,1	29,7	

Octubre 2007

Días	Estaciones																Media
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)			Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	J.I.	P.P.	A.	C.T.	
	PM ₁₀	Percentil 30	Carga neta Polvo africano	PM ₁₀													
11	29,5	20,6	17,5	28,8	25,8	21,4	-	-	21,2	35,1	30,7	28,0	42,4	33,3	30,7	47,8	
12	30,4	18,7	15,1	26,7	36,1	23,0	-	-	23,3	34,7	32,4	33,0	55,2	47,2	44,1	39,0	
13	36,5	19,0	20,6	30,0	28,6	20,0	-	-	21,9	25,6	25,3	29,4	33,3	24,5	42,9	26,7	
14	34,0	-	17,8	28,0	35,7	21,7	-	-	23,1	32,5	34,2	35,5	44,9	35,7	42,7	25,5	
19	37,4	17,4	18,9	26,2	43,6	26,0	16,0	10,0	21,9	30,5	30,4	30,8	47,6	34,9	30,7	113,8 (103,8)	
20	35,0	18,6	20,0	28,3	25,6	26,2	-	-	22,2	24,1	34,0	29,4	36,3	28,4	37,6	39,9	
21	31,8	17,9	16,3	25,6	30,4	25,5	-	-	21,8	22,4	35,5	39,0	39,9	33,1	33,1	30,7	
22	54,6 (43,3)	34,2	30,3	52,0 (40,7)	40,3	29,2	17,9	11,3	27,0	36,0	42,9	40,1	57,7 (46,4)	32,5	40,4	84,5 (73,2)	43,7
23	52,6 (38,9)	35,2	35,4	56,6 (42,9)	44,4	31,8	18,1	13,7	32,3	50,6 (36,9)	48,7	50,1 (36,4)	48,5	37,3	33,6	95,7 (82)	47,5
24	46,0	38,9	42,1	55,8 (24,9)	58,5 (27,6)	49,0	18,1	30,9	40,3	58,9 (27,6)	54,6 (23,7)	56,3 (25,4)	66,6 (35,7)	71,5 (40,6)	38,0	90,5 (59,6)	56,0
25	35,4	19,4	-	15,5	44,9	27,5	18,2	9,3	31,8	42,5	41,1	44,9	50,4 (41,1)	40,6	42,9	51,9 (42,6)	

Noviembre 2007

Días	Estaciones																Media
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)			Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	J.I.	P.P.	A.	C.T.	
	PM ₁₀	Percentil 30	Carga neta Polvo africano	PM ₁₀													
5	23,5	14,5	26,5	26,1	18,9	18,2	-	-	15,5	24,0	28,0	28,2	25,7	15,7	24,3	44,6	
6	25,3	16,7	24,5	28,8	29,0	22,9	-	-	19,0	26,5	40,7	36,7	25,5	14,6	14,7	47,0	
7	21,5	19,5	26,6	29,9	34,6	21,0	-	-	23,0	24,4	43,1	41,7	28,4	15,1	15,4	48,3	
8	33,8	21,6	33,5	39,7	46,4	25,6	17,2	8,4	27,9	31,9	42,4	39,8	42,1	20,2	29,3	65,4 (57)	
9	41,0	29,2	42,7	42,8	55,8 (38,7)	34,3	17,2	17,1	33,5	41,2	50,9 (33,8)	46,4	37,5	30,6	49,6	57,8 (40,7)	43,4
10	37,8	29,1	35,2	45,3	67,1 (55,5)	29,6	18,0	11,6	27,2	32,1	43,8	41,2	43,0	31,0	34,9	30,8	
11	39,7	30,3	36,3	40,0	36,0	31,8	18,0	13,8	27,4	35,9	45,2	41,4	40,5	33,3	53,0 (39,2)	30,9	
12	43,0	29,3	38,1	41,9	41,3	34,0	18,0	16,0	25,4	40,1	49,5	45,0	38,1	47,2	69,2 (53,2)	42,3	
13	44,3	32,8	42,6	50,8 (37,9)	52,2 (39,3)	31,0	18,1	12,9	33,9	52,9 (40)	54,8 (41,9)	43,7	39,8	24,5	39,2	64,3 (51,4)	44,1
14	40,0	24,3	32,5	35,0	46,7	26,3	17,4	8,9	29,9	46,7	50,3 (41,4)	47,9	39,5	35,7	52,9 (44)	58,1 (49,2)	41,7
15	31,9	14,5	26,7	21,5	34,1	23,2	-	-	21,7	28,2	37,7	31,2	30,6	19,6	30,3	31,6	
16	21,7	13,0	20,9	23,9	25,4	29,3	-	-	16,8	29,2	22,9	20,2	24,9	22,3	36,0	19,5	

Diciembre 2007

Días	Estaciones																Media PM ₁₀
	M.C.	P.L.	J.	J. III	S.	Arinaga (Fondo Regional)			Ag.	C.R.	S.A.	P.d.I.	J.I.	P.P.	A.	C.T.	
	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	Percentil 30	Carga neta Polvo africano	PM ₁₀	PM ₁₀							
12	41,7	29,6	34,7	38,7	52,2 (36,4)	35,1	19,3	15,8	37,5	44,0	95,6 (79,8)	77,7 (61,9)	22,6	45,5	38,7	73,7 (57,9)	49,1
13	101,3 (23,2)	51,7 (-26,4) (12,4)	70,4 (-7,7) (14,5)	58,8 (-19,3) (15,9)	107,1 (29)	97,4 (19,3)	19,3	78,1	81,7 (3,6)	115,1 (37)	125,7 (47,6)	105,7 (27,6)	33,0	44,3	60,9 (-17,2) (27,8)	55,6 (-22,5) (16,6)	81,3
14	69,3 (37,3)	35,6	54,8 (22,8)	41,8	61,5 (29,5)	51,3 (19,3)	19,3	32,0	43,3	62,5 (30,5)	75,1 (43,1)	59,9 (27,9)	21,7	21,4	52,9 (20,9)	91,1 (59,1)	54,4
15	47,3	23,7	30,9	29,0	48,4	34,8	-	-	29,7	46,0	46,7	40,6	23,9	36,7	36,2	24,7	
16	35,1	17,7	25,5	20,8	35,2	27,2	-	-	26,0	29,5	33,1	28,3	15,9	13,8	29,5	16,6	
17	32,2	17,1	18,7	24,7	25,8	19,6	-	-	18,8	24,1	25,5	23,2	29,2	19,2	23,2	17,6	
18	37,8	24,1	23,1	28,7	28,3	26,1	19,9	6,2	22,6	64,0 (57,8)	33,4	30,1	25,6	30,6	28,3	23,9	
23	41,5	-	16,9	20,4	22,1	23,4	-	-	19,8	21,7	24,0	19,5	-	25,2	21,6	31,0	
24	40,4	-	31,5	31,0	37,1	36,5	-	-	32,0	35,5	42,0	36,0	-	27,7	-	34,2	