

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

FACULTAD DE FARMACIA

**DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y BROMATOLOGÍA, TOXICOLOGÍA Y
MEDICINA LEGAL**



**“EVALUACIÓN DE IMPACTO EN SALUD DE POLÍTICAS PÚBLICAS: EL
PLAN DE CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA INDUSTRIAL BAHÍA DE
ALGECIRAS”**

Memoria que presenta

FRANCISCO JAVIER RODRÍGUEZ RASERO

para optar al título de Doctor por la Universidad de Sevilla

Septiembre de 2020



D^a MARÍA DEL CARMEN GARCÍA PARRILLA, Catedrática de Universidad y Directora del Departamento de Nutrición y Bromatología, Toxicología y Medicina Legal de la Universidad de Sevilla,

CERTIFICA: Que la Tesis Doctoral titulada “**EVALUACIÓN DE IMPACTO EN SALUD DE POLÍTICAS PÚBLICAS: EL PLAN DE CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA INDUSTRIAL BAHÍA DE ALGECIRAS**”, presentada por el Ldo. D FRANCISCO JAVIER RODRÍGUEZ RASERO para optar al grado de Doctor por la Universidad de Sevilla, ha sido realizada en el Área de Toxicología de este Departamento bajo la dirección de la Dra. Ana Isabel Prieto Ortega, la Dra. Ángeles Mencía Jos Gallego y la Dra. Ana Sánchez de la Campa Verdone.

Y para que así conste, firmo el presente en Sevilla,

Septiembre de 2020.

Dra. María del Carmen García Parrilla



D^a D^a ANA ISABEL PRIETO ORTEGA, Profesora Titular del Departamento de Nutrición y Bromatología, Toxicología y Medicina Legal de la Universidad de Sevilla, D^a ÁNGELES MENCÍA JOS GALLEGO, Catedrática de Universidad del Departamento de Nutrición y Bromatología, Toxicología y Medicina Legal de la Universidad de Sevilla y D^a ANA SÁNCHEZ DE LA CAMPA VERDONA, Profesora Titular del Departamento de Ingeniería Minera, Mecánica, Energética y de la Construcción de la Universidad de Huelva.

CERTIFICAN: Que la Tesis Doctoral titulada “**EVALUACIÓN DE IMPACTO EN SALUD DE POLÍTICAS PÚBLICAS: EL PLAN DE CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA INDUSTRIAL BAHÍA DE ALGECIRAS**”, ha sido realizada por el Ldo. D. FRANCISCO JAVIER RODRÍGUEZ RASERO en el Departamento de Nutrición y Bromatología, Toxicología y Medicina Legal de la Universidad de Sevilla, bajo su dirección y avalan la idoneidad de la presentación de la misma, reuniendo las condiciones requeridas para optar al grado de Doctor por la Universidad de Sevilla.

Y para que así conste, firmamos en Sevilla, septiembre de 2020.

Dra. Ana Isabel Prieto Ortega

Dra. Ángeles Mencía Jos Gallego

Dra. Ana Sánchez de la Campa Verdona

Contenido

Índice de tablas	6
Índice de figuras	9
Acrónimos y abreviaturas	11
1. INTRODUCCIÓN	12
1.1. La evaluación de impacto en salud.....	12
1.2. Relación entre la salud y la calidad del aire ambiente	23
1.2.1. Evaluación de la exposición.....	24
1.2.2. Efectos potenciales sobre la salud	27
1.3. La calidad del aire ambiente	38
1.3.1. Marco estratégico.....	38
1.3.2. Marco legislativo	42
1.3.3. Los Planes de Calidad del Aire.....	50
1.3.4. Los fenómenos meteorológicos	53
2. FINALIDAD, ÁMBITO Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO	55
3. METODOLOGÍA.....	58
3.1. Metodología de la evaluación de impacto en salud	58
3.2. Análisis en profundidad (I): Cuantificación de los impactos en salud	63
3.2.1. La evaluación del riesgo de la contaminación del aire ambiente	65
3.2.2. Valoración económica de los impactos en salud.....	72
3.2.3. Incertidumbres de la estimación.....	76
3.3. Análisis en profundidad (II): Vientos	78
3.3.1. Determinación de los grupos	78
3.3.2. La mortalidad diaria en la Bahía de Algeciras.....	81
3.3.3. Análisis estadístico	81
3.4. Análisis en profundidad (III): PM10 y días NAF.....	82
3.4.1. Tipos de estudios	83
3.4.2. Variables	86
3.4.3. Fuentes de información.....	88
3.4.4. Análisis estadístico	88
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	92
4.1. Descripción del proyecto	92
4.1.1. Situación inicial.....	93
4.1.2. Finalidad y objetivos.....	93
4.1.3. Estructura.....	96
4.1.4. El plan de actuación.....	98
4.1.5. Medidas del plan	101
4.2. Caracterización de la población y su entorno	104
4.2.1. Caracterización de la población	104
4.2.2. Caracterización del entorno de la actuación	117
4.2.3. Participación ciudadana	119
4.3. Identificación de los impactos en los determinantes de salud	121
4.3.1. Factores ambientales	121
4.3.2. Factores socioeconómicos y convivencia social	124
4.3.3. Otros factores	126
4.3.4. Análisis de medidas y lista de chequeo de impactos sobre determinantes... ..	128
4.4. Análisis preliminar.....	130
4.4.1. Aire ambiente (partículas en suspensión)	130
4.4.2. Aire ambiente (otros contaminantes).....	130
4.4.3. Empleo y desarrollo económico.....	133

4.4.4.	Lista de chequeo (análisis preliminar de los impactos en salud)	133
4.5.	Relevancia de los impactos	135
4.6.	Análisis en profundidad	136
4.6.1.	Cuantificación de los impactos en salud	136
4.6.2.	Estudio de la asociación entre el régimen de vientos y la salud	157
4.6.3.	Estudio de la asociación entre PM10 y salud. Modificación del efecto	166
4.7.	Discusión e incertidumbres	205
5.	CONCLUSIONES	209
	Bibliografía	212
	Anexo 1. Criterios de valoración de impactos sobre los determinantes de salud	227
	Anexo 2. Lista de Chequeo de identificación de impactos en determinantes de salud	228
	Anexo 3. Lista de chequeo de Valoración Preliminar de Impactos en la Salud	229
	Anexo 4. Cuadro de Valoración Preliminar de Impactos en la Salud.	230
	Anexo 5. Decisiones para el análisis preliminar de los impactos significativos en salud	233
	Anexo 6. Mapas con la población y estaciones de la RVCCA por municipios	234
	Anexo 7. Análisis en profundidad. Parte 1.	237
	Anexo 8. Análisis en profundidad. Parte 2.	240
	Anexo 9. Análisis en profundidad. Parte 3: Obtención y preparación de datos	243
	Anexo 10. Análisis en profundidad. Parte 3: Análisis exploratorio	252
	Anexo 11. Análisis en profundidad. Parte 3: Control de estacionalidad y tendencias a largo plazo	263
	Anexo 12. Análisis en profundidad. Parte 3: Modelos de asociación entre la exposición y el efecto	264
	Anexo 13. Análisis en profundidad. Parte 3: Validación del modelo	283

Índice de tablas

Tabla 1.	Tipos de EIS.	19
Tabla 2.	Modelo EIS en Andalucía.	22
Tabla 3.	Principales fuentes de contaminantes.	26
Tabla 4.	Impacto en la morbilidad por la exposición a contaminación del aire.	30
Tabla 5.	Valores de referencia de la UE y de la OMS para partículas.	33
Tabla 6.	Estimación de los efectos (evolución desde 2000 a 2020) de la contaminación atmosférica en la salud realizada para la Estrategia Temática de Contaminación Atmosférica de 2005.	40
Tabla 7.	Resumen de la finalidad y de los objetivos.	57
Tabla 8.	Contaminantes del aire, tipos de exposición y algunos de los indicadores de mortalidad prematura que utiliza AIRQ+.	70
Tabla 9.	Clasificación de las medidas del PMCA.	99
Tabla 10.	Clasificación de las medidas del PMCA.	103
Tabla 11.	Población en los municipios de la Bahía de Algeciras durante el periodo 2005-2013.	105
Tabla 12.	Datos básicos de los municipios de la Bahía de Algeciras.	106
Tabla 13.	Tasa municipal de desempleo. Media anual (año 2018).	114
Tabla 14.	Medidas del PMCA, determinantes afectados y valoración cualitativa de la relevancia de los impactos sobre los determinantes de salud.	129
Tabla 15.	Análisis preliminar de los impactos en salud.	134
Tabla 16.	Relevancia de los impactos en salud. Indicador anual de PM10.	135
Tabla 17.	Estaciones de la RVCAA en la Zona Industrial Bahía de Algeciras.	137
Tabla 18.	Días válidos por municipio y en la Bahía de Algeciras (2005-2013).	141
Tabla 19.	Correlaciones parciales de orden cero entre los VMD.	142
Tabla 20.	Elementos necesarios para la construcción de la recta de sustitución de datos perdidos.	143

Tabla 21. Días válidos tras la sustitución de los valores perdidos.	144
Tabla 22. Resumen de los cálculos de los VMA globales y estadísticos descriptivos en Algeciras.	144
Tabla 23. Resumen de los cálculos de los VMA globales y estadísticos descriptivos en La Línea.	144
Tabla 24. Resumen de los cálculos de los VMA globales y estadísticos descriptivos en Los Barrios. ...	145
Tabla 25. Resumen de los cálculos de los VMA globales y estadísticos descriptivos en San Roque. ...	145
Tabla 26. Resumen de los cálculos de los VMA globales y estadísticos descriptivos de la variable Bahía Algeciras.	145
Tabla 27. Valores medios anuales de PM10 por municipio y año.	146
Tabla 28. Valores medios anuales de PM2,5 por municipio y año.	146
Tabla 29. Población total y por municipio, por año y edad, en la Bahía de Algeciras (periodo 2005-2013).	147
Tabla 30. TME por municipio, por año y edad, en la Bahía de Algeciras (periodo 2005-2013).	148
Tabla 31. Muertes prematuras evitables durante el periodo de estudio en Algeciras.	150
Tabla 32. Muertes prematuras evitables durante el periodo de estudio en Los Barrios.	151
Tabla 33. Muertes prematuras evitables durante el periodo de estudio en La Línea.	152
Tabla 34. Muertes es prematuras evitables durante el periodo de estudio en San Roque.	153
Tabla 35. Muertes prematuras evitables (total y media anual) si se hubiesen dado los dos escenarios de contraste, con los valores superior e inferior de su intervalo de confianza al 95%.	154
Tabla 36. Valores de PIB per cápita (en paridades de poder adquisitivo, PPA) para España y los países de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), inflación anual (ΔP) y de vida estadística (VSL), expresados en millones de dólares de los Estados Unidos de América.	155
Tabla 37. Beneficios (en millones de euros) en cada municipio de la Bahía de Algeciras por las ganancias en salud derivadas de alcanzar el objetivo del PMCA, con el valor central de la estimación y los valores superior e inferior de su intervalo de confianza al 95%.	155
Tabla 38. Beneficios (en millones de euros) en cada municipio de la Bahía de Algeciras por las ganancias en salud si se alcanzase el valor guía de la OMS para PM2,5, con el valor central de la estimación y los valores superior e inferior de su intervalo de confianza al 95%.	156
Tabla 39. Beneficios (en millones de euros) totales por las ganancias en salud de los dos escenarios de contraste con los valores superior e inferior de su intervalo de confianza al 95%, así como las ganancias en salud medias por año.	156
Tabla 40. Frecuencia absoluta, frecuencia relativa y porcentaje de días clasificados en alguna de las cuatro categorías de la variable wind durante el periodo 2005-2013.	159
Tabla 41. Frecuencias absolutas anuales de los días clasificados en alguna de las cuatro categorías de la variable wind.	159
Tabla 42. Algunas medidas de tendencia central y de dispersión de las cinco variables de mortalidad diaria, periodo 2005-2013.	160
Tabla 43. Resultados del test de normalidad de los residuos del número de defunciones totales diarias en la Bahía de Algeciras (total) y por municipios en el periodo 2005-2013.	164
Tabla 44. Resultados del test de Kruskal-Wallis entre la mortalidad diaria (número de defunciones diarias) y las direcciones predominantes del viento en el periodo 2005-2013.	165
Tabla 45. Tratamiento de datos para el análisis en profundidad (parte 3).	166
Tabla 46. Estadísticas del número de muertes en la Bahía de Algeciras (2005-2013).	169
Tabla 47. Tabla de frecuencias del número de muertes en la Bahía de Algeciras (2005-2013).	170
Tabla 48. Resumen estadístico de las variables cuantitativas.	173
Tabla 49. Resultados del modelo 1a.	187
Tabla 50. Resultados del modelo 1b.	187
Tabla 51. Resultados del modelo 1c.	188
Tabla 52. Resultados del modelo 1d.	188
Tabla 53. Resultados del modelo modelag para la variable "pm10".	189
Tabla 54. Resultados del modelo modelag para la variable "somo".	189
Tabla 55. Resultados del modelo 2 para la variable "pm10".	191
Tabla 56. Efecto acumulado de la variable "pm10" según el modelo 2.	192
Tabla 58. Resultados de los modelos "pm".	195
Tabla 59. Resultados de los modelos "oz".	196
Tabla 60. Resultados de los modelos "t".	197
Tabla 61. Resultados de los modelos "hr".	198
Tabla 62. Resultados del modelo Mp8.	198

<i>Tabla 63. Resultados de los modelos Mp7.....</i>	<i>199</i>
<i>Tabla 64. Resultados del modelo Mp7_hr</i>	<i>199</i>
<i>Tabla 65. Resultados de los modelos Mp6.....</i>	<i>199</i>
<i>Tabla 66. Resultados del modelo Mp6_fst.....</i>	<i>200</i>
<i>Tabla 67. Resultados de los modelos Mp5.....</i>	<i>200</i>
<i>Tabla 68. Resultados del modelo Mp5_o3.....</i>	<i>200</i>
<i>Tabla 69. Resultados de los modelos Mp4.....</i>	<i>201</i>
<i>Tabla 70. Resultados del modelo Mp5int</i>	<i>201</i>
<i>Tabla 71. Resultados de la prueba ANOVA de los modelos Mp5_o3 y Mp5int.....</i>	<i>202</i>

Índice de figuras

Figura 1. Salud en todas las políticas y el modelo de Whitehead y Dahlgren ¹¹	15
Figura 2. Interpretación gráfica simplificada del concepto de ruta de exposición.	25
Figura 3. Representación gráfica del concepto de inmisión.....	27
Figura 4. Representación de los diferentes efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud. .	28
Figura 5. Tamaño relativo de diferentes tipos de material particulado atmosférico.	31
Figura 6. Distintas denominaciones de las partículas según su tamaño.	33
Figura 7. Impactos del tiempo extremo y eventos relacionados con el clima, como ejemplo de la información puesta a disposición por la EEA.	39
Figura 8. Marco Legal de la calidad del aire.	42
Figura 9. Zonificación de Andalucía para efectuar las evaluaciones anuales de la calidad del aire.	48
Figura 10. Estación de la RVCCA de tipo tráfico ubicada en el parque de los Príncipes (Sevilla).	49
Figura 11. Serie temporal (1996-2018) de óxidos de nitrógeno y de partículas PM10 de la estación de Príncipes (Sevilla).	49
Figura 12. Árbol de decisión de las etapas de la EIS y correspondencia con Anexos y los documentos de apoyo (DAP) del Manual.	59
Figura 13. Esquema general de la metodología utilizada para la primera parte del Análisis en profundidad.	63
Figura 14. Esquema global de un proceso de ERS-CA.	67
Figura 15. Curva de concentración-respuesta para PM2,5 (lag 0-1) y porcentaje de cambio en la mortalidad para España.	69
Figura 16. Rosa de los vientos y correspondencia con los ángulos.	79
Figura 17. Relación entre el número de superaciones diarias al año y la media anual de PM10.	96
Figura 18. Pirámides de población de los municipios de la Bahía de Algeciras sobre la andaluza (censo 2011).	107
Figura 19. Pirámides de población de los municipios de la Bahía de Algeciras del censo 2011 sobre la del censo 2001.	108
Figura 20. Zonas desfavorecidas del municipio de Algeciras (escala 1:30.000).	111
Figura 21. Zonas desfavorecidas del municipio de La Línea de la Concepción (escala 1:15.000).	111
Figura 22. Zonas desfavorecidas del municipio de San Roque (escala 1:10.000).	112
Figura 23. Estadísticas Longitudinales de Supervivencia y Longevidad en Andalucía, 2002-2013. Razones de mortalidad general comparada con la media andaluza (celdas de 250 metros) y espacios industriales (en azul). Visión general de la Bahía de Algeciras.	116
Figura 24. Estadísticas Longitudinales de Supervivencia y Longevidad en Andalucía, 2002-2013. Razones de mortalidad general. Celdas de 250 metros. Zona de Sotogrande (San Roque).	116
Figura 25. Rosa de los Vientos en el año 2007.	117
Figura 26. Vista general de la Bahía de Algeciras, escala 1:70.000.	139
Figura 27. Evolución de los Valores medios anuales de partículas finas por municipio durante el periodo 2005-2013.	146
Figura 28. Rosa de los Vientos en la Zona Industrial Bahía de Algeciras, periodo 2005-2013.	158
Figura 29. Evolución en el periodo 2005-2013 de las frecuencias absolutas anuales de los días en función de su categoría de la variable wind.	159
Figura 30. Diagrama de cajas del número de defunciones totales diarias en la Bahía de Algeciras en el periodo 2005-2013.	161
Figura 31. Histograma y curva normal teórica del número de defunciones totales diarias (en azul) en la Bahía de Algeciras en el periodo 2005-2013.	161
Figura 32. Gráficos Q-Q de los residuos estandarizados del número de defunciones totales diarias en la Bahía de Algeciras (total) en el periodo 2005-2013.	162
Figura 33. Gráficos Q-Q de los residuos estandarizados del número de defunciones totales diarias en Algeciras, en el periodo 2005-2013.	163
Figura 34. Gráficos Q-Q de los residuos estandarizados del número de defunciones totales diarias en Los Barrios, en el periodo 2005-2013.	163
Figura 35. Gráficos Q-Q de los residuos estandarizados del número de defunciones totales diarias en La Línea de la Concepción, en el periodo 2005-2013.	163
Figura 36. Gráficos Q-Q de los residuos estandarizados del número de defunciones totales diarias en San Roque, en el periodo 2005-2013.	164

Figura 37. Serie temporal del número de muertes diarias, causas no externas.	170
Figura 38. Función de probabilidad del número de muertes diarias, causas no externas.	170
Figura 39. Diagrama de cajas del número de muertes diarias, causas no externas.	171
Figura 40. Serie temporal del número de muertes diarias, causas cardiovasculares.	171
Figura 41. Función de probabilidad del número de muertes diarias, causas cardiovasculares.	171
Figura 42. Serie temporal del número de muertes diarias, causas respiratorias.	172
Figura 43. Función de probabilidad del número de muertes diarias, causas respiratorias.	172
Figura 44. Serie temporal de la variable "pm10".....	173
Figura 45. Función de densidad de la variable "pm10".....	174
Figura 46. Diagrama de cajas de la variable "pm10".....	174
Figura 47. Serie temporal de la variable "ozono".....	175
Figura 48. Función de densidad de la variable "ozono".....	175
Figura 49. Diagrama de cajas de la variable "ozono".....	175
Figura 50. Función de densidad de la variable "tmed".....	176
Figura 51. Diagrama de cajas de la variable "tmed".....	176
Figura 52. Serie temporal de la variable "hr".....	177
Figura 53. Función de densidad de la variable "hr".....	177
Figura 54. Diagrama de cajas de la variable "hr".....	177
Figura 55. Serie temporal de la variable "gripe".....	178
Figura 56. Relaciones entre las variables "pm10", "ozono" y "tmed".....	179
Figura 57. Relaciones entre las variables "pm10", "ozono" y "tmed" en los subgrupos definidos por la variable "naf".....	180
Figura 58. Relación no lineal entre las variables "tmed" y "pm10".....	180
Figura 59. Relación no lineal entre las variables "ozono" y "pm10".....	181
Figura 60. Relación entre "pm10" y "nunat".....	181
Figura 61. Relación entre "tmed" y "nunat".....	182
Figura 62. Relación entre "ozono" y "nunat".....	182
Figura 63. Relación entre "hr" y "nunat".....	182
Figura 64. Relación entre "pm10" (lag 1) y "nunat".....	183
Figura 65. Relación entre "pm10" (lag 0-1) y "nunat".....	183
Figura 66. Relación entre "pm10" (lag 1-2) y "nunat".....	184
Figura 67. Comparación de los valores reales con los valores predichos por el modelo 0.....	185
Figura 68. Términos lag modelizados a la vez para la variable "pm10".....	190
Figura 69. Términos lag modelizados a la vez para la variable "ozono".....	190
Figura 70. Resultados del modelo 2 para la variable "pm10".....	191
Figura 71. Efecto acumulado según el modelo 2 para la variable "pm10".....	192
Figura 72. Resultados del modelo 2 para la variable "ozono".....	192
Figura 73. Resultados del modelo 2t para la variable "tmed".....	193
Figura 74. Efecto acumulado según el modelo 2t para la variable "tmed".....	193
Figura 75. Resultados del modelo con retardos 0:1 y 2:5 para la variable "pm10".....	194
Figura 76. Resultados del modelo con retardos 0:2 para la variable "pm10".....	194
Figura 77. Resultados del modelo 2t.....	196
Figura 78. Residuales de la deviance VS tiempo.....	203
Figura 79. Autocorrelación parcial en el modelo Mp5.....	204

Acrónimos y abreviaturas

CDAU	Callejero Digital de Andalucía Unificado
CMA	Consejería de la Junta de Andalucía competente en materia de Medio Ambiente
CRF	Funciones de concentración-respuesta
Decreto	Decreto 169/2014, de 9 de diciembre, por el que se establece el procedimiento
EIS	de Evaluación del Impacto en la Salud de la Comunidad Autónoma de Andalucía
DERA	Datos Espaciales de Referencia de Andalucía
EAA	Agencia Europea de Medio Ambiente
EIA	Evaluación de Impacto Ambiental
EIS	Evaluación de Impacto en Salud
EPOC	Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica
IAIA	International Association for Impact Assessment
IECA	Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía
Ley GICA	Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental
LSPA	Ley 16/2011, de 23 de diciembre, de Salud Pública de Andalucía
MITECO	Ministerio para la Transición Ecológica
OMS	Organización Mundial de la Salud
PM10	Partículas que pasan a través del cabezal de tamaño selectivo, definido en el método de referencia para el muestreo y la medición de PM10 de la norma UNE-EN 12341, para un diámetro aerodinámico de 10 µm con una eficiencia de corte del 50 %.
PM2,5	Partículas que pasan a través del cabezal de tamaño selectivo, definido en el método de referencia para el muestreo y la medición de PM2,5 de la norma UNE-EN 14907, para un diámetro aerodinámico de 2,5 µm con una eficiencia de corte del 50 % (término equivalente: Partículas finas)
PMCA	Plan de Mejora de Calidad del Aire de la Zona Industrial Bahía de Algeciras
RVCCA	Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire de Andalucía
SIG	Sistemas de Información Geográfica
VIS	Documento de Valoración de Impacto en Salud

1. INTRODUCCIÓN

La evaluación de impacto en salud (EIS) es un procedimiento de evaluación de impacto cuyo objetivo es predecir los efectos de una propuesta, ya sea ésta un proyecto, un plan o un programa, sobre la salud de las personas y su distribución en la población, así como proponer recomendaciones para potenciar sus efectos positivos y minimizar o, si es posible, eliminar los negativos.

Dentro de los distintos ámbitos a los que puede contribuir una EIS destacan los procesos de diseño y planificación de políticas públicas, entendiendo como tales a los programas de acción política de los gobiernos para resolver los problemas colectivos y que deben contener, entre otros elementos, una situación de partida, un campo de acción y un resultado (cambio esperado) consecuencia de la acción pública ¹. Entre las políticas con mayor impacto en la salud de la población se encuentran las políticas ambientales y, en particular, las relativas a la calidad del aire.

En este capítulo introduciremos el concepto de EIS, sus características principales y su implementación a nivel nacional e internacional, veremos los aspectos más importantes relativos a la calidad del aire ambiente, con especial atención a los planes de mejora de calidad del aire, y haremos un resumen de la relación entre la salud humana y la calidad del aire ambiente.

1.1. La evaluación de impacto en salud

La EIS es un proceso que permite identificar, en base al conocimiento científico existente, los posibles impactos de una nueva propuesta sobre la salud de la población con el objetivo principal de mejorar dicha propuesta. En términos generales, la EIS es un tipo de evaluación prospectiva de impactos, una estrategia consolidada que se utiliza para estimar y anticipar las consecuencias de políticas, planes, programas y proyectos ².

Dentro de las diferentes evaluaciones de impacto, la evaluación de impacto ambiental (EIA) y la evaluación del impacto social presentan muchos aspectos que se solapan con la EIS y los resultados de ambas evaluaciones de impacto son, frecuentemente, el punto de partida de la EIS por lo que la EIS debería ser la última evaluación de impacto en realizarse ³.

En el marco de una EIS, el término *impacto en la salud* se refiere al efecto global sobre la salud de la población, tanto directo como indirecto a través de factores intermedios que influyen en los determinantes de la salud de la población,

que puede tener la ejecución y puesta en marcha de un proyecto o la adopción de un plan o programa. Estos efectos sobre la salud de la población pueden darse bien de manera inmediata, bien a medio o largo plazo.

Desde un punto de vista formal, la definición de evaluación de impacto en salud más utilizada habitualmente es quizás la recogida en el Documento del Consenso de Gotemburgo (DCG, en adelante) de 1999, documento de referencia en la materia. Existen también otras muchas definiciones, además de la del DCG. Por ejemplo, la de la Asociación Internacional de Evaluación de Impacto ⁴ y la de la Academia Nacional de Ciencias de los EE.UU. ⁵, que añaden a la definición del DCG la gestión de los efectos identificados (identificación y formulación de recomendaciones, respectivamente).

Algunas definiciones de “Evaluación de Impacto en Salud”

“Una combinación de procedimientos, métodos y herramientas con los que puede ser juzgada una política, un programa o un proyecto, en relación a sus potenciales efectos en la salud de la población, y acerca de la distribución de esos efectos dentro de la población ⁶.

“Un método estructurado para evaluar y mejorar las consecuencias sobre la salud de proyectos y políticas de sectores no sanitarios. Es un proceso multidisciplinar que combina una variedad de evidencias cualitativas y cuantitativas dentro del marco de la toma de decisiones” ⁷.

“Una combinación de procedimientos, métodos y herramientas que permiten valorar los efectos potenciales y, en ocasiones inesperados, de una política, plan o programa en la salud de una población y en la distribución de esos efectos dentro de dicha población. La EIS identifica acciones adecuadas para gestionar dichos efectos” ⁴.

“Un proceso sistemático que recurre a una combinación de fuentes de información y métodos de análisis, y que considera las aportaciones de agentes clave con el fin de identificar los efectos potenciales de una política, programa o proyecto sobre la salud de una población y su distribución en la población. La EIS formula recomendaciones para gestionar estos efectos” ⁵.

Como vemos, y a diferencia de otras evaluaciones de impacto, la EIS hace especial énfasis en la *equidad en salud*, pues se da una especial importancia a la distribución en la población de los impactos y tiene especialmente en cuenta dicha distribución entre los grupos de población más vulnerables. Para alcanzar sus objetivos, la EIS puede utilizar técnicas cualitativas, cuantitativas y participativas.

Asimismo, el DCG recoge los cuatro *valores o principios básicos* comunes a todas las evaluaciones de impacto en salud, que son los siguientes:

- *Democracia*: La EIS es un proceso transparente y democrático basado en el derecho de las personas a participar en decisiones que afectan a su salud y bienestar, tanto directamente como a través de los representantes elegidos por ellas.
- *Equidad*: La EIS es un proceso centrado en el logro de la equidad, es decir, se hace un énfasis especial en la distribución de los impactos dentro de la población, en lo referente a la clase social, el género, la edad o etnia, entre otros factores. Un ejemplo de ello son la desigual distribución de los factores ambientales dentro de la población. Ello provoca que los niveles más altos de riesgos para la salud de origen ambiental se encuentren, con frecuencia, en los grupos de población más desfavorecidos ⁸.
- *Desarrollo sostenible*: Considera impactos a corto y largo plazo, directos e indirectos, con la consigna de que el bienestar de hoy no puede comprometer el bienestar de las generaciones futuras.
- *Uso ético de la evidencia*: El uso de la evidencia tiene que ser riguroso y basado en diversas disciplinas y metodologías científicas que faciliten una evaluación lo más completa posible de los impactos potenciales.

La EIS se enmarca en una estrategia más amplia, denominada *salud en todas las políticas* (STP). De acuerdo con la Declaración de Helsinki sobre Salud en Todas las Políticas de 2013 ⁹, la STP es un enfoque para las políticas públicas en todos los sectores que de manera sistemática tiene en cuenta las implicaciones en la salud que tienen las decisiones que se toman, busca sinergias y evita impactos perjudiciales para la salud con el fin de mejorar la salud de la población y la equidad en salud.

Asimismo, la aplicación de la STP se justifica en el hecho de que la salud de las personas no es sólo una responsabilidad de la administración sanitaria, sino que también implica cuestiones políticas más amplias tales como la protección ambiental, o los transportes, entre otras. Así, existen factores evitables e identificados que determinan la salud y que están fuera del control de la administración sanitaria ¹⁰ (Figura 1).



Figura 1. Salud en todas las políticas y el modelo de Whitehead y Dahlgren ¹¹.

Entre estos factores tienen una gran importancia los denominados *Determinantes Sociales de la Salud* (DSS), definidos por la OMS como “las circunstancias en que las personas nacen crecen, viven, trabajan y envejecen, incluido el sistema de salud. Esas circunstancias son el resultado de la distribución del dinero, el poder y los recursos a nivel mundial, nacional y local, que depende a su vez de las políticas adoptadas” ¹².

Los DSS explican la mayor parte de las inequidades en salud observadas en y entre los países de modo que desde mediados del siglo pasado se ha producido un desplazamiento en la búsqueda de las causas de la enfermedad, desde las centradas en el individuo hacia las relacionadas con los determinantes sociales. Estos DSS se consideran hoy en día los principales moduladores del fenómeno salud y la enfermedad ¹³.

Uno de los modelos más influyentes para explicar la relación entre las salud y las desigualdades sociales es el de Whitehead y Dahlgren¹¹ (1991), que explica cómo las desigualdades sociales en salud son el resultado de las interacciones entre los diferentes niveles de las condiciones causales, de lo individual a las comunidades a nivel de las políticas nacionales de salud.

Según este modelo, las personas con una situación económica desfavorable suelen tener una mayor prevalencia de factores negativos relacionados con el comportamiento, como el tabaquismo y la mala alimentación, y tienen mayores dificultades económicas para llevar un estilo de vida saludable. Esto, junto con otros condicionantes laborales, económicos, culturales y ambientales, como el acceso a servicios, crea riesgos diferenciales para las personas socialmente desfavorecidas.

En este contexto, la EIS es un instrumento que permite el trabajo intersectorial y la mejora de la salud pública mediante un enfoque por determinantes

socioeconómicos de la salud, de modo que favorece a aquellas políticas y prácticas que mejoran la equidad en salud y reducen las desigualdades en salud ². Es decir, la EIS facilita un procedimiento sistemático que permite visualizar cómo toda nueva propuesta, aun no teniendo la salud entre sus objetivos, puede incidir de forma directa o indirecta en uno o varios determinantes de la salud, teniendo especialmente presente la equidad ¹⁴.

Origen y desarrollo

Puede considerarse que la EIS se ha originado a partir de tres áreas relacionadas dentro de las actividades de salud pública ¹⁵ :

- La salud ambiental.
- La visión social de la salud.
- La equidad en salud.

El enfoque de salud ambiental en la EIS, que se ha denominado en ocasiones *evaluación de impacto en salud ambiental*, tradicionalmente ha implicado un concepto de salud más restrictivo (o menos amplio) que en otros casos, en el sentido de centrarse fundamentalmente en los determinantes de salud individuales y ambientales. Este enfoque implica introducir el factor salud dentro de la EIA (o en otras evaluaciones obligatorias) en lugar de considerar la EIS como una evaluación de impacto diferenciada. Sin embargo, las administraciones competentes en salud pública no han participado de manera habitual en la EIA, sobre todo en la fase de cribado inicial, que es un paso esencial dentro de estas evaluaciones ¹⁶. Por tanto, aun siendo un componente importante en la evaluación ambiental, en general se considera que la salud no ha sido abordada de manera adecuada en el marco de la EIA ^{2,17,18}.

Por otro lado, la *visión social de la salud* ha aprovechado cada vez más la EIS como un mecanismo práctico para promocionar mejoras en la salud , de modo que ha favorecido el uso de la EIS por sectores no sanitarios para asegurar que las potenciales consecuencias en la salud se han considerado en la planificación o en la toma de decisiones ^{15,19}. Una característica de la visión social de la salud es que la EIS se apoya en una definición más amplia de la salud, basándose en los conocimientos sobre los factores de tipo comunitarios, sociales, mentales y espirituales que determinan la salud ²⁰.

En cuanto a la *equidad en salud*, la denominada “evaluación del impacto en la equidad en salud” es un instrumento de apoyo a la toma de decisiones que trata de identificar cómo un programa, política o iniciativa similar impactará de modo diferente en los grupos de población ²¹. En este sentido, la EIS podría ser adaptada para evaluar la equidad ²², pues la EIS puede ser un instrumento útil para abordar las potenciales inequidades de salud que pudieran originar una actuación y, en particular, por las políticas públicas ²⁰.

A lo largo de los últimos veinticinco años la EIS se ha desarrollado como una forma más de evaluación del impacto, comenzando sobre todo en el Reino Unido, Holanda y Suecia. El uso de los métodos y los distintos enfoques de la EIS se han expandido rápidamente y ahora se aplica tanto en el sector público como en el privado, en un número creciente de países en todo el mundo ²³. Actualmente, la EIS está afianzada en Europa, además del Reino Unido, Holanda y Suecia, en países como Finlandia, Suecia, Suiza y España. Fuera de Europa podemos encontrar ejemplos de EIS sobre todo en los Estados Unidos, Canadá y Australia.

Ámbito de actuación

Como ya se mencionó en la definición de EIS, el ámbito de actuación de una EIS puede ser una política, un plan, un programa o un proyecto. En principio, el uso de las evaluaciones de impacto se centró en propuestas y proyectos que abarcaban un área limitada, tales como planes de infraestructuras o aeropuertos, debido al hecho de que son propuestas específicas y tangibles, en contraposición con las políticas, cuyos potenciales impactos son mucho más complejos de evaluar ²⁴.

No obstante, en los últimos quince años se ha realizado un gran número de EIS en Europa tanto de proyectos como de políticas, centrándose principalmente en las inequidades en salud, el cambio climático y las políticas de sostenibilidad, pero también en políticas relacionadas con la agricultura, el turismo, la cultura, el bienestar social, la minería y el medio ambiente ²⁵⁻²⁷.

En el caso concreto de la Unión Europea, en 2002 se publicó una Comunicación sobre evaluación del impacto ²⁸. En ella se dice que la evaluación del impacto es una “herramienta para mejorar la calidad y coherencia del proceso de desarrollo de políticas”. La evaluación integrada del impacto se organiza, de acuerdo con este documento, alrededor de las evaluaciones del impacto económico, social y ambiental, mencionándose el factor salud de manera expresa en las dos últimas evaluaciones.

Asimismo, como apoyo a la Estrategia Europea de Salud Pública de 2002, se publicó en 2004 una guía para evaluar los impactos en la salud humana de las políticas europeas ²⁹. Esta guía fue encargada por la Dirección General de Salud y Protección de los Consumidores de la Comisión Europea, con el propósito de que sirviera como herramienta a los servicios de la Comisión.

El Libro Blanco “Juntos por la salud” ³⁰, publicado en 2007, incluye entre los principios fundamentales de la acción en salud de la Comisión Europea la Salud en Todas las Políticas (Principio 3) y la acción asociada a este principio de STP incluye el uso de la EIS a nivel europeo y estatal, aunque refiriéndose únicamente a políticas. Asimismo, la Unión Europea ha financiado en los últimos años numerosos proyectos de investigación y desarrollo sobre EIS.

Por otro lado, la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) son evaluaciones obligatorias desde el punto de vista legal en la Unión Europea. La primera se ocupa de evaluar los impactos ambientales de los proyectos y la segunda evalúa los planes y programas.

En la redacción inicial en la Directiva 2011/92/EU, sobre la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente ³¹, se hacía mención expresa a los “efectos sobre el ser humano” entre los aspectos que debería contemplar una evaluación ambiental. A pesar de ello, la EIS como tal no llegó a institucionalizarse^a en las evaluaciones ambientales. No obstante, en 2014 se modificó esta Directiva ³² y se incluyó la expresión “la población y la salud humana”.

Tipos de evaluaciones

Tanto el DCG como numerosas guías y manuales publicados a nivel internacional coinciden en señalar una serie de etapas básicas que debería tener una EIS, que son el *cribado*, en el que se realiza una valoración rápida acerca de la existencia de potenciales impactos entre la política, programa o proyecto y la salud, la *determinación del alcance*, es decir, qué tipo de evaluación debe realizarse, por quién y cómo, la *estimación de impactos*, la *formulación de recomendaciones* y, por último, la *monitorización y seguimiento*.

^a La *institucionalización* de la EIS se define como la integración sistemática de la EIS en el proceso de toma de decisiones y la creación de una “demanda permanente” de utilización de la EIS ³⁵.

En la determinación del alcance suelen distinguirse habitualmente tres tipos de evaluaciones. La siguiente tabla (Tabla 1) hace un pequeño resumen de cada uno de estos tres posibles tipos de EIS.

<i>Aspecto</i>	EIS documental (Desk-based HIA)	EIS rápida (Rapid HIA)	EIS en profundidad (In-depth HIA)
<i>Impactos potenciales sobre la salud</i>	Visión general	Información más detallada	Análisis completo
<i>Información en la que se basa la EIS</i>	Información ya existente y fácilmente accesible, sin consultar a informantes clave o con una consulta mínima.	Información ya existente y datos recabados de informantes clave mediante consulta a agentes, expertos, personas interesadas, etc.	Recogida y análisis exhaustivo de información relevante a través de múltiples métodos y fuentes: técnicas cualitativas, cuantitativas, participativas, etc.
<i>Duración estimada de la EIS (para un asesor)</i>	2-6 semanas	12 semanas	6 meses

Tabla 1. Tipos de EIS.

Fuente: Traducido y adaptado del documento “Evaluación de Impactos en Salud de políticas europeas”³³.

Asimismo, los tipos de EIS pueden clasificarse en función de otros factores:

- Momento de elaboración. Según el momento en que se realiza con respecto a la propuesta que analiza, la EIS puede ser prospectiva, concurrente o retrospectiva.
- Ámbito territorial: La EIS puede ser de ámbito local, regional, estatal o incluso supraestatal, como las EIS de políticas europeas que se realiza por los servicios de la Comisión Europea³⁴.
- Ámbito de actuación: políticas públicas (como proyectos normativos, estrategias, planes o programas) y proyectos.
- Grado de institucionalización: La EIS puede institucionalizarse en diversos grados y con distintos enfoques (por ejemplo EIS voluntaria u obligatoria). Los mecanismos que existen para institucionalizarla son también diversos: directrices, leyes, reglamentos, políticas, marcos administrativos, etc.³⁵.
- Integración con otros tipos de evaluaciones de impacto: La EIS puede combinarse con otras evaluaciones de impacto, como la EIA, o de manera separada. Ambas formas tienen sus ventajas e inconvenientes, aunque la

tendencia en los últimos años es más favorable a la integración de la EIS con otros tipos de evaluaciones de impacto ².

Implementación

Según el documento “Análisis transnacional de la institucionalización de la evaluación de impactos sobre la salud” ³⁵ publicado por la OMS en el año 2013, en el ámbito internacional se está prestando cada vez más atención al potencial que ofrece la EIS como forma de generalizar la salud en las políticas sectoriales.

Los países e instituciones que se estudiaron fueron Australia (Australia Meridional), Canadá (Quebec), Finlandia, Lituania, Países Bajos, Eslovaquia, Suiza, Tailandia, Estados Unidos y la Comisión Europea. Los resultados mostraron que todos los países cuentan con algún tipo de EIS institucionalizada y que el grado de institucionalización es muy variable, tanto de un país a otro como dentro de un mismo país. No obstante, existen similitudes en los mecanismos usados, que normalmente implican la publicación de leyes de salud pública y la creación de centros de investigación.

El modelo de EIS de cada institución, país o región se establece en función de los tipos de EIS especificados en el apartado anterior. En este sentido, algunos países han adoptado marcos legislativos y mecanismos de gobernanza para tener en cuenta el impacto de las políticas, programas o proyectos en la salud. Sin embargo, las diferencias en las condiciones políticas, socioeconómicas y administrativas llevan a diferencias considerables en el uso e institucionalización de la EIS, y se ha investigado poco el uso sistemático de la EIS y los procesos institucionales que apoyan u obstaculizan su uso.

En los últimos años existe un debate a nivel internacional sobre la necesidad de la adopción formal de la EIS, ligándola incluso a conceptos relativamente nuevos, como el de *salud planetaria* ³⁶. Este concepto está basado en entender que la salud y la civilización humana depende del buen estado de los sistemas naturales, como el agua, el aire o la biodiversidad, así como de la buena gestión de los mismos ³⁷.

En lo referente a España, la Ley 33/2011, de 4 de octubre, General de Salud Pública ³⁸ (LGSP), prevé someter a EIS las normas, planes, programas y proyectos que se seleccionen por tener un impacto significativo en la salud, quedando en manos de las comunidades autónomas la regulación de esta herramienta. Asimismo, en el año 2014, el Ministerio competente en Sanidad desarrolló una herramienta de cribado para la evaluación de impacto en salud de políticas nacionales ³⁹.

A nivel autonómico, además de Andalucía, la más avanzada en la implantación de la EIS, como veremos posteriormente, las Comunidades Autónomas de Aragón, Cataluña, Islas Baleares y la Comunidad Valenciana han introducido la EIS en sus respectivas normativas de Salud Pública, y se han desarrollado experiencias también en las Comunidades Autónomas de Cataluña y, sobre todo, del País Vasco.

En general, puede afirmarse que, salvo Andalucía, en España aún no se ha desarrollado la EIS de un modo sistemático, aunque su implementación no ha estado exenta de retos a superar⁴⁰. A nivel internacional y en instituciones como la Comisión Europea tampoco ha sido así, salvo excepciones, a pesar del potencial que atesora la herramienta.

Entre las causas de ello se han apuntado diversos aspectos, entre otros los siguientes^{2,18,34,41-43}:

- Políticos y de gobernanza: ausencia de voluntad política, falta de conocimiento en temas de salud, falta de compromiso sobre salud en otros sectores, escasa tradición de participación en procesos abiertos de toma de decisiones.
- Técnicos y jurídicos: incertidumbres por falta de pruebas científicas (o baja calidad de las mismas) sobre los efectos en salud, problemas derivados de su consideración como traba administrativa y/o de su integración en otras evaluaciones.
- Organizativos: falta de recursos de las Administraciones públicas, necesidad de capacitación en el personal de las Administraciones públicas, elevada carga de trabajo, retención de los trabajadores de salud pública a abordar nuevas áreas de trabajo, necesidad de coordinación intra e interadministrativa.

En cuanto a Andalucía, la Ley 16/2011, de 23 de diciembre, de Salud Pública de Andalucía⁴⁴ (LSPA, en adelante) establece un marco regulatorio en el cual se definen los ámbitos para los que es obligatoria, los procedimientos y la necesidad de un desarrollo reglamentario para su entrada en vigor.

Los *ámbitos de actuación* para la EIS que están regulados en la LSPA son:

- 1) Planes y programas de la Administración de la Junta de Andalucía que tengan clara incidencia en la salud.
- 2) Instrumentos de planeamiento urbanístico, principalmente los

instrumentos de planeamiento general y sus innovaciones.

- 3) Proyectos incluidos en el Anexo I del Decreto 169/2014, de 9 de diciembre, por el que se establece el procedimiento de la Evaluación del Impacto en la Salud de la Comunidad Autónoma de Andalucía⁴⁵ (en adelante, Decreto EIS), siempre que estén situados a menos de 1.000 metros de zonas residenciales.

Los promotores deben realizar el análisis y la valoración de impactos e incluirlos en el documento de Valoración del Impacto en la Salud (documento VIS). Este documento VIS será evaluado por la autoridad competente en materia de salud pública, que tendrá que emitir el correspondiente Informe EIS.

En lo que respecta al *procedimiento* para la evaluación del impacto en salud regulado (de manera somera) en la LSPA, básicamente consiste en la incorporación de la EIS en procedimientos ya establecidos, concretamente en los de aprobación de planes, programas o instrumentos de planeamiento urbanístico o y los de autorización o calificación ambiental en el caso de proyectos. La Tabla 2 resume el modelo EIS implantado en Andalucía.

Aspecto	Modelo EIS en Andalucía
<i>Ámbito territorial</i>	Regional
<i>Momento de elaboración</i>	Prospectiva
<i>Ámbito de aplicación</i>	Planes y programas públicos (incluyendo instrumentos de planeamiento urbanístico) y proyectos.
<i>Integración</i>	Modelo mixto (integrada en evaluación ambiental, en el caso de proyectos y evaluación separada, en planes y programas).
<i>Tipo principal</i>	EIS documental

Tabla 2. Modelo EIS en Andalucía.

Posteriormente, el Decreto EIS reguló el procedimiento de la EIS con mayor concreción y dispuso la obligatoriedad para la administración sanitaria de la Junta de Andalucía de publicar “Guías metodológicas” dirigidas a las personas promotoras. Así, justo antes de la entrada en vigor del Decreto EIS, la Consejería competente en Salud publicó dos guías metodológicas, una para instrumentos de planeamiento

urbanístico y otra para actividades y obras, y sus proyectos ⁴⁶⁻⁴⁸. La metodología común que se propone en las mismas se verá con detenimiento más adelante.

1.2. Relación entre la salud y la calidad del aire ambiente

La contaminación atmosférica se define en la Ley 34/2007 como “la presencia en la atmósfera de materias, sustancias o formas de energía que impliquen molestia grave, riesgo o daño para la seguridad o la salud de las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza”.

Los contaminantes pueden estar presentes en el aire como consecuencia de procesos de origen natural (es decir, por emisiones procedentes de fuentes naturales) o de procesos de origen antrópico. Por tanto, los contaminantes se diferencian, según su origen, entre *contaminantes naturales* y *contaminantes antropogénicos*. Por otro lado, los contaminantes pueden clasificarse también según su naturaleza. Así, los contaminantes se clasifican en bióticos (fundamentalmente pólenes) o abióticos.

De modo más específico, los contaminantes químicos se clasifican en dos grandes grupos, de acuerdo a su mecanismo de formación ⁴⁹:

- *Contaminantes primarios* son aquellos procedentes directamente de las fuentes de emisión (ya sean naturales o antropogénicas): óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), aerosoles, hidrocarburos, halógenos y sus derivados (Cl₂, HF, HCl, haluros), arsénico y sus derivados o metales pesados, entre otros.
- *Contaminantes secundarios* son aquellos originados por interacción química entre los contaminantes primarios y los componentes normales de la atmósfera, como por ejemplo ozono (O₃), peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y radicales libres.

Los contaminantes de naturaleza química presentes en la atmósfera pueden subdividirse, también, en gases y partículas.

- Los gases y vapores de compuestos minerales u orgánicos pueden reaccionar en la atmósfera para convertirse en partículas o asociarse a gotas de agua o núcleos higroscópicos.
- Las partículas son sólidas o líquidas, de tamaño microscópico o submicroscópico, entre las que destacan:

- El polvo, producido por desintegración mecánica de la materia sólida.
- Los humos, procedentes de las combustiones y con un tamaño aproximado de 1 μm .
- Las brumas, que son gotículas en suspensión formadas por condensación de vapor sobre núcleos de condensación.
- Los aerosoles, que incluyen cualquier nube de partículas sólidas y/o líquidas.

A la hora de caracterizar el riesgo de que un contaminante pueda producir un efecto en un individuo o una población hay que evaluar la exposición y caracterizar la peligrosidad potencial del contaminante.

1.2.1. Evaluación de la exposición

El objetivo de la evaluación de la exposición a un contaminante es determinar cómo un individuo o población pueden entrar en contacto con el mismo y caracterizar la magnitud y frecuencia con la que se produce dicho contacto. Para ello es fundamental conocer lo que se denomina *ruta de exposición* (Figura 2), es decir, el conjunto de elementos que hacen que un contaminante emitido desde una fuente concreta llegue a entrar en contacto con individuos o poblaciones, que son:

- 1) Fuente de contaminación. Puede ser cualquier fuente que libere contaminantes al medio (por ejemplo, un vertedero, un vehículo con motor de combustión, etc.).
- 2) Movimiento y transporte en el medio ambiente. Una vez liberados en el medio ambiente, los contaminantes se mueven por (y a través de) diferentes medios, pudiéndose dar diversas reacciones químicas (alguno de ellos puede llegar a degradarse por completo). En estos procesos son muy importantes las condiciones meteorológicas, que van a favorecer la permanencia o dispersión de los contaminantes en la atmósfera.
- 3) Punto de exposición. Es el lugar (o lugares) concreto donde las personas entran en contacto con un medio contaminado.
- 4) Vía de exposición, que es la ruta de entrada al organismo. Las principales son la gastrointestinal, respiratoria y dérmica.
- 5) Población potencialmente expuesta.

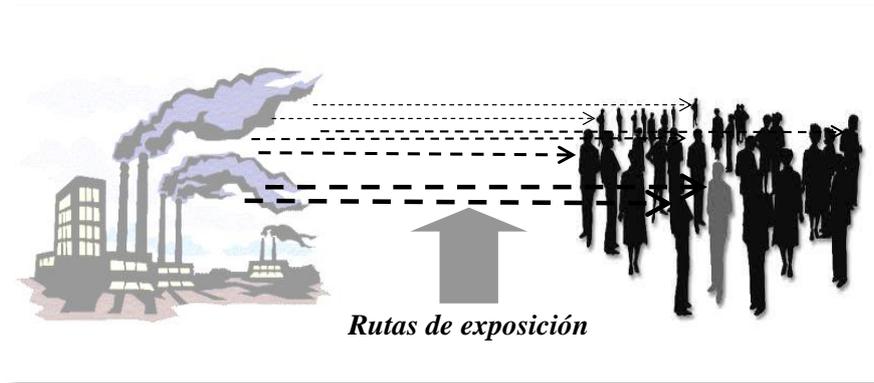


Figura 2. Interpretación gráfica simplificada del concepto de ruta de exposición.
Fuente: Manual EIS de proyectos.

Fuentes de contaminación

Según los datos de la Agencia Europea de Medio Ambiente ⁵⁰ los principales sectores en Europa que emiten contaminantes que están regulados en la normativa son:

- El transporte.
- El sector comercial, institucional y doméstico.
- La industria, tanto el sector energético como el de procesos industriales y uso de productos.
- La agricultura y los residuos, que incluye a las emisiones de vertederos, de la incineración con recuperación de energía y de la quema al aire libre de residuos.

Los procesos de combustión por fuentes estacionarias y móviles son la principal fuente de muchos contaminantes primarios, como los óxidos de nitrógeno, dióxidos de azufre, partículas, benzo(a)pireno, monóxido de carbono, benceno y metales tóxicos (Tabla 3).

Contaminante	Tipo	Estado físico	Procesos y fuentes
<i>Partículas en suspensión (PM10 o PM2,5)</i>	Primaria y secundaria	Sólido, líquido	Producción de energía (centrales que usen combustibles fósiles), incineración, calefacciones domésticas, tráfico rodado (combustibles fósiles, frenos y desgaste de neumáticos)
<i>Dióxido de azufre (SO₂)</i>	Primaria	Gas	Quema de combustibles fósiles que contienen azufre (Tráfico rodado, procesos industriales)
<i>Dióxido de nitrógeno (NO_x)</i>	Primaria y secundaria	Gas	Procesos de combustión (Vehículos, calefacciones domésticas, centrales térmicas)
<i>Benzo(a)pireno</i>	Primaria	Gas	Combustión incompleta en calefacciones domésticas y tráfico rodado
<i>Metales pesados (Hg, Pb, Cd, As, Ni)</i>	Primaria	Sólido/Gas	Tráfico rodado, procesos industriales (metalurgia, cerámica...)
<i>Monóxido de carbono (CO)</i>	Primaria	Gas	Tráfico rodado (disminución significativa por introducción de catalizadores)
<i>Ozono troposférico (O₃)</i>	Secundaria	Gas	Tráfico rodado (fuente de precursores de ozono, formado a partir de NO _x y COV)

Tabla 3. Principales fuentes de contaminantes.

Fuentes: Observatorio DKV Salud y Medio Ambiente ⁵¹ e Informe 2015 de la Calidad del Aire en Europa ⁵².

Dispersión y transformación

Tras la emisión de un contaminante, pueden darse diversos fenómenos en la atmósfera. El comportamiento de la misma depende de los valores de un conjunto de variables (temperatura, presión atmosférica, humedad, radiación, dirección y velocidad del viento, etc.). Mediante los procesos de *dispersión* y *transformación* las sustancias contaminantes del aire se diluyen y reaccionan químicamente (entre ellos y con otros compuestos). Debido a algunos de estos procesos de transformación se forman los contaminantes secundarios (como el ozono troposférico).

Hay que mencionar que existen los denominados *modelos de concentración de contaminantes*, que son protocolos matemáticos que proporcionan una estimación de la concentración de un contaminante en función de una serie de parámetros de entrada de tipo meteorológico, químico, topográfico y de cantidad y velocidad de emisión.

Como resultado de todo lo anterior, el contaminante tiene una concentración determinada en un punto concreto. Este punto es el *punto de exposición* y, en la evaluación de calidad del aire ambiente, se asume que esta concentración es constante para una zona determinada, denominándose *nivel de inmisión* (Figura 3).

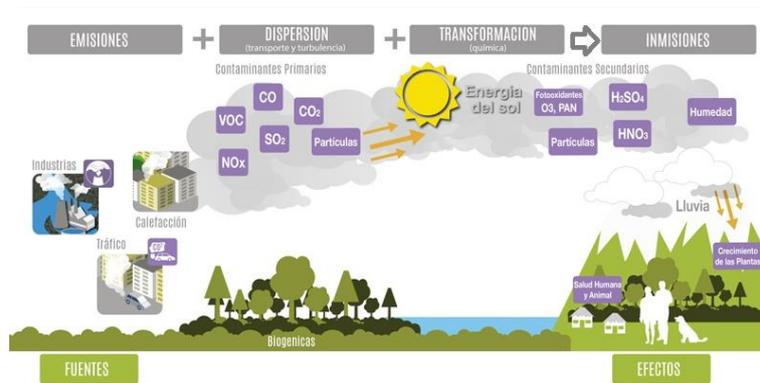


Figura 3. Representación gráfica del concepto de inmisión
Fuente: Modificado de SIAC ⁵³.

1.2.2. Efectos potenciales sobre la salud

Los efectos potenciales sobre la salud de un contaminante atmosférico se definen habitualmente en función del nivel de exposición al contaminante. Por efecto adverso (o efecto tóxico) se entiende la manifestación de la acción de un tóxico que modifica algún mecanismo bioquímico o función biológica. Los efectos adversos pueden ser locales (es decir, se producen en el lugar de absorción) o sistémicos. Para que se produzca efecto debe haber exposición a través de una vía de exposición. En el caso de los contaminantes presentes en el aire, las principales vías de exposición son la vía dérmica, la oral y, sobre todo, la inhalatoria.

La contaminación atmosférica es el riesgo de origen ambiental con mayor impacto en la salud de los ciudadanos. En los últimas décadas ha habido numerosos estudios epidemiológicos en diferentes partes del mundo que han aportado gran parte de las pruebas sobre los efectos de la contaminación atmosférica. Entre ellos pueden citarse, a modo de ejemplo, el estudio APHEA sobre efectos a corto plazo ⁵⁴ y el proyecto APHEKOM ⁵⁵ en Europa, el NMMAPSS en Estados Unidos ⁵⁶ o el EMECAM-EMECAS en España ⁵⁷. Estos estudios han concluido en general que, aún por debajo de los niveles de calidad del aire que se consideraban seguros anteriormente, los aumentos de los niveles de contaminantes atmosféricos están asociados con efectos nocivos sobre la salud, especialmente respiratorios y cardiovasculares ⁵⁸.

Impacto global sobre la salud

Los efectos adversos de la contaminación del aire sobre la salud están bien documentados y tienen un gran impacto sobre la mortalidad y sobre la morbilidad, que presenta una mayor proporción de población afectada (Figura 4).

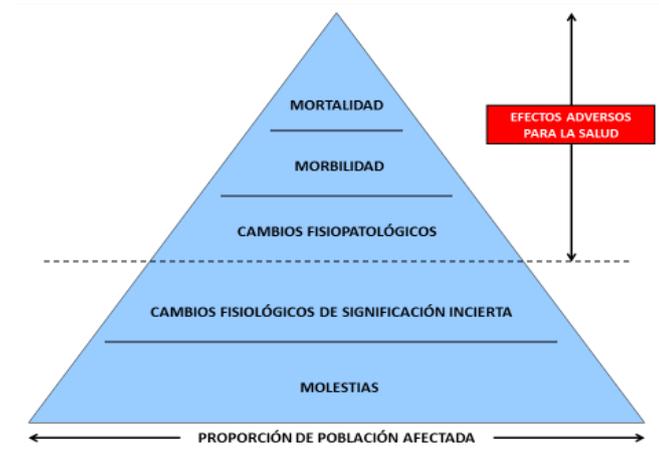


Figura 4. Representación de los diferentes efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud.
Fuente: Adaptado de Ballester F ⁵⁹.

La contaminación del aire está relacionada, principalmente, con un aumento de enfermedades respiratorias (sobre todo EPOC) y cardiovasculares, como isquemias, infartos de miocardio y accidentes cerebrovasculares ⁶⁰⁻⁶⁵. En el caso concreto de exposición a partículas, hay indicios también de relación causal con la diabetes, la función cognitiva y con un bajo peso al nacer, entre otros efectos potenciales ⁶⁶⁻⁷².

Por otro lado, la contaminación del aire ambiente está asociada con aumento del daño genético, incluyendo anomalías citogenéticas, mutaciones tanto en células somáticas como en células germinales y alteraciones en la expresión génica, todo lo cual ha sido relacionado con el aumento del riesgo de cáncer en humanos. Por ello, en 2013 el aire ambiente contaminado se clasificó por la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC) en la Clase 1: carcinogénico para el ser humano ⁷³⁻⁷⁵.

A nivel global, en 2016 la contaminación del aire fue la segunda causa de mortalidad por enfermedades no comunicables (NCD) tras el tabaco ⁷⁶. Si incluimos las enfermedades comunicables, el número de muertes relacionadas con la exposición a contaminantes del aire ascienden a siete millones en todo el mundo ⁷⁷, de las que 4.2 millones se atribuyen a la exposición a contaminantes del aire ambiente. De todas las muertes debidas a la contaminación del aire que se producen

a nivel mundial, el 80% se atribuyen a enfermedades cardíacas y accidentes cerebrovasculares mientras que el 20 % restante se deben a enfermedades respiratorias y al cáncer ⁷⁸.

Estas estimaciones tienen en cuenta el aire contaminado en general, tanto el aire ambiente como la contaminación del aire interior de las viviendas (principalmente por cocinar con tecnologías no eficientes o mediante la quema de combustibles). No obstante, si nos centramos en el aire ambiente (o aire exterior), las cifras publicadas en los últimos años por los sucesivos estudios científicos son en todo caso muy significativas, como puede observarse en la Tabla 4.

Ámbito	Indicador	Dato	Fuente
<i>Mundial</i>	Mortalidad por causas naturales (2016)	4,2 millones de muertes anuales	OMS ⁷⁸
<i>Mundial</i>	Mortalidad infantil < 5 años, por enfermedades respiratorias (2012)	543 000 muertes anuales	OMS ⁷⁹
<i>Mundial</i>	Morbilidad y mortalidad por varias causas expresado en fracción atribuible (2016)	<ul style="list-style-type: none"> • 29 % de la morbimortalidad anual por cáncer de pulmón • 17 % de la morbimortalidad anual por enfermedades vías respiratorias inferiores • 24 % de las muertes anuales por accidente cerebrovascular • 25 % de la morbimortalidad anual por cardiopatía isquémica • 43 % de la morbimortalidad anual por enfermedades vías respiratorias inferiores 	Landrigan PJ ⁸⁰
<i>Región europea de la OMS</i>	Mortalidad por causas naturales (2016)	556 000 muertes anuales	OMS ⁷⁸
<i>Región europea de la OMS</i>	Reducción en la esperanza de vida por exposición a partículas	Un año	OMS ⁷⁸
<i>España</i>	Mortalidad a corto plazo por todas las causas, excluidas externas (media anual en el periodo 2000-2009)	9 500 muertes anuales	Jiménez JD ⁸¹
<i>España</i>	Mortalidad por exposición a PM _{2,5} por diversas causas no externas, suma total (2012)	6 860 muertes anuales	OMS ⁸²
<i>España</i>	Años de vida perdidos (YYL) por exposición a PM _{2,5} por diversas causas no externas, suma total (2012)	128 043 YYL	OMS ⁸²
<i>España</i>	Años de vida perdidos ajustados por discapacidad (DALY) por exposición a PM _{2,5} por diversas causas no externas, suma total (2012)	133 596 DALYs	OMS ⁸²

Ámbito	Indicador	Dato	Fuente
Sevilla	Ganancia en la esperanza de vida en adultos (>30 años) si la exposición a PM2,5 en 2004-2006 hubiera sido de 10 µg/m ³ (WHO AQG)	10,2 meses	Aphekom ^{55,83}
Granada	Ídem al anterior	9,3 meses	Aphekom ^{55,84}

Tabla 4. Impacto en la morbimortalidad por la exposición a contaminación del aire.
(Nota: WHO AQG = Guía de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud).

Hay que indicar además que la contaminación afecta muy especialmente a la población infantil. Además de la mortalidad que causa, la exposición a contaminantes en el aire aumenta el riesgo de padecer infecciones respiratorias, asma, problemas neonatales y anomalías congénitas, y cada vez hay mayores pruebas científicas que sugieren que afecta negativamente el desarrollo cognitivo^{70,71,79,85}.

Incluso la exposición a dosis extremadamente bajas de contaminantes durante los periodos de especial vulnerabilidad en la vida intrauterina y la primera infancia puede conducir a la enfermedad, invalidez y muerte en la infancia o, posteriormente, a lo largo de toda la vida⁸⁰.

Asimismo, el problema que supone la contaminación del aire se agrava si tenemos en cuenta que además implica normalmente un aumento de las inequidades en salud, pues la contaminación puede afectar en mayor medida a grupos desfavorecidos. Estos grupos con frecuencia viven en zonas con mayor tráfico o en zonas industriales y tienen menos oportunidades de mudarse a zonas menos contaminadas, que son normalmente las más caras^{60,80,86-88}.

A continuación se describen brevemente los efectos potenciales sobre la salud de la exposición a material particulado atmosférico y a los principales gases contaminantes (O₃, NO_x y SO₂).

Material Particulado Atmosférico

El término *partículas* o material particulado hace referencia a una mezcla compleja y heterogénea de material particulado con diferentes tamaños y composición química, mezcla de varios compuestos originados a partir de diferentes fuentes, tales como las partículas de hollín resultantes de una combustión incompleta, compuestos orgánicos, sales inorgánicas (sulfato o nitrato, p.ej.),

partículas resuspendidas por acción del viento o partículas de origen marino. Estas posibles fuentes harán que la composición de partículas varíe de un lugar a otro ⁸⁷.

Las partículas pueden tener un origen primario o secundario. En lo que respecta al tamaño, se tiende a dividir las partículas en dos grupos principales: partículas gruesas y partículas finas. La barrera entre estas dos fracciones de partículas se ha fijado por convenio, a efectos de mediciones, en 2.5 μm de diámetro aerodinámico (PM_{2,5}).

Así, el RD 102/2011 diferencia entre dos tamaños de partículas (Figura 5):

- PM₁₀: partículas que pasan a través del cabezal de tamaño selectivo, definido en el método de referencia para el muestreo y la medición de PM₁₀ de la norma UNE-EN 12341, para un diámetro aerodinámico de 10 μm con una eficiencia de corte del 50 %.
- PM_{2,5}: partículas que pasan a través del cabezal de tamaño selectivo, definido en el método de referencia para el muestreo y la medición de PM_{2,5} de la norma UNE-EN 14907, para un diámetro aerodinámico de 2.5 μm con una eficiencia de corte del 50 %.

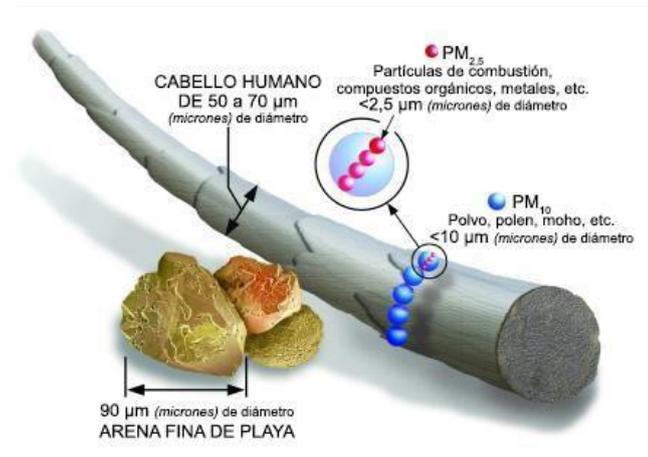


Figura 5. Tamaño relativo de diferentes tipos de material particulado atmosférico.
Fuente: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA).

Según su capacidad de penetración en las distintas zonas del aparato respiratorio, las partículas se suelen clasificar también en:

- Inhalables, son aquellas partículas que pueden entrar en el sistema respiratorio.

- Torácicas, que alcanzan la región traqueobronquial. Todas las partículas de diámetro menor de 10 μm (PM10) tienen un tamaño suficiente para penetrar en la región traqueobronquial.
- Respirables, que son las que tienen el potencial de entrada en la región de intercambio de gas. Tienen un diámetro inferior a 2,5 μm (PM2,5) y pueden alcanzar la cavidad alveolar; por lo que pueden provocar mayores afecciones. Además presentan en su composición un mayor contenido en sustancias con capacidad tóxica, como los metales.

Los componentes más importantes de la materia particulada son los sulfatos, nitratos, amonio, otros iones inorgánicos (como sodio, potasio, calcio, magnesio y cloruro), carbono orgánico y elemental, materiales de la corteza terrestre, agua (contenida en el interior de las partículas) y metales pesados.

Las partículas PM2,5, también denominadas *partículas finas*, contienen los aerosoles formados en reacciones producidas en la atmósfera, partículas de combustión y vapores metálicos y orgánicos de condensación. Las partículas más grandes, con un diámetro entre 2.5 y 10 μm , o *partículas gruesas*, contienen normalmente materiales de la corteza terrestre y materia particulada proveniente de carreteras e industrias emitidas directamente (partículas primarias).

Las partículas con un tamaño comprendido entre 0.1 y 1 μm pueden permanecer en la atmósfera durante días o semanas y pueden ser transportadas en la atmósfera largas distancias, mientras que las partículas gruesas se depositan fácilmente, normalmente a menos de diez kilómetros del lugar de origen.

La relación entre los distintos tipos de partículas según su tamaño puede apreciarse en la Figura 6.

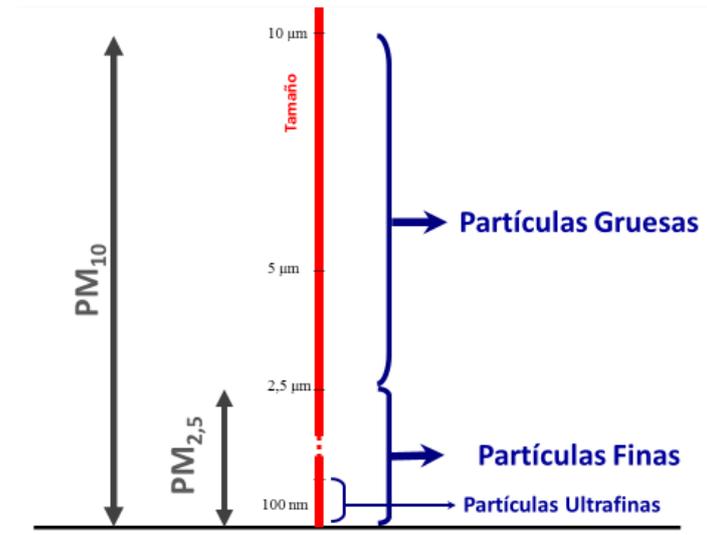


Figura 6. Distintas denominaciones de las partículas según su tamaño.

En base a toda las pruebas disponibles en aquel momento, la OMS propuso en 2005 valores objetivo diarios y anuales. Posteriormente se publicó la Directiva relativa a la calidad del aire ambiente (Directiva 2008/50/CE) y el Real Decreto 102/2011, que la traspuso al ordenamiento jurídico español.

Como puede verse en la Tabla 5, los valores propuestos por la OMS son bastante más estrictos que los que dispone la Unión Europea en su Directiva, sobre todo en lo referente a los valores anuales.

Contaminante	Promedio	Valor UE		Valor OMS
PM_{10}	Diario	40	Diario	20
	Anual	50 (no podrán superarse en más de 35 ocasiones por año)	Anual	50
Partículas finas ($PM_{2,5}$)	Diario	-	Diario	25
	Tres años	20 (valor objetivo)	Anual	10

Tabla 5. Valores de referencia de la UE y de la OMS para partículas.

Efectos sobre la salud

Existen muchas pruebas científicas que respaldan la asociación entre la exposición a partículas y el aumento a corto y a largo plazo de la mortalidad y los ingresos hospitalarios por causas respiratorias (por enfermedad pulmonar

obstructiva crónica, por ejemplo) y enfermedades cardiovasculares (como el infarto de miocardio).

A largo plazo, un aumento de la exposición a partículas aumenta la mortalidad por causa respiratoria y cardiovascular y puede originar arterioesclerosis, enfermedades respiratorias infantiles y efectos adversos al nacer.

Los efectos parecen mostrarse de manera más evidente en el caso de las partículas finas o PM_{2,5}, que se consideran el factor ambiental con mayor impacto en la salud en Europa⁸⁹. Por ejemplo, un metaanálisis de veintidós cohortes europeas publicado en 2014 encontró una asociación entre exposición a largo plazo a contaminación atmosférica por partículas finas y mortalidad por causas naturales, incluso en rangos de concentraciones por debajo del valor límite actual en Europa⁶⁵.

Asimismo, en el marco del proyecto APHEKOM, se ha estimado que la reducción de los niveles de partículas finas en Europa a los niveles propuestos por la OMS aumentaría la esperanza de vida de la ciudadanos europeos en 8,6 meses de media y ahorraría en total unos 31000 millones de euros al año, considerando los niveles de concentración de PM_{2,5} de 2004-2006⁵⁵.

Al igual que el aire contaminado, el material particulado atmosférico ha sido clasificado específicamente por la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC) en la *Clase 1: carcinogénico para el ser humano*^{73,74}.

Mecanismos de toxicidad

La fracción de las partículas finas se considera responsable principal de la acidez y actividad mutagénica de la materia particulada, y los estudios epidemiológicos apuntan a que los efectos perjudiciales, principalmente el cáncer de pulmón, son debidos principalmente a la fracción de las partículas finas⁵⁸.

En cuanto a los efectos sobre el aparato respiratorio, las partículas PM_{2,5} pueden penetrar en el pulmón y producir irritación y corrosión de la pared alveolar y, por consiguiente, afectar a la función pulmonar⁶².

Además del tamaño, el efecto depende también de la composición química. Por ejemplo, el efecto carcinogénico se ha atribuido a varios componentes y orígenes de las partículas, siendo particularmente importante el efecto de las partículas que contienen azufre y níquel⁹⁰.

Métodos de medición

- Método de referencia: UNE-EN 12341:2015 (sustituye a las dos que cita el RD 102/2011 para PM10 y PM2,5, respectivamente). Método de medición gravimétrico normalizado para la determinación de la concentración másica PM10 o PM2,5 de la materia particulada en suspensión, que consiste en una captación sobre filtro y la posterior determinación gravimétrica de la masa.
- Otros métodos: deben demostrar su equivalencia con el de referencia.

Gases contaminantes

Ozono troposférico (O₃)

El O₃ troposférico se forma mediante reacciones químicas, en presencia de la luz solar, de los precursores de ozono, que son los óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVs o COVNM). Estos precursores son emitidos por los automóviles, las centrales térmicas, las calderas industriales, las refinerías y las plantas químicas, entre otras fuentes. El O₃ es el componente principal del denominado *smog fotoquímico*, que consiste en una mezcla de O₃, NO₂, sulfatos ácidos y nitratos de peroxiacilo, entre otros.

Los altos niveles de O₃ troposférico se dan normalmente durante los meses de verano, cuando las condiciones climáticas (altos niveles de insolación y temperaturas elevadas) son propicias para formar el O₃. Asimismo, los niveles suelen ser mayores en las afueras de las ciudades, a cierta distancia de los puntos de máxima emisión de precursores, si bien los vientos y otras variables meteorológicas lo pueden desplazar a largas distancias.

El O₃ se forma a partir de una compleja serie de reacciones químicas de sus precursores en presencia de oxígeno atmosférico y luz solar. Para que se produzcan niveles elevados de O₃, es preciso que además se den unas condiciones meteorológicas adecuadas (temperaturas que excedan los 27-32 °C, iluminación intensa y viento en calma).

Existen grupos de personas que son particularmente sensibles a los efectos provocados por el O₃. Estos grupos son:

- Niños y adultos mayores. Debido a la susceptibilidad de su sistema inmunológico estos grupos se consideran como los más vulnerables a los

efectos del O₃, ya sea por la posibilidad de desarrollar alguna enfermedad debido a una exposición de largo plazo o por muerte prematura.

- Personas que realizan actividades al aire libre.
- Las personas con asma u otras enfermedades de las vías respiratorias.

Los principales efectos para la salud que puede causar el O₃ son:

- Irritación del sistema respiratorio, provocando tos y causando irritación en la garganta y/o sensación incómoda en el pecho.
- Reducción de la función pulmonar.
- Empeoramiento del asma.
- Empeoramiento de las enfermedades pulmonares crónicas tales como el enfisema y la bronquitis y reducción de la capacidad del sistema inmunológico para defender al sistema respiratorio de las infecciones bacterianas.
- Daño permanente al pulmón. Los daños a corto plazo en los pulmones que se producen de forma repetida, en la época de desarrollo infantil, puede provocar que la función pulmonar esté reducida en la edad adulta.
- En los adultos, la exposición al O₃ puede acelerar la disminución natural de la función pulmonar que ocurre durante el envejecimiento.

Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

Según el RD 102/2011, los NO_x son la suma (en partes por mil millones en volumen) de monóxido de nitrógeno y dióxido de nitrógeno expresado como concentración másica de dióxido de nitrógeno en µg/m³.

Las fuentes antropogénicas principales de emisión de óxidos de nitrógeno son los procesos de combustión: producción de energía a partir de combustibles fósiles, el transporte y los aparatos de combustión domésticos emiten óxidos de nitrógeno, sobre todo óxido nítrico (NO), que se oxida rápidamente a NO₂ por acción del O₃.

Los efectos de los NO_x pueden ser directos o indirectos. Entre los indirectos, algunas de las consecuencias de la presencia de óxidos de nitrógeno en el aire pueden ser las siguientes:

- Aumento de la concentración de O₃ troposférico, ya que los óxidos de nitrógeno son precursores de O₃.

- Formación de partículas (PM secundarias), al reaccionar con iones amonio y otros compuestos para formar ácido nítrico y las citadas partículas. Los aerosoles de nitrato constituyen una fracción importante de la masa de PM_{2,5} del aire ambiente.
- Deterioro de la calidad del agua, al aumentar el contenido en nitrógeno de éstas.
- Reacción con compuestos orgánicos o con O₃ para formar una gran variedad de sustancias, algunas con efectos nocivos sobre la salud.

En cuanto a los efectos directos, éstos afectan casi siempre al tracto respiratorio. Se ha comprobado que en poblaciones expuestas a niveles altos aumenta la frecuencia de infecciones de las vías respiratorias y son especialmente sensibles las personas que padecen enfermedades pulmonares, como las personas asmáticas. Se estima que unos cuatro millones de nuevos casos al año de asma infantil podrían ser atribuidos a la contaminación por dióxido de nitrógeno ⁹¹.

Dióxido de azufre (SO₂).

Las fuentes de emisiones de SO₂ pueden ser tanto naturales (>50 %) como antropogénicas. Las fuentes artificiales son fundamentalmente la combustión de los carburantes fósiles y la fundición de minerales. Los efectos para la salud se producen principalmente por su carácter irritante que, a altas concentraciones en individuos normales y más bajas en individuos asmáticos, puede producir broncoconstricción.

La exposición a largo plazo a niveles altos puede causar enfermedades respiratorias y produce un agravamiento de las enfermedades cardíacas y pulmonares. Asimismo, el dióxido de azufre puede transformarse en ácido sulfúrico en los órganos respiratorios internos si penetra en ellos en forma de aerosol, pudiendo afectar a todo el tracto respiratorio por su carácter irritante. Por último, hay que señalar también que el SO₂ reacciona con otros compuestos químicos presentes en el aire para formar partículas secundarias.

1.3. La calidad del aire ambiente

El *aire ambiente* se define como el aire exterior de la baja troposfera, excluidos los lugares de trabajo, mientras que se entiende por *contaminante* cualquier sustancia presente en el aire ambiente que pueda tener efectos nocivos sobre la salud humana, el medio ambiente en su conjunto y demás bienes de cualquier naturaleza ⁹².

1.3.1. Marco estratégico

El medio ambiente es una competencia compartida entre la Unión Europea (UE) y los Estados Miembros, según el artículo 4 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea (TFUE). Ello quiere decir que la UE y los países de la UE tienen capacidad para legislar y adoptar actos jurídicamente vinculantes.

De acuerdo con el Art. 191 de la versión consolidada del TFUE ⁹³, la política de la UE en el ámbito del medio ambiente contribuirá a alcanzar una serie de objetivos, entre los que hay que citar la protección y la mejora de la calidad del medio ambiente y la protección de la salud de las personas, mencionando en ambos casos que el objetivo será alcanzar un nivel de protección elevado, teniendo presente la diversidad de situaciones existentes en los distintos territorios de la UE.

Las políticas en materia de medio ambiente han sido desde hace años objeto de atención en la Unión Europea, que en 1973 estableció una Dirección General específica para ello en la Comisión Europea (la Dirección General de Medio Ambiente). La Comisión propone políticas y normas que, entre otros, protegen la calidad del aire y del agua, y mejoran el conocimiento sobre sustancias químicas tóxicas.

Desde 1990 existe también una Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA), con sede en Copenhague, y operativa desde principios de 1994. La EEA se encarga de coordinar la red europea de información y observación ambiental (Eionet), además de proporcionar información independiente y detallada sobre el medio ambiente, tanto para las personas que deben desarrollar, adoptar, implementar y evaluar políticas ambientales como para el público en general ⁹⁴ (Figura 7).

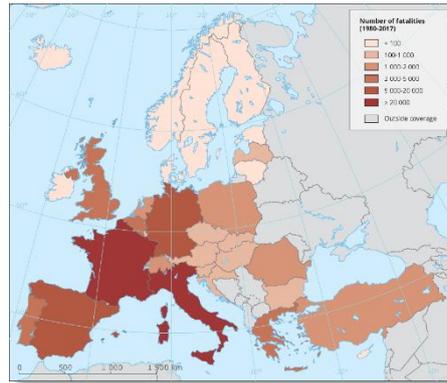


Figura 7. Impactos del tiempo extremo y eventos relacionados con el clima, como ejemplo de la información puesta a disposición por la EEA.

Fuente: EEA.

Debido a que las políticas ambientales suelen acordarse a nivel europeo (sin perjuicio de las competencias estatales y regionales), vamos a hacer un resumen de las políticas europeas relativas a la calidad del aire, comenzando por el VI Programa de Acción en materia de Medio Ambiente ⁹⁵ de 2001.

Este Programa señalaba que, con el fin de hacer frente a los retos que se planteaban en materia de medio ambiente, era preciso superar el enfoque estrictamente legislativo y sustituirlo por otro estratégico. Así, el Programa se concentró en cuatro ámbitos de acción prioritarios: el cambio climático, la biodiversidad, el medio ambiente y la salud y la gestión sostenible de los recursos y de los residuos.

El tercero de ellos, medio ambiente y salud, tenía como objetivo alcanzar una calidad del medio ambiente que contribuyese a garantizar la salud pública y se proponía garantizar la aplicación de las normas sobre calidad del aire y definir una estrategia sobre la contaminación atmosférica para alcanzar niveles de calidad del aire que no den lugar a riesgos inaceptables para la salud de las personas y el medio ambiente.

El programa *Aire puro para Europa* (denominado Programa CAFE, acrónimo de “Clean Air For Europe”) sentó las bases de la primera de las estrategias temáticas anunciadas en el VI Programa de Medio Ambiente ya que tenía como objetivo, entre otros, establecer una estrategia integrada que fije objetivos concretos y medidas rentables.

Esta estrategia temática sobre la contaminación atmosférica ⁹⁶, que se publicó en 2005, definía objetivos en materia de contaminación atmosférica y proponía medidas para alcanzarlos hasta el año 2020: modernizar la legislación vigente, insistir en los contaminantes más nocivos y conseguir una mayor implicación de los sectores y de las políticas que pueden influir en la contaminación del aire (Tabla 6).

Efecto	Unidad	2000	2020
Mortalidad aguda y crónica			
<i>Mortalidad crónica (PM)</i>	Miles de años de vida perdidos	3.619	2.467
<i>Mortalidad crónica (PM)</i>	Muertes prematuras	347.900	271.600
<i>Mortalidad infantil (PM)</i>	Muertes prematuras	680	350
<i>Mortalidad aguda (Ozono)</i>	Muertes prematuras	21.400	20.800
Efectos en morbilidad por PM			
<i>Bronquitis crónica</i>	Casos	163.800	128.100
<i>Ingresos hospitalarios por causas respiratorias</i>	Casos	62.000	42.300
<i>Ingresos hospitalarios por causas del aparato cardíaco</i>	Casos	38.300	26.100
<i>Días con actividad limitada o reducida (RADs)</i>	Millones de días	347.7	222.0
<i>Uso de medicamentos para enfermedades respiratorias (niños)</i>	Millones de días	4.2	2.0
<i>Uso de medicamentos para enfermedades respiratorias (adultos)</i>	Millones de días	27.7	20.9
<i>Síntomas del tracto respiratorio inferior (incluyendo tos) en niños</i>	Millones de días	192.8	88.9
<i>Síntomas del tracto respiratorio inferior en adultos con síntomas crónicos</i>	Millones de días	285.3	207.6
Morbilidad por Ozono			
<i>Admisiones hospitalarias por causas respiratorias</i>	Casos	14.000	20.100
<i>Uso de medicamentos para enfermedades respiratorias (niños)</i>	Millones de días	21.4	12.9
<i>Uso de medicamentos para enfermedades respiratorias (adultos)</i>	Millones de días	8.8	8.2
<i>Días con actividad limitada o reducida, con menor gravedad (MRADs)</i>	Millones de días	53.9	42.4
<i>Tos y síntomas del tracto respiratorio inferior en niños</i>	Millones de días	108.1	65.3

Tabla 6. Estimación de los efectos (evolución desde 2000 a 2020) de la contaminación atmosférica en la salud realizada para la Estrategia Temática de Contaminación Atmosférica de 2005.

Fuente: Traducido y adaptado del Anexo de la Estrategia ⁹⁷.

Para alcanzar los objetivos estratégicos, la Estrategia proponía dos aspectos principales:

- La mejora de la legislación ambiental comunitaria.
- La integración de la mejora de la calidad del aire en otras políticas, como energía y transporte.

Posteriormente la Comisión Europea adoptó a finales de 2013 un “paquete de medidas” cuya finalidad era reducir las emisiones nocivas procedentes de la industria, el tráfico, las centrales de producción de energía y la agricultura, con vistas a disminuir sus efectos sobre la salud humana y el medio ambiente.

Estas medidas adoptadas en 2013 se componían de tres partes diferenciadas:

- Una revisión de la Directiva sobre límites máximos nacionales de emisión.
- Una propuesta de nueva Directiva para reducir la contaminación procedente de las instalaciones de combustión de tamaño medio.
- Una Comunicación denominada *Programa Aire Puro para Europa*⁹⁸.

El conjunto de actuaciones incluye también medidas centradas en la mejora de la calidad del aire en las ciudades, el apoyo a la investigación y la innovación, y la promoción de la cooperación internacional. Estas medidas se basaron en la evaluación del Programa CAFE y de la Estrategia temática sobre la contaminación atmosférica.

Finalmente, en 2018 la Comisión Europea adoptó la Comunicación *Una Europa que protege: Aire puro para todos*⁹⁹, en la que se afirma que “en la mayoría de los Estados miembros el incumplimiento contumaz de las normas de calidad del aire sigue menoscabando la calidad de vida de los ciudadanos de la UE. La situación es especialmente grave en las zonas urbanas, donde vive la mayoría de la población.”

Pilares de las políticas de la UE en aire ambiente (Comunicación 2018)

1. Normas de calidad del aire ambiente establecidas en las Directivas sobre la calidad del aire ambiente (Directivas 2004/107/CE y 2008/50/CE).
2. Una serie de objetivos nacionales de reducción de emisiones establecidos en la Directiva sobre techos nacionales de emisión para los contaminantes atmosféricos transfronterizos más importantes: óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, amoníaco, compuestos orgánicos volátiles y partículas.
3. Normas sobre las emisiones de las principales fuentes de contaminación (los buques y vehículos y los sectores de la energía y la industria).

La Comunicación de 2018 establece asimismo ejemplos de medidas de reducción de la contaminación atmosférica en varios sectores, como el transporte o el industrial, y diversas medidas de colaboración para mejorar la calidad del aire.

En lo que respecta al marco estratégico español, hay que mencionar la Estrategia Española de Calidad del Aire (2007) y posteriormente, el Plan Nacional de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera 2013-2016: Plan AIRE, que establece un marco de referencia para la mejora de la calidad del aire en España. Su finalidad es mejorar la calidad del aire, para garantizar la protección de la salud y de los ecosistemas. Posteriormente a finales de 2017 se aprobó, por el Consejo de Ministros, el Plan Aire 2017-2019 (Plan Aire 2), con un horizonte temporal 2017-2019.

En cuanto a la Comunidad Autónoma de Andalucía, la calidad del aire viene recogida de manera expresa en documentos estratégicos de políticas en salud tales como como el Plan Andaluz de Salud o en el Plan Andaluz de Salud Ambiental. También, de manera más específica, en mayo de 2016 se publicó el Acuerdo por el que se aprueba la formulación de la Estrategia Andaluza de Calidad del Aire, actualmente en fase borrador ¹⁰⁰.

1.3.2. Marco legislativo

En materia de evaluación y gestión de la calidad del aire podemos dividir el marco legal en tres ámbitos territoriales: internacional (diversos convenios internacionales, principalmente el Convenio de Ginebra de 1979 sobre contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia), europeo y nacional (Figura 8).



Figura 8. Marco Legal de la calidad del aire.

Fuente: MITECO. ACTUALIZAR CON PPT A PARTIR DE:

- <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/normativa/normativa-europea.aspx#:~:text=Directiva%202015%2F1480%2FCE%2C,de%20los%20puntos%20de%20muestreo>
- <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/normativa/normativa-espanola.aspx>

A nivel europeo, la norma principal es la 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. Esta directiva trata de fomentar la integración en las políticas de la Unión de un alto nivel de protección del medio ambiente y la mejora de su calidad con arreglo al principio de desarrollo sostenible. Respecto a las normas anteriores, estableció nuevos requisitos y reguló algunos contaminantes más, siendo el más relevante las PM2,5.

En España, la transposición de esta directiva comunitaria, junto con otra relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente, se llevó a cabo a través del Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire ⁹² (en adelante, RD 102/2011).

Este Real Decreto, además de transponer las directivas anteriores, desarrolló la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera ¹⁰¹ (en adelante, Ley 34/2007), que establece el marco legislativo general en España en materia de calidad del aire. La Ley tiene como finalidad alcanzar unos niveles óptimos de calidad del aire para evitar, prevenir o reducir riesgos o efectos negativos sobre, nuevamente, la salud humana, así como sobre el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza. Según esta Ley, los fundamentos de la evaluación y gestión de la calidad del aire se basan en tres pilares:

- Los contaminantes a evaluar y sus objetivos de calidad.
- Las obligaciones de la evaluación.
- La zonificación del territorio según los niveles de contaminantes para los que se hayan establecidos objetivos de calidad.

El capítulo IV de la Ley se ocupa de la planificación, centrada en la elaboración de planes y programas para la protección de la atmósfera y para minimizar los efectos negativos de la contaminación atmosférica, aspecto de relevancia en nuestro caso, pues realizaremos una EIS de uno de estos planes. Y, finalmente, el capítulo VI, dedicado al control, inspección, vigilancia y seguimiento, recoge el deber de las comunidades autónomas y en su caso, entidades locales, de disponer de estaciones, redes y otros sistemas de evaluación de la calidad del aire suficientes para el cumplimiento de sus obligaciones, conforme a lo indicado en la norma.

En cuanto a las normas en evaluación y gestión en materia de calidad de aire en la Comunidad Autónoma de Andalucía hay que citar, en primer lugar, la norma

andaluza de referencia en materia de calidad ambiental, la Ley 7/2007, de 9 de julio de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental ¹⁰² (en adelante, Ley GICA). Esta Ley regula, en su Capítulo II del Título IV, la calidad del medio ambiente atmosférico, fundamentalmente el régimen de competencias. Como desarrollo del mismo, en el año 2011 se publicó el Decreto 239/2011, de 12 de julio, por el que se regula la calidad del medio ambiente atmosférico y se crea el Registro de Sistemas de Evaluación de la Calidad del Aire en Andalucía ¹⁰³ (en adelante, Decreto 239/2011).

Existen también otras normas sobre la calidad del aire en Andalucía, entre los Decretos que aprueban los distintos Planes de Mejora de la Calidad del Aire: Plan de Mejora de la Calidad del Aire en el Municipio de Bailén (2006), Villanueva del Arzobispo (2010) y el resto de planes, incluido el Plan de Mejora de la Calidad del Aire de la Zona Industrial Bahía de Algeciras ¹⁰⁴ (2013).

En lo que respecta a las competencias en la Comunidad Autónoma Andaluza sobre los aspectos relativos a la calidad del aire, la Consejería competente en medio ambiente y los entes locales son competentes para la práctica totalidad de los aspectos que regulan las diferentes normas.

No obstante, en lo referente a los aspectos relacionados con la salud de las personas por exposición a contaminantes atmosféricos, la Administración Sanitaria de la Junta de Andalucía posee también algunas competencias. Así, la Ley de Salud de Andalucía ¹⁰⁵ dispone que “los ciudadanos al amparo de esta ley tendrán derecho al disfrute de un medio ambiente favorable a la salud. Las Administraciones Públicas adoptarán las medidas necesarias para ello de conformidad con la normativa vigente”. Y la Ley de Salud Pública de Andalucía ⁴⁴ establece que “en relación con la protección de la salud de la población ante los riesgos ambientales, el Sistema Sanitario Público de Andalucía desarrollará, entre las actuaciones en materia de salud ambiental, la evaluación, la gestión y la comunicación de los riesgos para la salud de la población asociados a la contaminación del aire ambiente”.

Aparte de las normas que establecen los criterios de calidad del aire ambiente, así como su evaluación y gestión, a nivel estatal existen otras muchas normas que regulan ámbitos relacionados con la contaminación atmosférica. Sin ánimo de ser exhaustivos, podemos mencionar dos normas especialmente relevantes en el ámbito de las emisiones, como son la norma que actualiza el catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera (Real Decreto 100/2011, de 28 de enero) y la norma que regula las emisiones industriales (Real Decreto 815/2013, por

el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de prevención y control integrados de la contaminación).

Hay que mencionar también la existencia de un Índice de Calidad del Aire Europeo, puesto en marcha en noviembre de 2017 por la Agencia Europea de Medio Ambiente y la Comisión Europea. Siguiendo las directrices europeas, en 2019 se aprobó también un Índice Nacional de Calidad del Aire ¹⁰⁶ con objeto de representar la calidad del aire de una manera fácilmente entendible por los ciudadanos, contribuyendo así al acceso del público a dicha información ambiental de una manera clara.

Vamos a centrarnos a continuación en los dos reglamentos principales sobre calidad del aire: el estatal (el RD 102/2011) y el autonómico (el Decreto 239/2011), con objeto de dar una idea sobre los aspectos de gestión y evaluación de la calidad del aire regulados en dichas normas, exceptuando los aspectos relativos a los planes de mejora, que se abordarán de manera específica en el apartado 1.2.c).

El Real Decreto 102/2011

El RD 102/2011 tiene como finalidad evitar, prevenir y reducir los efectos nocivos de las sustancias mencionadas sobre la salud humana, el medio ambiente en su conjunto y demás bienes de cualquier naturaleza. Para cumplir su finalidad, esta norma establece varios objetivos parciales, de los que podemos destacar:

- Definir y establecer *objetivos de calidad del aire*, de acuerdo con la Ley 34/2007, con respecto a las concentraciones de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno, monóxido de carbono, ozono, arsénico, cadmio, níquel y benzo(a)pireno en el aire ambiente.
- Regular la *evaluación, el mantenimiento y la mejora* de la calidad del aire en relación con las sustancias enumeradas en el apartado anterior y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) distintos al benzo(a)pireno, así como establecer *métodos y criterios comunes de evaluación* de las concentraciones de las sustancias mencionadas anteriormente, el mercurio y los HAP y de los depósitos de arsénico, cadmio, mercurio, níquel y HAP.
- Determinar la *información* a la población y a la Comisión Europea sobre las concentraciones y los depósitos de las sustancias mencionadas en los apartados anteriores, el *cumplimiento de los objetivos de calidad del aire*, los *planes de mejora* y demás aspectos regulados en la norma.

Para lograr sus objetivos, esta norma define las actuaciones a llevar a cabo (en el ámbito de sus respectivas competencias) por las Administraciones públicas, entendiéndose como tales al Ministerio competente en Medio Ambiente, el Instituto de Salud Carlos III, las Comunidades Autónomas y las entidades locales.

El RD 102/2011 también determina los *objetivos de calidad del aire* para los contaminantes que regula, así como los criterios de agregación y cálculo correspondientes. También establece, la obligación de dividir el territorio de las diferentes Comunidades Autónomas en *zonas y aglomeraciones*, en las que se llevarán a cabo las actividades de evaluación y gestión de la calidad del aire (Art. 5).

Por otro lado, el RD 102/2011 sienta las bases de la *evaluación de la calidad del aire*, enfocada a tres tipos de contaminantes o grupos de contaminantes:

- 1) Dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno y los óxidos de nitrógeno, las partículas, el plomo, el benceno y el monóxido de carbono, el arsénico, el cadmio, el níquel, el mercurio, el benzo(a)pireno y los demás hidrocarburos aromáticos policíclicos (Art- 6-9).

Para todos estos contaminantes, en general:

- Se obliga a la clasificación de cada zona o aglomeración en función de los umbrales de evaluación establecidos en el Anexo II, teniendo en cuenta los principios de implantación de las estaciones de muestreo recogidos en el Anexo III.
- Se determina el método de evaluación (mediciones fijas, técnicas de modelización, campañas de mediciones representativas indicativas o una combinación de los mismos).
- Se concreta diversos aspectos relacionados con las mediciones, tales como:
 - Los criterios de ubicación de los puntos de muestreo o la determinación del número mínimo de éstos en medición fija (Anexo IV).
 - Los objetivos de calidad de los datos (Anexos V y VI).
 - Los métodos de referencia para la evaluación (Anexo VII).
 - Los criterios adicionales para las partículas PM_{2,5} (Anexo VIII), para los metales (As, Cd, Hg, Ni) y para los HAP.

- 2) Ozono troposférico (Art. 10-11). La norma obliga igualmente a la clasificación de cada zona o aglomeración en función de los valores objetivo del Anexo I,

establece los criterios para clasificar y ubicar los puntos de medición y el número mínimo de éstos, así como los objetivos de calidad de los datos.

- 3) Amoníaco (Art. 12). Se establece el número mínimo de puntos de muestreo y su ubicación, los objetivos de calidad de los datos y las técnicas de análisis, conforme a lo indicado en el Anexo XII.

El Real Decreto también se ocupa de la *gestión de la calidad del aire*, ya que fija diversas obligaciones en lo que respecta a los plazos de cumplimiento y a la necesidad de elaborar listados diferenciados por contaminante donde se indique los umbrales y límites legislados superados, por zonas y aglomeraciones (Art. 13 y Anexos I y II), así como al estipular una serie de medidas aplicables según la superación o no superación de los límites, objetivos y/o umbrales establecidos, según el caso (Art. 14-20).

El RD 102/2011 contempla también que se tenga en consideración las aportaciones procedentes de fuentes naturales a las superaciones de los valores límite (Art. 22, Anexo XIV), aspecto que veremos posteriormente con mayor detenimiento. En todo caso, de acuerdo con el RD 102/2011, “las superaciones atribuibles a fuentes naturales (...) no se considerarán superaciones a los efectos de lo dispuesto en el presente real decreto y no originarán la obligación de ejecutar planes de actuación”, y la demostración y sustracción de los niveles atribuibles a fuentes naturales debe ser conforme a las directrices publicadas por la Comisión Europea. En este sentido, hay que indicar que existe un documento de trabajo de la Comisión Europea sobre ello ¹⁰⁷, publicado en el año 2011.

Por último, el Real Decreto también considera la posibilidad de solicitar prórrogas de los plazos de cumplimiento y exenciones en la obligación de aplicar ciertos valores límite y define y regula las condiciones aplicables a dicha solicitud.

Decreto 239/2011

La Ley GICA y el Decreto 239/2011 disponen que la vigilancia y control de la calidad del aire en Andalucía corresponde a la Consejería competente en materia de medio ambiente (CMA), a través de la Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire de Andalucía (RVCCA en adelante), que está integrada por todos los sistemas de evaluación instalados en el territorio de la Comunidad Autónoma de Andalucía. La delimitación y clasificación de las zonas y aglomeraciones en relación con la

evaluación y la gestión de la calidad del aire ambiente es competencia también de la CMA (Figura 9).

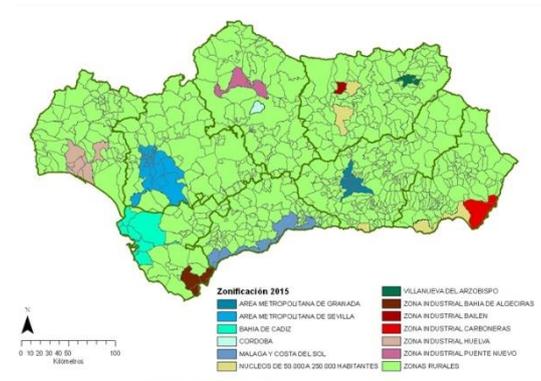


Figura 9. Zonificación de Andalucía para efectuar las evaluaciones anuales de la calidad del aire. Fuente: CMA.

Entre los sistemas de evaluación instalados en el territorio de la Comunidad Autónoma de Andalucía se encuentran las *estaciones fijas* de vigilancia y control de la calidad del aire, cuya titularidad puede pertenecer a la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio o a otras instituciones (públicas o privadas). Debido a que posteriormente utilizaremos en la valoración del impacto en salud los datos aportados por estas estaciones, vamos a explicar el funcionamiento de las mismas, a grandes rasgos.

Estas estaciones miden parámetros meteorológicos y contaminantes químicos mediante sensores automáticos, concretamente el dióxido de azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO/NO₂/NO_x), las partículas menores de diez micras (PM₁₀), de dos micras y media (PM_{2,5}) y de una micra (PM₁), el monóxido de carbono (CO), el ozono troposférico (O₃), el sulfuro de hidrógeno (SH₂), el benceno, tolueno y xileno (BTX) y el etilbenceno.

Además de estos parámetros, en determinadas estaciones de la Red se muestrean mediante *captadores gravimétricos* las partículas menores de 10 micras, las partículas menores de 2.5 micras, metales y benzo(a)pireno. Estos contaminantes se recogen en filtros que, posteriormente, son analizados en el laboratorio (las partículas en el Laboratorio Andaluz de Referencia de la Calidad del Aire y los metales y el benzo(a)pireno en laboratorios externos).

Los tipos de estaciones se definen en el Anexo II del Decreto, y pueden ser:

- Según el tipo de área: Urbana (U), Suburbana (S) o Rural (R).

- Según el tipo de fuentes de emisión predominantes (los diferentes tipos de estación según esta clasificación son excluyentes): Tráfico (T), Industrial (I) o Fondo (F).

En la Figura 10 puede observarse una de las estaciones de la RVCCA.



Figura 10. Estación de la RVCCA de tipo tráfico ubicada en el parque de los Príncipes (Sevilla).
Fuente: UHU AEROSOL.

El Decreto 239/2011 regula los requisitos mínimos imprescindibles para que una estación de medida pueda integrarse en dicha Red o la creación del Registro de sistemas de evaluación de la calidad del aire integrados en la RVCCA. Este Registro tiene como objetivo llevar un control de los sistemas, tanto de titularidad pública como privada, que se utilicen para realizar la evaluación de la calidad del aire ambiente, y tiene carácter público. En la Figura 11 podemos ver datos obtenidos por una de las estaciones de la RVCCA.

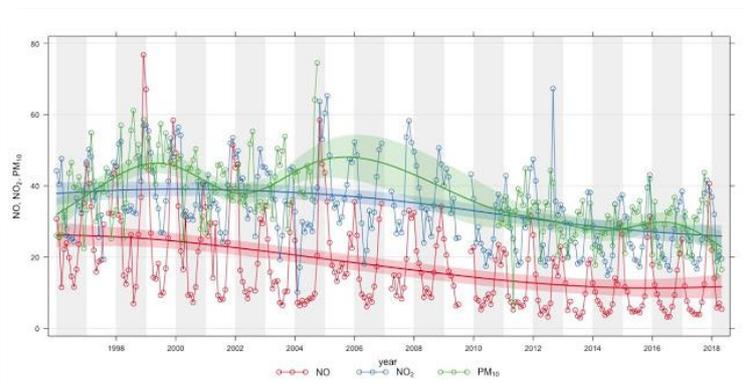


Figura 11. Serie temporal (1996-2018) de óxidos de nitrógeno y de partículas PM10 de la estación de Príncipes (Sevilla).
Fuente: UHU AEROSOL.

Por último, el Decreto 239/2011 aborda diversos aspectos relacionados con la evaluación, gestión y competencias en materia de calidad del aire. De modo resumido, podemos citar los siguientes:

- Establece un procedimiento que asegure la comparabilidad y confianza en todo el proceso comprendido desde las mediciones o estimaciones de los contaminantes hasta la elaboración de los informes correspondientes.
- Desarrolla a nivel autonómico las obligaciones en materia de información a la población sobre la calidad del aire.
- Fija las responsabilidades de las administraciones autonómicas y locales en la materia. Entre ellas, establece el contenido y procedimiento a seguir por cada administración competente en la elaboración y aprobación de planes de mejora de la calidad del aire y planes de acción a corto plazo, así como la obligación de su consideración en los planes urbanísticos.

1.3.3. Los Planes de Calidad del Aire

Las diferentes normas relativas a la calidad del aire establecen la figura de los planes de mejora de calidad del aire o, sencillamente, planes de calidad del aire^a, como herramienta o instrumento de gestión a aplicar en el caso de que no se alcancen determinados estándares de calidad del aire (valores límite u objetivo que dispone la norma).

Así, la Ley 34/2007 dispone que las Comunidades Autónomas adoptarán, entre otros, los planes de mejora de la calidad del aire para alcanzar los objetivos de calidad del aire en las zonas en las que los niveles de uno o más contaminantes regulados superen dichos objetivos, y establece el contenido mínimo de estos planes (Art. 16).

De manera análoga, el RD 102/2011 los define como “planes que contienen medidas para mejorar la calidad del aire de forma que los niveles de los contaminantes estén por debajo de los valores límite o los valores objetivo”. Así, el Capítulo IV del Real Decreto estipula que, cuando en determinadas zonas o aglomeraciones los niveles de contaminantes en el aire ambiente superen cualquier

^a En adelante se usarán indistintamente ambos términos o el acrónimo PMCA.

valor límite o valor objetivo, las comunidades autónomas deben aprobar *planes de calidad del aire* para esas zonas y aglomeraciones con el fin de conseguir respetar el valor límite o el valor objetivo correspondiente (Art. 25).

Para la elaboración de los planes de calidad del aire se debe contar con la colaboración de los titulares de las actividades industriales potencialmente involucradas y afectadas por las medidas incluidas en los mismos y por su puesta en aplicación. Además, los planes deben contener una información mínima, que se detalla en el Anexo XV.

Hay que mencionar también que el RD 102/2011 también ofrece la opción de que la Administración General del Estado y las Entidades Locales elaboren planes de mejora de calidad del aire, bajo ciertas condiciones, y que además menciona otro tipo de planes, los *Planes de acción a corto plazo*, que deben elaborarse cuando en una zona o aglomeración exista el riesgo de que el nivel de contaminantes supere uno o más de los umbrales de alerta establecidos en el Anexo I de la norma.

En realidad estos planes de mejora no son un instrumento nuevo de gestión de la calidad del aire, pues la norma que regulaba anteriormente la evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente ¹⁰⁸ se expresaba en los términos parecidos, denominándolos “planes de actuación”, si bien en el anexo en el que se establecía la información mínima que debían contener ya empleaba el término “plan de mejora”.

En la Comunidad Autónoma de Andalucía, el decreto que regulaba la calidad del aire ¹⁰⁹ antes de la entrada en vigor del Decreto 239/2011 se refería a los denominados *Planes de Prevención y Corrección de la Contaminación Atmosférica*, que debían formularse en aquellas zonas en las que exista evidencia o riesgo de sobrepasar los valores límite establecidos en la normativa de aplicación.

Actualmente, la Ley GICA dispone que la elaboración de planes de mejora de la calidad del aire corresponde en la Comunidad Autónoma de Andalucía a la Consejería competente en materia de medio ambiente. Los municipios, por otra parte, son competentes para la programación, ejecución y control de medidas de mejora de la calidad del aire, debiéndose cumplir en todo caso con las determinaciones de los planes de nivel supramunicipal o autonómicos aprobados por la Junta de Andalucía.

En este sentido, en cumplimiento con las obligaciones legales que se han ido detallando anteriormente, la Consejería competente en materia de medio ambiente de la Junta de Andalucía (cuya denominación ha ido variando en los últimos años) elaboró quince planes de mejora de la calidad del aire, debido a que en el periodo

2005-10 se produjeron diversas superaciones de los valores límite de varios contaminantes atmosféricos. Esta situación motivó la publicación de tres órdenes que aprobaron la formulación de los correspondientes planes de mejora para Bailén, Villanueva del Arzobispo y el resto de municipios, respectivamente ¹¹⁰⁻¹¹², planes que fueron posteriormente aprobados y publicados mediante otros tres decretos ¹¹³⁻¹¹⁵.

1.3.4. Los fenómenos meteorológicos

A nivel local, los factores primarios que afectan al transporte y la dispersión de contaminantes son los vientos y la estabilidad atmosférica. En el área mediterránea tienen importancia también los fenómenos de intrusión sahariana.

La velocidad de los vientos puede afectar de manera importante a la concentración de contaminantes en un área. Normalmente, una mayor velocidad del viento implicará una menor concentración de contaminantes, debido a que los vientos producen una *dilución* de los contaminantes, dispersándolos rápidamente hacia áreas adyacentes. Además de esta dilución general, la concentración de contaminantes puede verse influido por otros factores, básicamente relacionados con el transporte de contaminantes a largas distancias, fuentes discretas locales y fuentes de origen marino ¹¹⁶.

Acerca de estos episodios, hay que señalar que los días con intrusiones saharianas (o días NAF, por el origen norteafricano del viento) se descuentan habitualmente en el suroeste de Europa para el cálculo del número de superaciones diarias y para la media anual de partículas.

Los descuentos de la contribución de las intrusiones saharianas se realizan mediante un tratamiento de datos de las mediciones de partículas. Por ese motivo, en los días en los que se produce un episodio de intrusión sahariana se puede disponer a priori de tres tipos distintos de datos, a partir de las mediciones del total de partículas: la concentración total de partículas, la contribución al total de las partículas de origen NAF y, por diferencia entre ambas, la concentración de partículas descontada las partículas de origen NAF.

No obstante, en los últimos años existe un debate sobre el impacto sobre la salud derivado de la exposición a partículas en estos días con intrusión sahariana. Así, se han publicado diversos estudios epidemiológicos en los últimos años que demuestran el impacto que causan en la salud estos fenómenos, pues estos estudios han asociado las intrusiones saharianas con una serie de efectos en salud, como el incremento de mortalidad o el aumento de ingresos hospitalarios, en diferentes ciudades del arco mediterráneo, como en Madrid, Barcelona, Roma o Atenas. A estas se les añadió algunas ciudades más, en el marco del proyecto MED-PARTICLES, que finalizó en 2013 ¹¹⁷⁻¹²⁶.

Estos estudios se han realizado básicamente de dos maneras:

- Estudio de casos cruzados, que es un diseño epidemiológico observacional en el que se valora si alguna exposición intermitente o inusual ha desencadenado un evento agudo a muy corto plazo.
- Estudio de series temporales con análisis multivariante mediante regresión de Poisson.

También se ha planteado la posibilidad de que la presencia de polvo de origen sahariano sea un factor modificador del efecto que causa en la salud la exposición a las partículas PM10, aumentando dichos efectos ¹²³. Ello implicaría la existencia de una interacción entre los fenómenos de intrusión y las PM10, es decir, una interdependencia entre sus mecanismos de acción para causar el efecto, de manera que la incidencia de enfermedad atribuible a ambos factores causales es diferente de la incidencia esperable de sus efectos individuales ¹²⁷.

Asimismo, se ha comprobado que durante los días en los que se producen intrusiones saharianas se producen variaciones en la altura de la *capa límite atmosférica* o *capa de mezcla* (MLH). Estas variaciones podrían provocar un aumento de la toxicidad del aire, pues la altura de esta capa se reduce de manera inversamente proporcional a la intensidad de la intrusión sahariana, produciéndose una acumulación progresiva de contaminantes antropogénicos y favoreciendo la formación de nuevas partículas finas, de modo que esta reducción de la altura de la capa límite se ha asociado a un incremento de la mortalidad por todas las causas ¹²⁶.

2. FINALIDAD, ÁMBITO Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

La finalidad del presente estudio es mostrar que la evaluación de impacto en salud puede ser una herramienta muy útil para evaluar políticas públicas. Para ello, la política pública que evaluaremos será un Plan de Calidad del Aire, concretamente el Plan de Calidad del Aire de la Zona Industrial Bahía de Algeciras, que se publicó en 2014.

El ámbito del estudio es, por tanto, los municipios incluidos en dicho Plan: Algeciras, La Línea de la Concepción, Los Barrios y San Roque. La elección de esta zona en concreto se debe a varios factores que hacen que la misma tenga un interés especial frente a otras zonas que cuentan también con un Plan de Calidad del Aire.

La primera es que en ella se encuentra el principal centro industrial de Andalucía (y el segundo de España) que es, considerado globalmente, una fuente de emisión de una amplia variedad de contaminantes ambientales ¹²⁸, pero también fuente de riqueza para la zona. La ubicación de la zona, junto al estrecho de Gibraltar, y la presencia de un importante puerto marítimo como es el de Algeciras provoca, además, que en la zona existan emisiones significativas provenientes del tráfico marítimo ¹²⁹. La contaminación en esta área por tanto no solo se limita a factores locales, sino que está también influenciado por el comercio internacional y la economía mundial ¹³⁰.

Por otro lado, la zona tiene un régimen de vientos muy particular, con dos direcciones de vientos muy marcadas ¹³¹, lo que podría tener algún tipo de implicación relacionada con las inequidades en salud dentro de la población. Y su cercanía a África hace que resulte especialmente interesante ver cómo le afectan los fenómenos de intrusión sahariana. Y, por último, en la zona existe una percepción de la ciudadanía especialmente negativa en todo lo referente a las consecuencias para su salud de la contaminación producida por el centro industrial ¹³².

Por otro lado, el periodo de estudio es el periodo 2005-2013. Para la fecha de comienzo (1 de enero de 2005) se ha tomado como referencia la entrada en vigor del valor límite existente en la actualidad para las partículas PM10 en aire ambiente, mientras que la fecha de finalización es el 31 de diciembre del año anterior a la a la publicación del Plan

Una vez que hemos concretado la finalidad y delimitado el ámbito y el periodo del estudio, debemos especificar cuales son los objetivos del estudio, dentro del marco de la evaluación de impacto en salud del Plan (Tabla 7). Así, primero formularemos un objetivo en términos generales, no susceptible de investigación específica, para posteriormente acotar hasta formular de modo más preciso una serie de objetivos específicos, que permita evaluar hipótesis concretas.

El objetivo general será proponer, mediante una EIS, medidas o acciones a incluir en el futuro Plan de Calidad del Aire de la zona industrial de la Bahía de Algeciras que mejoren el Plan vigente actualmente. Las propuestas, que serán las conclusiones de este trabajo, tratarán de potenciar los impactos que se hayan identificados como positivos para la salud de la población, de eliminar o minimizar los impactos negativos y de disminuir las inequidades de salud de la zona.

Para ello, se han definido unos objetivos específicos, que son los siguientes:

- Objetivo 1: Estimar las ganancias en salud en la población de la zona industrial de Bahía de Algeciras producidas por la implantación de las medidas y acciones del PMCA.

Este objetivo lo dividiremos en dos partes, en función de las unidades en las que mediremos las ganancias en salud:

- Objetivo 1.1: Estimar la disminución de la mortalidad en la población de la zona industrial de Bahía de Algeciras por la implementación del PMCA.
- Objetivo 1.2: Estimar el beneficio en términos económicos debido a la disminución de la morbimortalidad por la implementación del PMCA.
- Objetivo 2: Estudiar la influencia de la meteorología de la zona en aspectos relativos a la salud de la población.

Este objetivo consta de tres partes diferenciadas, en función del aspecto relacionado con la meteorología a estudiar:

- Objetivo 2.1: Investigar si hay asociación entre el régimen de vientos y de mortalidad diaria en la población de la zona industrial de Bahía de Algeciras.
- Objetivo 2.2: Estimar el efecto de la exposición a corto plazo a PM₁₀ sobre la mortalidad diaria total y específica (causas cardiovasculares y respiratorias) de la población de la Bahía de Algeciras.
- Objetivo 2.3: Determinar si las intrusiones de polvo sahariano son un factor modificador del efecto en la salud de las PM₁₀

Finalidad	Objetivo general	Objetivos primarios	Objetivos secundarios
<i>Mostrar utilidad de la EIS para evaluar políticas públicas</i>	Proponer medidas para el futuro PMCA considerando en la EIS los impactos positivos, negativos y su distribución (inequidades)	Estimar las ganancias en salud por implantación del PMCA	Estimar la disminución de la mortalidad en la población por implementación del PMCA.
			Estimar el beneficio en términos económicos debido a la disminución de la morbimortalidad por la implementación del Plan de Calidad del Aire.
		Estudiar la influencia de la meteorología de la zona en aspectos relacionados con la salud	Investigar si hay asociación entre el régimen de vientos y la mortalidad diaria de la población
			Estimar el efecto a corto plazo (mortalidad diaria) de la exposición a PM10 en la población
			Determinar si las intrusiones de polvo sahariano son un factor modificador del efecto en la salud de las PM10

Tabla 7. Resumen de la finalidad y de los objetivos.

3. METODOLOGÍA

En este trabajo seguiremos la metodología y utilizaremos las herramientas (tablas, documentos de apoyo, etc.) del manual de EIS de proyectos publicado (en adelante, el Manual), adaptándolo en algunos aspectos a las particularidades de una EIS de una política.

Esta metodología contempla la posibilidad de realizar un *análisis en profundidad* en los casos en los que se estime conveniente, como pudieran ser aquellos casos en los que no se pueda descartar que existan impactos significativos. Como se verá más adelante, el determinante “aire ambiente” requerirá de un análisis en profundidad, que consistirá en tres estudios. Uno de ellos cuantificará los impactos en salud en términos de mortalidad evitable y en unidades monetarias, mientras que los otros dos explorarán las relaciones de fenómenos meteorológicos y la salud de la población.

En este capítulo realizaremos una descripción de la metodología general empleada en la EIS del PMCA y de las metodologías para realizar los estudios de los que consta el análisis en profundidad de la EIS. Asimismo, también describiremos los métodos y materiales empleados en la obtención de los datos necesarios para llevar a cabo esta VIS.

3.1. Metodología de la evaluación de impacto en salud

La metodología consta de siete etapas estructuradas en dos grandes fases. La primera fase, descriptiva, detalla cómo recabar la información necesaria para describir el proyecto y caracterizar a la población afectada. La segunda fase (analítica) permite, a través de distintas etapas y el uso de diversos instrumentos de ayuda, descartar o identificar los posibles impactos significativos derivados.

La EIS del PMCA constará de una *descripción* del plan y sus medidas asociadas, una *caracterización de la población y de su entorno*, una identificación de los potenciales impactos de la implementación de las medidas del plan en los *determinantes de salud*, un *análisis preliminar* de los impactos sobre la salud provocados por las variaciones introducidas en los determinantes de salud, un análisis de la *relevancia* de dichos impactos y un *análisis en profundidad* de los impactos sobre la salud. Por último, se realiza un resumen de la valoración, con las conclusiones principales.

Este análisis implica la selección de los *determinantes de salud* en las sucesivas fases de la etapa valorativa (desde la fase de identificación de los potenciales

impactos en los determinantes en adelante), de modo que procedemos a seleccionar aquellos determinantes que, al aplicar las medidas del plan pudieran modificarse de un modo significativo (bien porque sepamos con seguridad que van a modificarse, bien porque no podemos descartar que ello ocurra). La Figura 12 muestra el árbol de decisión a aplicar y las herramientas de apoyo que existen en el Manual de proyectos.

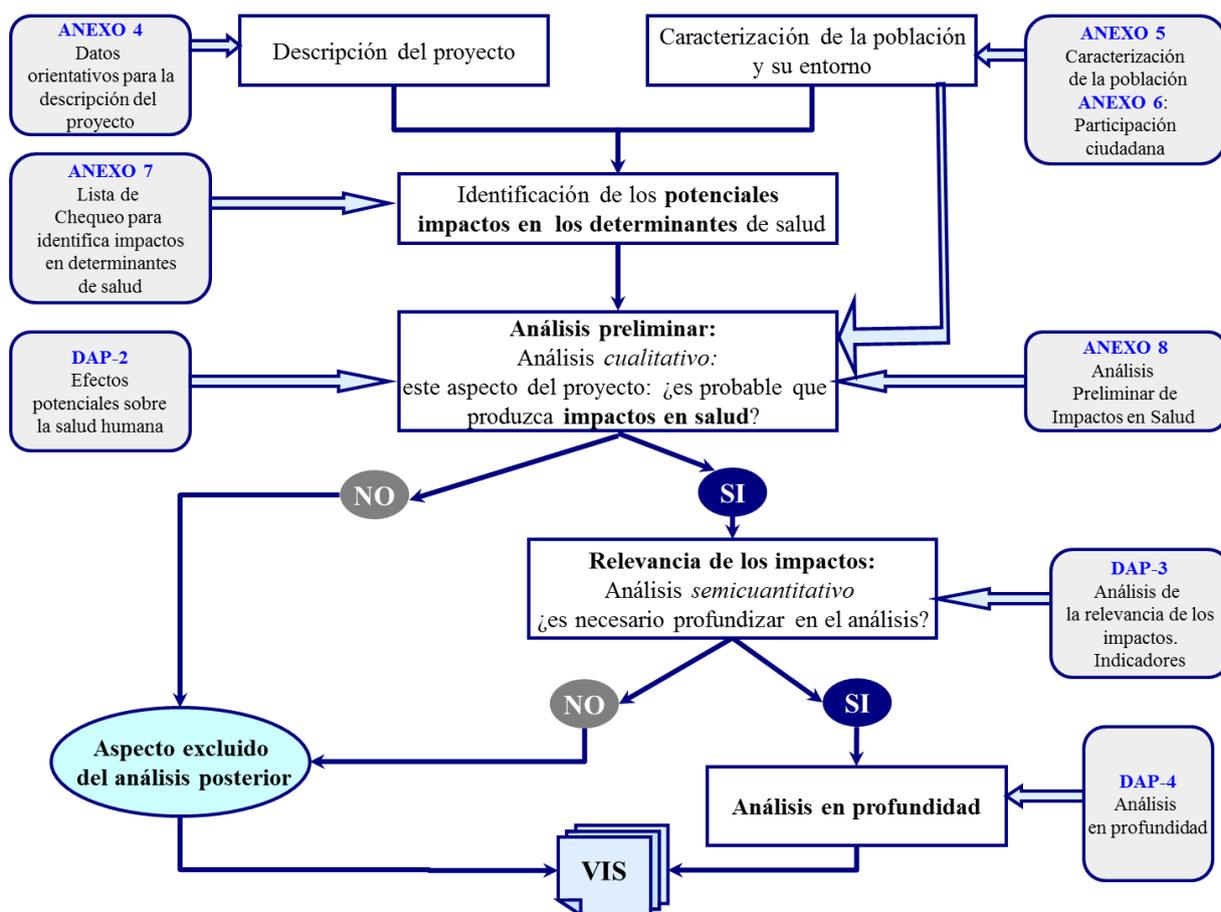


Figura 12. Árbol de decisión de las etapas de la EIS y correspondencia con Anexos y los documentos de apoyo (DAP) del Manual.

Fuente: Adaptado del Manual EIS de proyectos.

A continuación realizaremos una breve descripción de cada etapa.

1º) Descripción del plan: identificar la información relevante del PMCA para determinar las modificaciones positivas o negativas que puedan provocar en la salud de la población.

2º) Caracterización de la población y de su entorno. En esta etapa se describen las características de la situación de partida de la población potencialmente afectada por el proyecto y del entorno social, económico, ambiental, demográfico y de salud de la misma. También debe incluir la percepción de la población sobre su entorno. La información recopilada en esta etapa servirá como base de comparación para evaluar los resultados obtenidos de la implementación del PMCA, con especial atención a grupos vulnerables e inequidades en salud.

El propio Plan cuenta con un capítulo dedicado a la descripción de la zona afectada que incluye una estimación de la superficie afectada, una breve descripción de la población, un análisis socioeconómico y datos topográficos y climáticos. Para la redacción de este apartado tomaremos como punto de partida la información incluida en el propio Plan y, sobre todo en el caso de la caracterización de la población, añadiremos información de otras fuentes, sobre todo información publicada por el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía.

3º) Identificación de los impactos en los determinantes. El objetivo de esta fase es identificar y caracterizar los cambios que el PMCA podría producir en los determinantes de salud, de modo que se prioricen aquellos que puedan causar un mayor impacto. Esto se realizará en tres pasos:

- 1) Análisis de las medidas del PMCA con objeto de identificar los determinantes de salud que pueden verse afectados por la implementación de las mismas.
- 2) Valoración de los potenciales impactos sobre cada determinante como “alto”, “medio” o “bajo”, utilizando unos *criterios básicos de valoración* (Anexo 1) y una lista de chequeo (Anexo 2). Estos criterios son:
 - La *probabilidad* de ocurrencia de un cambio significativo en los determinantes de la salud asociados.
 - La *intensidad*, es decir, el nivel máximo de modificación en los determinantes de la salud.
 - La *permanencia*, que pondera la mayor o menor dificultad para volver al estado que existía previamente.
- 3) Evaluación cualitativa de la relevancia en el impacto sobre el determinante (impacto significativo o no) en función de la mayor o menor presencia de clasificaciones altas o medias en la lista de chequeo.

4º) Análisis preliminar. El análisis preliminar consiste en un análisis cualitativo de los potenciales impactos sobre la salud que puedan introducir los cambios en los determinantes identificados en la etapa anterior.

El objetivo es valorar la posibilidad de que se produzcan efectos significativos en la salud de la población afectada o inequidades importantes en la distribución de tales efectos, identificando los efectos del PMCA, las posibles consecuencias, la percepción de la población, la población expuesta y los colectivos especialmente vulnerables, de modo que se descarten para continuar con la valoración aquellos impactos que no sean significativos.

El procedimiento consiste en tomar los determinantes de salud seleccionados en la etapa anterior y aplicarles una técnica de análisis basada en una *valoración cualitativa ponderada* de factores inherentes a los efectos potenciales del plan y a los factores de tipo poblacional. Los factores a analizar se subdividen en dos tipos: unos asociados intrínsecamente a la actuación (condición necesaria) y otros asociados a la población afectada por el mismo (condición suficiente).

Factores a valorar en la etapa de Análisis Preliminar (Manual EIS)

Factores propios de la actuación (medidas del PMCA)

- Efecto potencial
- Nivel de certidumbre
- Medidas de protección o promoción.

Factores propios del entorno (ámbito de actuación del PMCA)

- Población total.
- Grupos vulnerables
- Inequidades en distribución
- Preocupación ciudadana

Para llevar a cabo este procedimiento utilizaremos la lista de chequeo propuesta en Manual EIS de proyectos (Anexo 3). Para cada determinante de salud (fila) se valorará la intensidad del efecto sobre cada factor (columnas), de modo que cada uno de estos factores se clasificará como “alto”, “medio” o “bajo”, según las orientaciones que se incluyen en el Anexo 4. Posteriormente se seleccionarán:

- El nivel de valoración más bajo entre los factores asociados al PMCA en sí.

- El nivel de valoración más alto en las variables relativas a la población afectada por el PMCA.

Finalmente, en función de la valoración efectuada, se emitirá un dictamen siguiendo un criterio de decisión (Anexo 5).

5º) Relevancia de los impactos. Aquellos impactos que se identifiquen como significativos en la etapa anterior se seleccionan para llevar a cabo un estudio de su relevancia a través del uso de valores o estándares de comparación. El objetivo es tomar una decisión sobre la necesidad de profundizar en el análisis, para lo que utilizaremos los estándares propuestos en el Documento de Apoyo 3 del Manual ¹³³.

6º) Análisis en profundidad. En esta etapa se realiza un análisis crítico de toda la información y evidencia para: 1º) Caracterizar y jerarquizar la distribución de los posibles impactos del proyecto sobre la salud de la población y 2º) Buscar y seleccionar medidas adicionales para incorporar al PCA, con el objetivo de minimizar los posibles efectos negativos o potenciar los positivos que se hayan encontrado.

Este análisis consta de tres partes:

- 1º) Cuantificación de los impactos en salud por la implementación del plan.
- 2º) Estudio de la posible asociación entre el régimen de vientos y la salud mediante un estudio ecológico descriptivo.
- 3º) Estudio del efecto a corto plazo sobre la salud de las PM10 y la posible modificación del efecto en días con intrusión sahariana mediante un estudio de series temporales con regresión de Poisson.

7º) Resumen. Breve resumen de la valoración, en lenguaje asequible para la ciudadanía.

3.2. Análisis en profundidad (I): Cuantificación de los impactos en salud

Realizaremos la cuantificación de los impactos en salud mediante la utilización secuencial de dos técnicas:

- 1) Evaluación del riesgo de la contaminación del aire (ERS-CA) mediante un análisis contrafactual, para cuantificar el impacto en salud en términos de mortalidad evitable.
- 2) WTP (Willingness-to-Pay), para valorar en unidades monetarias el impacto en la morbimortalidad

A modo de resumen, la Figura 13 muestra el esquema general que seguiremos para esta primera parte del análisis en profundidad.

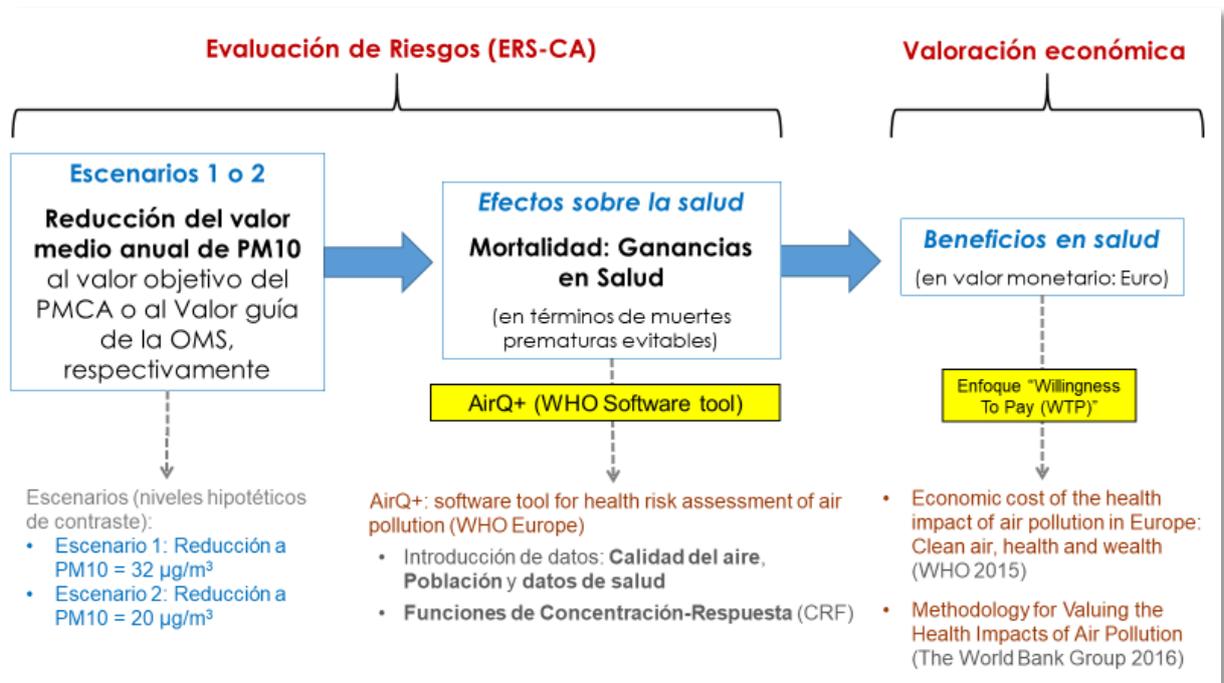


Figura 13. Esquema general de la metodología utilizada para la primera parte del Análisis en profundidad.

A la hora de realizar un análisis en profundidad el Manual sugiere la utilización de la metodología de evaluación de riesgos en la salud (ERS), sobre todo en los casos en los que el posible impacto sea debido a un determinante ambiental de salud. Para realizar la evaluación de riesgos de la contaminación del aire (ERS-CA, en adelante) seguiremos básicamente el documento de la OMS sobre este tema, denominado "Health risk assessment of air pollution. General principles" ¹³⁴.

Este documento menciona la utilidad de la ERS-CA como una *herramienta analítica* en el marco de una evaluación más amplia de los impactos en salud de políticas, programas y proyectos que afecten a condiciones ambientales, es decir, como parte integrante de EIS.

El contaminante que utilizaremos en la ERS-CA serán las partículas de diámetro inferior a 2,5 micras (PM2,5), que es la fracción del material particulado atmosférico para la que hay establecidas asociaciones más consistentes entre el aumento de exposición y efectos o resultados en salud ^{63,80,135}. Además con esto evitaremos el doble recuento de efectos, pues una de las incertidumbres principales cuando se evalúan el impacto de varios contaminantes a la vez es que, al estar habitualmente correlacionados entre sí, la adición de los impactos suele llevar a una sobreestimación de los mismos ¹³⁶.

De acuerdo con los principios generales de la ERS-CA, la evaluación se realiza mediante un *análisis contrafactual*, que consiste en confrontar los valores reales de las partículas finas **en el periodo de estudio** con dos escenarios hipotéticos:

- Escenario 1: El valor medio anual de PM2,5 hubiera sido igual al objetivo del PMCA (este valor se estimará a partir del valor objetivo del PMCA para PM10, que es 32 µg/m³).
- Escenario 2: El valor medio anual de PM2,5 hubiera sido igual al nivel guía de la OMS, es decir, 10 µg/m³.

Los resultados de la ERS-CA serán en realidad las *ganancias en salud* expresado en el número de muertes que se habrían evitado si, en cada año analizado, se hubiera dado alguno de los dos escenarios anteriores. Las muertes prematuras evitables se calculan por diferencia (en número de muertes anuales) entre la tasa de mortalidad anual (TMA) por la exposición al contaminante medida durante un periodo de tiempo concreto (TMAreal) y la que existiría si la exposición durante este tiempo fuera la exposición de contraste (TMA hipotética).

$$\text{Muertes prematuras evitables} = TMA_{real} - TMA_{hipotética}$$

Para efectuar los cálculos utilizaremos el programa AIRQ+ (versión 1.2) desarrollado por la Oficina Regional Europea de la OMS ¹³⁷.

Posteriormente traduciremos las muertes prematuras evitables a unidades monetarias, con objeto de conocer los beneficios en salud en términos económicos.

Para ello utilizaremos la metodología denominada *Willingness to Pay* (WTP) basándonos en dos documentos, uno conjunto de la OMS y de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) ¹³⁸ y otro del Banco Mundial ¹³⁹. A continuación, explicaremos con un poco más de detalle cada uno de estos pasos.

3.2.1. La evaluación del riesgo de la contaminación del aire ambiente

En la ERS-CA emplearemos un enfoque de contraste (*counterfactual approach*), que evalúa la diferencia en los resultados en salud entre lo que se observa actualmente y lo que podría haber sido observado en la actualidad si los niveles de contaminantes fueran inferiores ¹⁴⁰, debido al hecho de que consideramos que, por un lado, da una idea más exacta de la carga de enfermedad que produce la contaminación del aire y, por otro, es más intuitivo y facilita la comprensión de los riesgos que puede provocar la exposición ambiental a contaminantes.

Este enfoque implica que el impacto en la salud causado por un factor de riesgo prevenible disminuiría si dicho factor se eliminara o disminuyera. Así, la reducción proporcional en el problema de salud o en el número de muertes en una población dada como consecuencia de la reducir el factor de riesgo denomina *fracción o proporción atribuible* ¹⁴¹. Si lo que se realiza es una estimación del número de muertes que podrían evitarse si se alcanzase una concentración determinada, el término empleado es el de *muertes prematuras evitables*.

De acuerdo con el citado documento, las fases de una ERS-CA son las siguientes (Figura 14):

- 1) **Planificar la ERS-CA.** Aquí se incluyen aspectos como las cuestiones a las que se quiere dar respuesta, la definición de la población afectada o la selección de la herramienta para llevarla a cabo. En el marco de la EIS del PMCA, esta pregunta viene definida por el objetivo correspondiente a esta parte del análisis en profundidad, esto es, estimar el impacto en salud sobre la población afectada por el PMCA. Como *población afectada* consideraremos a la población residente en los cuatro municipios considerados por el PMCA, y la herramienta será el programa AIRQ+.
- 2) **Evaluar la exposición de la población.** La exposición a PM_{2,5} se ha estimado a partir de los datos de calidad del aire de la Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire en Andalucía y proporcionados por la Consejería competente en materia de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (bajo petición).
- 3) **Estimar el riesgo para la salud.** Para ello se utilizan las funciones de concentración-respuesta o exposición-respuesta (CRF, en adelante), que

están basadas en estimaciones del riesgo relativo. Esta información se obtiene de la evidencia científica generada en estudios epidemiológicos con amplia significación estadística, teniendo en cuenta criterios de comparabilidad de las características de la población del estudio epidemiológico donde se generó el dato y la población sobre la que se desea llevar a cabo la ERS-CA ¹⁴². Las CRF son el eje central del método de la evaluación del impacto en la salud de la contaminación del aire ¹³⁶.

- 4) **Cuantificar el impacto sobre la salud.** Utilizaremos el número de muertes atribuibles, por su facilidad de interpretación frente a otras como los años de vida perdidos o los años de vida ajustados por discapacidad. Además, se considera que esta medida es más adecuada para realizar una estimación de los beneficios en términos económicos ¹³⁸. El periodo temporal será anual (largo plazo), pues en la cuantificación de los efectos a largo plazo se incluyen también los efectos a corto plazo ¹³⁷.

Esta cuantificación se basa en el concepto de *proporción atribuible poblacional*, es decir, de la fracción del resultado o evento de salud que puede ser atribuido a la exposición en una población dada y en un periodo de tiempo determinado, asumiendo que hay una relación causal entre la exposición y el evento y, además, que no hay efectos de confusión importantes en dicha asociación.

La *proporción atribuible* se puede calcular usando la ecuación siguiente:

$$AP = \frac{\sum\{[RR(c) - 1] \times p(c)\}}{\sum[RR(c) \times p(c)]}$$

donde:

- RR(c) es el riesgo relativo para el evento de salud en la categoría c de exposición.
- p(c) es la proporción de población en la categoría c de exposición.

La distribución de la exposición de la población debe ser determinada en la fase de evaluación de la exposición y el riesgo relativo (RR) para el evento o resultado en salud seleccionado se derivan de la función de exposición-respuesta obtenida en los estudios epidemiológicos.

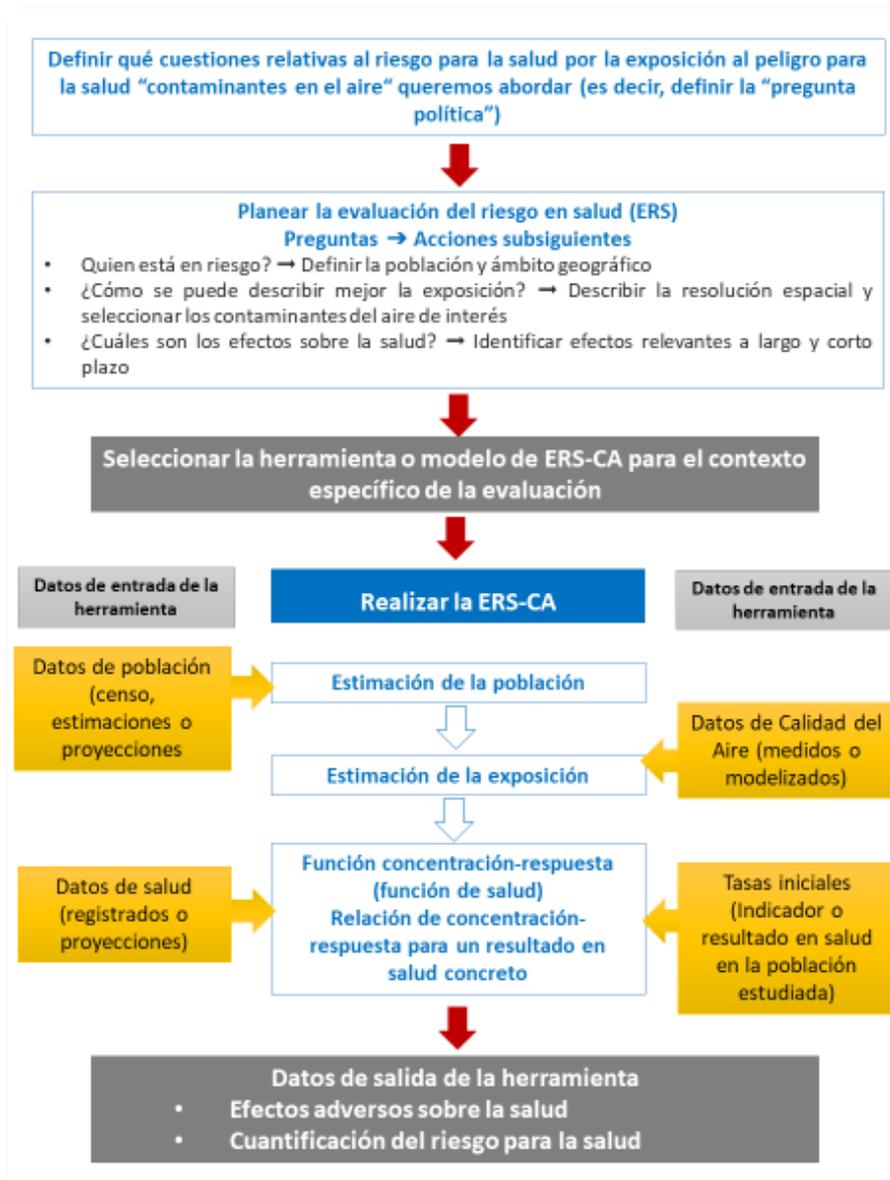


Figura 14. Esquema global de un proceso de ERS-CA.

Fuente: Adaptado del documento de Principios Generales de la ERS-CA.

Si conocemos (o asumimos) una cierta frecuencia basal del resultado en salud en la población (B) podemos calcular el ratio o *número de casos por unidad de población* (BE) atribuidos a la exposición E en la población:

$$B = B \times AP$$

Para una población de un tamaño dado N, la expresión anterior puede transformarse en el *número de casos atribuidos a la exposición* (NE):

$$NE = BE \times N$$

Si en el cálculo de la proporción atribuible se utilizan los límites del intervalo de confianza de la estimación del RR pueden obtenerse los correspondientes límites superior e inferior de la estimación de la AP y los respectivos rangos para el número de casos atribuidos a la exposición (NE) en la población.

En cuanto al riesgo relativo, que indica la *probabilidad* de desarrollar el evento en el grupo expuesto respecto al no expuesto (o entre dos exposiciones diferentes), se modela normalmente en aire ambiente mediante una función log-lineal:

$$RR = \frac{e^{(\alpha + \beta X)}}{e^{(\alpha + \beta X_0)}} = e^{(\beta(X - X_0))}$$

En esta ecuación, X es la concentración del contaminante ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y X_0 denota un valor de comparación ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), como puede ser el valor de contaminación de fondo o el valor más bajo alcanzable (en nuestro caso, serán los valores de contraste correspondientes a los escenarios 1 y 2). En el modelo log-lineal, β denota el cambio que se produce en el RR al variar la concentración X en una unidad.

Hay otras formas propuestas para la función de concentración-respuesta, como la lineal-log¹⁴³ o la función de riesgo integrado en el caso de PM_{2,5}¹⁴⁴ pero en el rango de concentraciones habituales en la zona de estudio puede asumirse una relación lineal entre RR y las variación de concentración de contaminantes¹⁴⁵, de modo que el valor de RR suele proporcionarse en tanto por ciento del cambio en el riesgo de mortalidad (IC al 95%) asociado con un aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la exposición.

En un estudio publicado en 2019 se mostraron las curvas exposición-respuesta para PM₁₀ y PM_{2,5} y mortalidad total en 16 países o regiones¹⁴⁶. La curva calculada con los datos de España se muestra en la Figura 15.

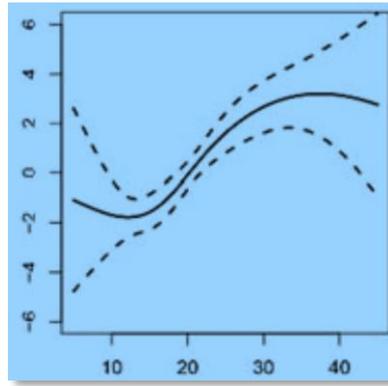


Figura 15. Curva de concentración-respuesta para PM_{2,5} (lag 0-1) y porcentaje de cambio en la mortalidad para España.
Fuente: Liu et al., 2019 ¹⁴⁶.

Herramienta utilizada en el cálculo del impacto en salud: AirQ+

Utilizaremos la herramienta AirQ+, versión 1.2, desarrollado por la Oficina Regional para Europa de la OMS en el marco de sus actividades relacionadas con la calidad del aire y la salud ^{145,147}. AirQ+ es un software que usa la integración de aplicaciones matemáticas y el análisis de la exposición de un riesgo para la salud, y funciona con funciones logarítmicas, cálculos matriciales y funciones estadísticas ¹⁴⁸ para obtener un resultado en salud (Tabla 8).

Todos los cálculos que lleva a cabo AirQ+ están basados en las metodologías y funciones de concentración-respuesta (CRF) establecidas por diversos estudios epidemiológicos. Las CRF utilizadas en este software están basadas en la revisión sistemática de todos los estudios disponibles hasta 2013 y su metaanálisis posterior.

Los datos necesarios para los cálculos son:

- Datos de calidad del aire: concentraciones medias anuales.
- Datos de población: número total de adultos de cada municipio (edad igual o mayor de 25 o 30 años).
- Datos de salud: tasas de mortalidad general o específica.
- Un valor de comparación o contraste: escenarios 1 y 2.
- Un valor del riesgo relativo de la exposición a partículas.

INDICADOR SANITARIO / RESULTADO EN SALUD	A LARGO PLAZO					A CORTO PLAZO			
	PM2,5	PM10	NO ₂	O ₃	BC	PM2,5	PM10	NO ₂	O ₃
Mortalidad, por todas las causas (naturales) en adultos	x		x		x	x		x	x
Mortalidad, por enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) en adultos	x								
Mortalidad, por enfermedad isquémica cardíaca (IHD) en adultos	x								
Mortalidad, por cáncer de pulmón (LC) en adultos	x								
Mortalidad, por accidente cerebrovascular (ACV) en adultos	x								
Mortalidad, por enfermedades respiratorias en adultos				x					x
Mortalidad, por enfermedades cardiovasculares en adultos									x
Mortalidad, por todas las causas (naturales) en población infantil		x							

Tabla 8. Contaminantes del aire, tipos de exposición y algunos de los indicadores de mortalidad prematura que utiliza AIRQ+.

Fuente: Adaptado de WHO- Regional Office for Europe, 2018 ¹⁴⁷.

Datos de exposición ambiental

La exposición ambiental a partículas finas la evaluaremos mediante los valores medios anuales de partículas finas obtenidos de cada municipio por año.

Para ello seguiremos los siguientes pasos:

- 1º) **Solicitud de datos** de la Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire (RVCCA) a la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio (CMA) de la Junta de Andalucía.
- 2º) **Selección de las estaciones de la RVCCA** que evalúen la exposición humana, descartando aquellas estaciones de la zona que no reflejen dicha exposición.
- 3º) **Obtención de un valor medio diario (VMD) de PM10** para cada municipio. En primer lugar obtendremos valores de PM10 debido a que las estaciones de la RVCCA de la zona miden habitualmente este parámetro y no PM2,5.
- 4º) **Obtención de un valor medio anual (VMA) de PM10** para cada municipio, a partir de los VMD anteriores.
- 5º) **Conversión del valor de PM10 al valor de PM2,5** utilizando un factor de corrección ($PM2,5 = 0,58 * PM10$). Este factor se obtendrá de un trabajo sobre

la caracterización de material particulado atmosférico en zonas industriales de Andalucía que incluyó a la zona industrial de Bahía de Algeciras ¹³¹.

Datos de población: Número de personas expuestas

El segundo grupo de datos que requiere la ERS-CA son los datos de población. Para obtenerlos, consultaremos las *Cifras oficiales de población de los municipios españoles: Revisión del Padrón Municipal*, publicadas por el Instituto Nacional de Estadística ¹⁴⁹ y el *Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA)*, publicados por el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía ¹⁵⁰.

Los datos en ambos casos están referidos a 1 de enero de cada año, por lo que realizaremos la estimación de la población a mitad de periodo mediante el cálculo de la población media en cada municipio y año, para los grupos de edad requeridos por AIRQ+ para el cálculo del impacto en la salud (población igual o mayor de 25 y 30 años), es decir:

$$Población\ media\ (año\ X) = \frac{Población\ 1\ enero\ año\ (X + 1) + Población\ 1\ de\ enero\ año\ X}{2}$$

Datos sanitarios: Mortalidad anual

Como ya se indicó anteriormente, mediante la herramienta de la ERS-CA vamos a valorar los impactos sobre la salud derivados de la exposición a las partículas a largo plazo en el aire ambiente y expresaremos los resultados en términos de muertes prematuras evitables, que equivale al *exceso de mortalidad* por exposición a partículas finas, comparado con un estándar (en nuestro caso, los definidos en los escenarios 1 y 2).

Uno de los datos necesarios para llevar a cabo la ERS-CA eran, como vimos anteriormente, los datos sobre el estado basal de salud de la población. Los datos que requiere AIRQ+ son las Tasas de mortalidad específicas (TME) de aquellas causas de defunción para las que existen funciones de exposición-respuesta definidas para las partículas finas, que son:

- Causas no externas o naturales (ICD10: A00-R99). Edad \geq 30 años. No se incluyen las causas externas, es decir, las lesiones traumáticas,

envenenamientos y otras consecuencias de causas externas (ICD10:S00-T88), las causas externas de morbilidad (ICD10:V00-Y99) y los factores que influyen en el estado de salud y contacto con los servicios sanitarios (ICD10:Z00-Z99).

- Cáncer de pulmón (ICD10: C33-C34). Edad \geq 30 años.
- Enfermedad isquémica cardíaca (ICD10: I20-I25). Edad \geq 25 años.
- Enfermedad cerebrovascular (ICD10: I61-I69). Edad \geq 25 años.
- Enfermedad pulmonar obstructiva crónica, EPOC (ICD10: J40-J44, J47). Edad \geq 30 años.

Entre paréntesis se ha incluido el código internacional de enfermedades (CIE), obtenido de la aplicación eCIE-Maps - CIE-10-ES Diagnósticos, desarrollada por el Ministerio de Sanidad ¹⁵¹.

Para calcular las TME seguiremos los siguientes pasos:

- 1º) **Solicitud de los datos de defunciones por causas** al Servicio de Información y Evaluación de la Consejería de Salud, concretamente los datos de defunciones anuales ocurridas en el periodo 2005-2013, por las causas señaladas anteriormente, en los municipios de Algeciras, Los Barrios, La Línea de la Concepción y San Roque.
- 2º) **Cálculo de las TME** utilizando para cada caso los datos de defunciones y de la población a mitad de periodo obtenidas en el apartado anterior, mediante la siguiente fórmula:

$$TME (\text{municipio, causa, año}) = \frac{N^{\circ} \text{ de defunciones (municipio, causa, año)}}{\text{Población a mitad de periodo (municipio, causa, año)}}$$

3.2.2. Valoración económica de los impactos en salud

En los últimos años existe un reconocimiento cada vez mayor sobre el hecho de que los impactos sobre la salud y los impactos ambientales requieren con frecuencia una valoración en términos económicos para poder recibir una atención adecuada en la formulación de políticas ^{152,153}.

Entre los posibles fines de realizar esta valoración podemos citar:

- Comunicar la carga de enfermedad debida a la contaminación atmosférica.
- Medir el valor de una actividad y sus riesgos sobre la salud asociados de un modo comparable, lo que ayuda a realizar balances más realistas.
- Informar medidas dirigidas a internalizar costes (como impuestos o tasas para actividades contaminantes).
- Permitir el cálculo de ahorro en costes sanitarios en escenarios alternativos o debidos a la implementación de una política que aborde la contaminación.

Los costes de las enfermedades relacionadas con la contaminación pasan frecuentemente inadvertidos y se considera además que están minusvalorados debido a que están relacionados con enfermedades no transmisibles con periodos de latencia largos (de varios años), se encuentran repartidos en poblaciones grandes y no son captados por indicadores económicos estándar ⁸⁰. Estos costes son mucho más difíciles de calcular que los costes derivados del control de la contaminación, que son normalmente tangibles y concretos ¹⁵⁴.

Para llevar a cabo la valoración económica hay que partir de una medida de impacto en la salud. Según el fin que se persiga, se puede elegir entre diversas opciones. En los estudios de Carga Global de Enfermedad (GBD) publicados en los últimos años las medidas seleccionadas han sido de mortalidad (exceso de muertes o años de vida perdidos, YLL), de morbilidad (años de vida con discapacidad, YLD) o de morbimortalidad (años de vida ajustados por discapacidad, DALY o AVAD) ¹³⁹.

Los AVAD son una medida que resume de manera útil los impactos en la salud y se ha usado de manera rutinaria como una medida sintética en la atención sanitaria ¹⁵⁵, mediante el uso del análisis coste-efectividad, pero pueden ser problemáticos para los propósitos de una valoración económica por diversos motivos ¹³⁹.

El hecho además de que la mortalidad sea más fácil de explicar y de que represente la mayor parte de la carga de enfermedad en los estudios de GBD ^{156,157} hace que sea más recomendable utilizar medidas de mortalidad. Además, la mortalidad presenta la ventaja frente a la morbilidad de una mejor estandarización en la recopilación de datos dentro de la Unión Europea ¹⁵⁸. No obstante, dado que la morbilidad también tiene impacto económico, parece oportuno tenerla también en cuenta. En este sentido, la OMS recomienda utilizar un 10% adicional de los costes totales estimados de mortalidad, como el mejor estimador de los costes adicionales de morbilidad ¹³⁸.

Existen dos posibilidades para medir la mortalidad prematura: exceso de mortalidad (muertes prematuras evitables) y pérdida de esperanza de vida (años de vida perdidos, YLL). Aparte de cuestiones éticas acerca de cómo considerar los impactos en personas muy jóvenes y mayores (es decir, si introducir pesos en los cálculos o no), en general la literatura no ofrece preferencia entre seleccionar una u otra medida.

En este caso, como vimos en los apartados anteriores, hemos escogido la medida de ganancias en salud en términos de muertes evitables. Aunque podemos encontrar ejemplos como el del proyecto Aphekom⁵⁵, que expresó los resultados en ganancias en esperanza de vida a la edad de treinta años, o las ERS-CA realizadas por la Agencia Europea de Medio Ambiente y que se están incluyendo en los últimos informes de calidad del aire en Europa^{159,160}, en las cuales se han utilizado ambas medidas (muertes prematuras y YLL).

Una vez que tenemos la medida del impacto en salud, hay que seleccionar la metodología para traducir esta medida a unidades monetarias. Los riesgos para la salud pueden considerarse, en términos económicos, como un coste externo o *externalidad*. Es decir, un coste que es consecuencia de una actividad (el transporte, por ejemplo) pero que afecta a una tercera parte, que no ha elegido incurrir en tales gastos. En general, los costes en salud pueden incluir^{80,152}:

- *Costes de mercado*, que son costes relacionados con la salud con un valor monetario directo:
 - Gastos médicos directos: costes de hospitalización y rehabilitación a largo plazo o cuidado, entre otros.
 - Gastos indirectos relacionados con la salud: afectan a otras personas o a la sociedad en general, como el tiempo perdido en horas de trabajo o en educación.
- *Costes de no mercado o costes de bienestar*. Son costes que no tienen un valor monetario fijo, como la menor productividad económica debido a la disminución en el rendimiento de las personas o las pérdidas económicas debidas a las muertes prematuras. Se incluyen aquí los denominados *costes intangibles* (como el tiempo en el cuidado de otra persona o los trastornos familiares), que suelen ser muy superiores a los costes de mercado.

Aunque hay diversas maneras de calcular los impactos en salud, como el enfoque de contabilidad de costes totales (*full-cost accounting*), que consiste en sumar todos los gastos médicos en los que incurre una persona cuando estaba enferma (costes directos) y por la pérdida en productividad por discapacidad o

muerte prematura (costes indirectos). Este enfoque presenta, entre otros problemas, el no tener en cuenta los costes intangibles ⁸⁰.

Por ello, en los últimos años se ha desarrollado una segunda alternativa: el enfoque denominado Willingness-to-Pay (WTP), que es una medida de cuanto están dispuestas a pagar las personas para reducir el riesgo de muerte prematura.

Agregando los datos de los estudios WTP puede estimarse lo que se denomina el *Valor de una vida estadística* (VSL), que se define como el total de lo que la mayoría de las personas pagarían por pequeñas reducciones en la probabilidad de morir en el año siguiente, que, juntas, suman el coste de salvar una vida. Multiplicar el número de vidas que se salvarían al reducir la contaminación por el VSL nos proporciona una estimación de los beneficios de esa reducción. El valor de VSL no representa directamente el valor de una vida concreta, sino más bien la suma de valores WTP para la reducción en el riesgo de muerte prematura ¹⁵².

En países desarrollados, el enfoque WTP se ha convertido en la manera estándar para valorar los riesgos en mortalidad asociados con la contaminación ^{138,139}. Las estimaciones de VSL han sido ampliamente utilizadas en análisis coste beneficio (ACB) para expresar los riesgos para la salud en unidades monetarias, incluidos los de la contaminación del aire ^{161,162}.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) propone en un metaanálisis publicado en 2012 un valor de VSL de unos tres millones de dólares para los países de la OECD (precios de 2005), valor que aumenta en el caso de los países de la Unión europea hasta algo más de 3,6 millones de dólares ^{138,139,163,164}.

A continuación se resume la metodología que se va a seguir en el Análisis en profundidad, siguiendo las recomendaciones de la OMS, de la OCDE y del Banco Mundial:

- Punto de partida: estimación de la OECD a partir del metaanálisis publicado en 2012: VLS = 3.614.506 dólares.
- Ajuste del valor de VLS. Hay que hacer dos ajustes principales:
 - Ajuste por país por diferencias en renta per cápita (producto interior bruto por habitante).
 - Ajuste post-2005 por la tasa de crecimiento del PIB per cápita (ΔY) y por variaciones del Índice de Precios de Consumo (ΔP).

Así, si consideramos por ejemplo el año 2010, el valor de VSL será:

$$VSL_{país,2010} = VSL_{OECD,2005} \times \left(\frac{Y_{país,2005}}{Y_{OECD,2005}} \right)^{\beta} \times (1 + \% \Delta P + \% \Delta Y)^{\beta}$$

Donde β es la elasticidad en los ingresos (rentas) del VSL (se asumirá un valor de $\beta = 0,8$, de acuerdo con el criterio de la OCDE). Los datos del PIB (a valores de paridad de poder adquisitivo per cápita) de España y de los países de la OCDE los obtendremos de los registros del Banco Mundial ¹⁶⁵ y la variación de los precios de consumo, así como el factor anual para la conversión de dólares a euros, del Instituto Nacional de Estadística ¹⁶⁶.

Una vez obtenido el VSL de cada año, solo habrá que multiplicarlo por las muertes prematuras estimadas en cada escenario (E1 y E2) por año y municipio, y añadirle el 10% para incluir los costes derivados de la morbilidad, para obtener los beneficios económicos del PMCA (precios de 2005).

$$\text{Beneficios PMCA} = 1,1 \times (\text{Número de vidas salvadas} \times VSL)$$

3.2.3. Incertidumbres de la estimación

Las incertidumbres en una evaluación de riesgos de la salud por contaminación del aire ambiente están relacionadas con la ausencia de conocimiento sobre uno o más componentes de la evaluación, y normalmente está limitada a los componentes que ya se han identificado como tales (es decir, los “desconocimientos conocidos”) ¹³⁴.

La principal incertidumbre de la ERS-CA está relacionada con las funciones de concentración-respuesta utilizadas en la evaluación ^{134,167,168}, incertidumbres que se derivan de las asunciones realizadas en los estudios epidemiológicos de los que se obtienen dichas funciones.

Dado que los valores de las CRF se proporcionan como un valor medio con los límites superior e inferior del intervalo de confianza al 95%, para reducir en lo posible esta incertidumbre estos límites se utilizarán, en los cálculos de muertes prematuras, para dar un valor central de la estimación y los valores superior e inferior del intervalo de confianza al 95%.

Otras fuentes de incertidumbre en la ERS-CA se tratan de manera cualitativa, y son:

- La elección de un solo contaminante (PM_{2,5}) puede no ser totalmente representativo de la mezcla compleja de contaminantes presentes en el aire, lo que puede llevar a una infraestimación de los impactos en la salud por la contaminación del aire ambiente.
- Las incertidumbres asociadas con las medidas de PM₁₀ por la RVCCA: se asume que son representativas de la exposición.
- La evaluación de la exposición: Por un lado, se asume que todas las personas del municipio están expuestas a la misma concentración de PM₁₀ y, por otro, que las personas pasan todo el tiempo en ese municipio (no se considera que las personas puedan estar fuera en su tiempo de ocio o que no trabajen en él). Tampoco se ha tenido en cuenta la exposición laboral, que podría ser relevante para un sector importante de la población. Además, la metodología utilizada supone implícitamente una toxicidad “común” para las partículas, obviando posibles singularidades locales que pudieran suponer una mayor o menor toxicidad.
- Las incertidumbres asociadas con el uso del factor de conversión entre PM₁₀ y PM_{2,5}. El factor se obtiene de un estudio en el que se midieron concentraciones medias anuales en las estaciones de La Línea y Los Barrios, presentando ambas series el mismo valor: $PM_{2,5}/PM_{10} = 0.58$. No obstante, las mediciones se realizaron en 2006-2007, por lo que las fuentes de emisión pueden variar en otros periodos. O bien este factor podría no ser exactamente el mismo en otras localizaciones, como en Algeciras.
- Los datos de población. Asumimos que son correctos y que la población es suficientemente estable para que el cálculo de la mortalidad sea válido.
- Los datos sanitarios, pues se asume que las defunciones están bien codificadas (sería una incertidumbre en el cálculo por tasas específicas de mortalidad) y registradas.

Por otro lado, la valoración económica de los impactos en salud también introduce algunas incertidumbres, sobre todo debidas al cálculo del valor de una vida estadística. Los valores propuestos de partida por la OECD y otros factores, como el valor de la elasticidad para el VSL, no dejan de ser estimaciones sujetas también a incertidumbres, así como el coste de la morbilidad, propuesto por la OMS a partir de los resultados de porcentaje de los costes por la morbilidad sobre el coste total de impactos de los análisis coste-beneficio que se mencionaron anteriormente.

3.3. Análisis en profundidad (II): Vientos

Con la segunda parte del análisis en profundidad de la EIS del PMCA iniciaremos la investigación de la relación entre fenómenos meteorológicos y la salud en la zona industrial Bahía de Algeciras.

La posible relación entre los vientos y la salud se investigará mediante un sencillo estudio cuyo objetivo será averiguar si el régimen de vientos de la zona está relacionado con una mayor mortalidad a corto plazo por todas las causas (excluidas externas) en la población de estudio. El indicador de salud será la mortalidad a corto plazo, concretamente el número de muertes diarias producidas en la población residente en la zona industrial de la Bahía de Algeciras, tanto global como por municipios, excluidas causas externas. Como exponente del régimen de vientos, crearemos una variable que clasifique cada día en función de la dirección del viento dominante.

La hipótesis a verificar será, concretamente, que la mortalidad diaria en la población de los municipios de la zona industrial de la Bahía de Algeciras ha variado en función de la dirección del viento durante el periodo de estudio. En caso de que esta hipótesis se verifique para la Bahía de Algeciras en conjunto o para alguno de sus cuatro municipios, se investigará cuál de las direcciones predominantes del viento presenta una mayor mortalidad diaria.

3.3.1. Determinación de los grupos

Para poder asociar la dirección de los vientos con la mortalidad a corto plazo primero es necesario tratar los datos de vientos y transformarlos en una variable adecuada, una variable categórica con dos o más grupos que recojan la dirección predominante del viento (Figura 16), que denominaremos *wind*.

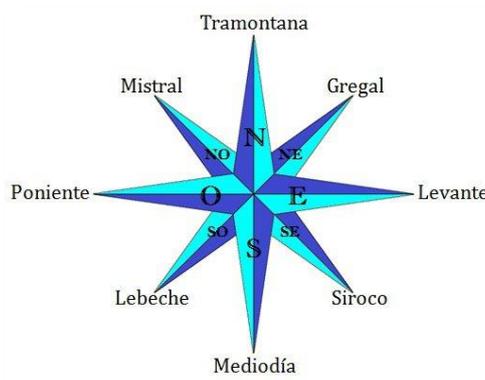


Figura 16. Rosa de los vientos y correspondencia con los ángulos.

Fuente: Promonáutica¹⁶⁹.

Examinando los precedentes sobre el tema, en el cercano municipio de Tarifa se ha observado una clara supremacía de vientos de Levante y Poniente, hasta el punto que la rosa de los vientos queda prácticamente reducida a estos dos rumbos, si bien de noviembre a mayo tienen también un cierto peso los vientos del suroeste (SW) y noroeste (NW) ¹⁷⁰.

Se ha publicado que en esta zona la componente de Levante estaba constituida por vientos principalmente de origen este-sureste (ESE) y, en menor medida, este (E) y sureste (SE). La componente denominada Poniente, se caracteriza por vientos de origen norte-noroeste (WNW), noroeste (NW) y norte-noroeste (NNW). Ambos componentes se observaron durante todos los meses entre enero de 2006 y diciembre de 2007, sin que existiese un régimen de viento característico de meses o estaciones del año¹³¹.

Con el objetivo de comprobar si durante el periodo 2005-2013 se repiten los patrones observados anteriormente, vamos a elaborar una rosa de los vientos de la zona con las frecuencias acumuladas en todo el periodo. Para ello utilizaremos:

- Los datos de las mediciones de viento de la estación meteorológica situada en la refinería CEPSA (San Roque), a 60 metros de altura, perteneciente a la Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire de Andalucía (RVCCAA). Los datos son semihorarios en el periodo enero de 2005- noviembre de 2008 y diezminutales desde diciembre de 2008 a diciembre de 2013.
- El programa R y el paquete *openair* ¹⁷¹.

Preparación de los datos

Los datos recopilados de la estación meteorológica incluyen todas las mediciones efectuadas en un año natural, desde 2005 a 2013, con las mediciones efectuadas: cada 30 minutos (periodo enero de 2005- noviembre de 2008) o cada diez minutos (periodo diciembre de 2008- diciembre de 2013) todos los días del año, la fecha y hora de medición, la dirección del viento y su velocidad.

Criterios de selección de los grupos de la variable

Los criterios para la creación de los grupos o categoría de la variable *wind* mediante los ángulos de la dirección de los vientos y un porcentaje mínimo de mediciones son:

- “Poniente”: día cuyas mediciones de la dirección del viento (ángulo con la vertical en grados) es igual a $270 \pm 22,5$ (ángulo = 247,5 -292,5) en más del 50% de las mediciones diezminutales o semihorarias.
- “Levante”: día cuyas mediciones de la dirección del viento (ángulo con la vertical en grados) es igual a $90 \pm 22,5$ (ángulo = 67,5 -112,5) en más del 50% de las mediciones diezminutales o semihorarias.
- “Gregal”: día cuyas mediciones de la dirección del viento (ángulo con la vertical en grados) es igual a $90 \pm 22,5$ (ángulo = 22,5-67,5) en más del 50% de las mediciones diezminutales o semihorarias.
- “Otros”: día que no cumple con ninguno de los criterios anteriores.

Asimismo, para que se clasifique un día como “Poniente”, “Levante” o “Gregal” se debe cumplir la condición de que la velocidad del viento en cada medición fuese de **1,8 Km/h**, al menos ¹⁷². En caso contrario, consideraremos que el viento está en calma y esa medición se clasificará como “otros”. Con estas premisas clasificaremos todos los días del periodo 2005-2013 en una de las cuatro categorías mencionadas anteriormente.

Por último, como análisis de sensibilidad, se repetirá el estudio pero tomando como dirección predominante aquella cuyas mediciones en esa dirección, a lo largo de un día, sean más del 70%, utilizando así el criterio utilizado en la tesis doctoral de González-Castanedo mencionada anteriormente.

Clasificación de los días según el viento dominante

A continuación expondremos la estrategia utilizada en la aplicación de hojas de cálculo para categorizar en cada medición la variable de partida (ángulo de dirección del viento).

- 1) Condición de la velocidad mínima: Función condicional con la condición SI para verificar si $|\mathbf{v}| > 1,7$ m/s.

- 2) Condición de ángulo: A partir de los datos del ángulo utilizaremos la función condicional SI para verificar si la medición cumple con las condiciones de ángulo expuestas anteriormente para cada categoría.
- 3) Conteo de las mediciones que cumplen el requisito 1 y alguna de las condiciones de categoría.
- 4) Condición de frecuencia mayor del 50% en el conteo anterior (70% en el caso del análisis de sensibilidad).
- 5) Ajuste de fechas. Dado que la fecha de la última medición diaria es las cero horas del día siguiente al de las mediciones, se procedió a ajustar la fecha restando un día al resultado anterior (“fecha”-1 día = “fecha ajustada”).
- 6) Asignación de cada día a una de las categorías o factores de la variable “wind”, denominadas Otros (0), Poniente (1), Levante (2) y Gregal (3).

3.3.2. La mortalidad diaria en la Bahía de Algeciras

Para obtener el número de defunciones diarias por todas las causas excluidas las causas externas (ICD10: A00-R99) en cada municipio de la Bahía de Algeciras utilizaremos el archivo con todas las defunciones en Andalucía en el periodo 2005-2013 y, con el programa R y el paquete *dplyr*¹⁷³.

3.3.3. Análisis estadístico

El método de análisis estadístico a utilizar será la prueba de significación estadística, que es una técnica de inferencia estadística para juzgar si una propiedad que, se supone, cumple una población es compatible con lo observado en una muestra de la misma¹⁷⁴. La hipótesis a verificar será que la mortalidad diaria en la población de los municipios de la zona industrial de la Bahía de Algeciras varía en función de la dirección del viento durante el periodo de estudio (2005-2013).

La decisión de aceptar o rechazar esta hipótesis se toma mediante la realización de un contraste de hipótesis, siendo las hipótesis a contrastar las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0) las medias de defunciones diarias son iguales en las cuatro categorías de la variable *wind*.
- Hipótesis alternativa (H_1): al menos una de las cuatro categorías de la variable *wind* tiene una media de defunciones diarias distinta a las otras categorías.

Para comparar medias de tres o más grupos se suele aplicar un análisis de la varianza (ANOVA) de una vía. No obstante, la elección del ANOVA está supeditada al cumplimiento de una serie de requisitos o condiciones ¹⁷⁵:

- 1) Tipos de variables.
 - La *variable dependiente* debe ser cuantitativa (numérica). Es la variable cuyas medias se quieren comparar. En este caso, es el número de defunciones diarias producidas en la población residente en la zona industrial de la Bahía de Algeciras (global y por municipios), excluidas causas externas.
 - La *variable independiente* es el factor o variable de agrupación y debe ser cualitativa (categórica). Es el factor que clasifica las observaciones en diferentes grupos. En este caso, la variable *wind*, con los grupos de direcciones diarias predominantes de los vientos.
- 2) Normalidad. La distribución de los residuales (diferencia entre cada valor individual y la media de su grupo) debería aproximarse bien a una distribución normal. Cuando los residuales no superan la prueba de normalidad (test de Shapiro-Wilk o el de Kolmogorov-Smirnov) puede haber problemas para aplicar un ANOVA. El ANOVA es un procedimiento robusto, es decir, los resultados no suelen distorsionarse aunque se hagan transgresiones en sus condiciones de aplicación. Los problemas de falta de normalidad de los residuales solo son importantes cuando el tamaño de muestra es reducido (menor de treinta por grupo), y se agravan todavía más si los grupos son de desigual tamaño y tienen varianzas diferentes. En tales situaciones se debería aplicar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.
- 3) Homogeneidad de varianzas (homoscedasticidad). Para comprobar la homocedasticidad existen test como los de Bartlett o Levene. Lo ideal es que la prueba seleccionada no sea significativa cuando los grupos son de pequeño tamaño, si todos los grupos tienen un tamaño superior a treinta, como es nuestro caso, el cumplimiento de este requisito no sería necesario.

3.4. Análisis en profundidad (III): PM10 y días NAF

Con la tercera parte del análisis en profundidad trataremos de dar respuesta a dos preguntas concretas:

- ¿Cuál es el efecto a corto plazo de la exposición a PM10 en la salud de la población afectada por el PMCA?
- ¿Las intrusiones de polvo sahariano modifican el efecto sobre la salud a corto plazo de las PM10 en la población afectada por el PMCA?

Para determinar el efecto a corto plazo de las PM10 utilizaremos como indicador sanitario la mortalidad diaria por causas externas, por enfermedades cardiovasculares y por enfermedades respiratorias. Estas tres serán nuestras variables dependientes.

3.4.1. Tipos de estudios

Como se indicó en el capítulo 1, los estudios sobre efectos a corto plazo de la exposición a contaminantes ambientales suelen realizarse de dos maneras diferentes:

- 1) Serie temporal y análisis mediante regresión de Poisson. Es un estudio de base poblacional en el que los eventos son un recuento en un tiempo determinado (por ejemplo, muertes, accidentes o ingresos hospitalarios diarios).
- 2) Diseño de casos cruzados (*case-crossover design*). Es un estudio de base individual en el que el evento es una variable dicotómica (normalmente, uno si hay evento, cero si no lo hay).

El diseño de casos cruzados (en adelante CCO, por *case-crossover*) es un diseño epidemiológico observacional que se utiliza para evaluar si alguna exposición (en muchas ocasiones, de tipo intermitente o inusual) ha desencadenado un evento agudo a muy corto plazo.

En el diseño CCO se estudian sólo sujetos en los que se ha producido el evento, de modo que, para investigar la asociación, se compara la exposición a un factor de riesgo de una persona durante el periodo de tiempo previo al evento, denominados *índice o periodo caso*, con la exposición de la misma persona a ese factor en uno o varios periodos, denominados *referentes o periodo control*. En las aplicaciones de este diseño a los efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica se suelen utilizar más índices y referentes, por lo que utilizaremos principalmente estos dos términos.

Al comparar exposiciones en un mismo individuo, también se ha denominado a este diseño estudio de *casos y autocontroles*. De hecho, el diseño de casos cruzados es, en cierto modo, similar a un estudio de casos y controles, pero en este caso cada

persona que tiene un evento de salud es emparejada consigo misma en un periodo de tiempo cercano en el cual no sucedió el evento.

Los estudios de casos cruzados permiten eliminar asimismo los sesgos de selección e información, así como controlar por diseño todas las variables de confusión que sean constantes en cortos periodos de tiempo (edad, sexo, clase social, zona residencial, genética, ocupación laboral, tabaquismo o alcoholismo).

Este diseño es adecuado solo si se cumplen las siguientes condiciones:

- Las exposiciones son transitorias, cambiantes en el tiempo y, preferiblemente, de corta duración.
- Los eventos se producen en un corto periodo de tiempo tras la exposición y son de tipo agudo.
- Hay cruzamiento, es decir, algunos de los sujetos del estudio deben pasar de baja a alta exposición, o viceversa, al menos una vez.

El diseño fue propuesto en 1991 por Maclure¹⁷⁶ para estimar efectos sobre la salud a corto plazo de eventos agudos de aparición repentina o súbita. Se considera que este tipo de estudios es muy adecuado para estudiar los efectos de variaciones en la exposición a corto plazo a contaminación del aire sobre eventos de salud¹⁷⁷⁻¹⁸¹.

La elección de los referentes o periodos control es clave en el diseño CCO. En principio, los referentes pueden ser antes o después del evento (CCO unidireccional). Pero cuando la exposición tiene una tendencia temporal (por ejemplo las de contaminación atmosférica) el planteamiento unidireccional proporciona estimaciones sesgadas, ya que la existencia de tendencia implica que las exposiciones anteriores al evento son sistemáticamente mayores o menores que el momento del efecto.

Por ello, en el estudio de efectos de la contaminación atmosférica se utilizan diseños de casos cruzados *bidireccionales*, en los que seleccionan como referentes periodos de tiempo anteriores y posteriores al evento.

A la hora de seleccionar el tipo de referentes a utilizar, existen varias opciones o enfoques:

- El denominado enfoque *full-stratum*, que consiste en escoger como referentes todos los días *no-caso* del mismo mes que el día en el que se produce el evento.

- El enfoque *simétrico*, que escoge dos referentes (siete días antes del evento y siete días después).
- El enfoque *semisimétrico*, que es una variante del simétrico en el que el referente se escoge, por azar, entre los dos días referentes del enfoque simétrico.
- El enfoque estratificado por tiempo (*time-stratified*), en el que los referentes o periodos control pertenecen al mismo mes y día de la semana que el índice o periodo caso.

Entre las diferentes estrategias de selección de los referentes, vamos a escoger el enfoque *time-stratified*, concretamente la estratificación por año, mes y día de la semana, pues permite controlar el efecto de la tendencia temporal a largo plazo y de la estacionalidad en la variable exposición ¹⁸⁰.

En lo que respecta al modelo estadístico para los estudios CCO, el más adecuado para exposiciones no binarias (tales como las exposiciones a contaminantes del aire ambiente) es el modelo de riesgos proporcionales, usando un riesgo base constante para cada individuo (lo que es razonable para periodos cortos).

Este modelo, denominado *modelo de exposición transitorio*, asume que hay un solo evento por cada caso (lo que es válido para eventos raros) y especifica el riesgo como una función de dos factores: la concentración del contaminante y a tiempo de exposición. Si se incluyen retardos en la exposición, este modelo permite que el riesgo dependa del historial de la exposición.

Así, la razón de riesgos de una persona i en un tiempo t , dadas las covariables con tendencia temporal x_{it} , viene dado por la expresión:

$$\lambda_i(t; x_{it}) = \lambda_i e^{\beta x_{it}}$$

El parámetro e^{β} representa el cambio en el riesgo de un evento asociado con el incremento de una unidad en la exposición a corto plazo. Para estimar β en este modelo se suele utilizar una regresión logística condicional (CLR, en adelante). Posteriormente se explicará el modelo de CLR pero podemos adelantar que el uso de este modelo de regresión facilita, además, el control de las variables de confusión adicionales, es decir, aquellas no utilizadas en el emparejamiento. Estas variables se incorporarán, por tanto, al modelo de regresión logística condicional.

Asimismo, el modelo de CRL con este enfoque *time-stratified* proporciona estimaciones insesgadas al evitarse el sesgo de solapamiento (*overlap bias*) que se

puede producir en las otras estrategias de selección de referentes. Puede encontrarse más información al respecto en el trabajo de Janes y colaboradores sobre las estrategias de selección de referentes ¹⁸¹.

3.4.2. Variables

Las variables que usaremos tanto en el estudio de series temporales como en el análisis de sensibilidad con el diseño CCO son las siguientes:

- Variable dependiente: será un indicador del efecto a corto plazo de las PM10, la mortalidad diaria. En función del estudio concreto, la variable mortalidad será distinta. En el estudio de series temporales, utilizaremos el número de muertes diarias, que es una variable cuantitativa discreta, mientras que en el estudio CCO utilizaremos la mortalidad como variable dicotómica (muerte sí / muerte no).
- Variable independiente: PM10.
- Variable potencialmente modificadora del efecto: lo consideraremos de dos modos, mediante una variable dummy dicotómica (día NAF: sí/no) y mediante la contribución de polvo sahariano en las PM10 (lo explicaremos posteriormente).
- Variables de confusión: se introducirán una serie de variables que podrían actuar como variables de confusión con objeto de controlar los efectos de estas variables sobre la variable dependiente y la variable independiente.

Veremos a continuación estas variables un poco más en profundidad.

Datos de mortalidad diaria

Vamos a considerar para el análisis en profundidad tres tipos de mortalidad:

- Total, excluyendo las causas externas (CIE-10: A00-R99).
- Específica, por enfermedades cardiovasculares (CIE-10: I00-I99).
- Específica, por enfermedades respiratorias (CIE-10: J00-J99).

Los datos de defunciones diarias en Andalucía en los años 2005 a 2013, con el número de registro, causa de defunción (CIE-10) y edad en el momento del evento

(entre otras muchas variables individuales) fueron proporcionados por el Servicio de Información y Evaluación de la Consejería de Salud (Junta de Andalucía).

Los datos por tanto corresponden a eventos ocurridos en los cuatro municipios del ámbito de aplicación del PMCA, tanto de la población residente como, en su caso, turistas. Se ha escogido esta opción frente al Registro de Mortalidad porque éste, generalmente, recoge las defunciones por población de residencia, no de ocurrencia del evento. Teniendo en cuenta que queremos evaluar efectos a corto plazo, se entiende que es más adecuado contar con los datos de eventos ocurridos.

Resto de variables

La variable independiente es la concentración de partículas en aire ambiente, concretamente la fracción denominada PM10- Partículas menores de 10 micras. Para caracterizar la exposición diaria a PM10 utilizaremos la variable Bahía de Algeciras, que se obtendrá posteriormente para realizar el análisis en profundidad.

En cuanto a las variables de confusión, se han seleccionado diversas variables utilizadas en estudios sobre contaminación atmosférica y salud. Las variables de confusión de tipo cuantitativo que se han considerado son:

- Temperatura: temperaturas máximas y mínimas diarias.
- O₃ troposférico: escogeremos el valor octohorario máximo diario.
- Humedad relativa.
- Gripe: tasas semanales de incidencia de gripe de la provincia de Cádiz, que se ha utilizado como indicador de la incidencia de gripe en la Bahía de Algeciras.

Mientras que las variables de confusión de tipo cualitativo se controlarán mediante variables tipo dummy o indicadoras, concretamente:

- Días festivos.
- Día de la semana.

La hipótesis de este estudio implica el tratamiento de la presencia de polvo sahariano en días con intrusión saharianas (días NAF) como factor modificador del efecto, con un mayor incremento de mortalidad por un determinado aumento de la exposición a partículas. Para investigar esta posible interacción, crearemos una variable indicadora (intrusión sahariana sí/no).

3.4.3. Fuentes de información

Las fuentes de información utilizadas en la obtención de las diferentes variables que se han ido relacionando en los puntos anteriores han sido las siguientes:

- Número de muertes diarias en Andalucía, por municipio: Servicio de Información y Evaluación, Consejería de Salud y Familias, Junta de Andalucía.
- Tasas semanales de incidencia de gripe de la provincia de Cádiz: Servicio de Epidemiología y Salud Laboral, Consejería de Salud y Familias, Junta de Andalucía.
- Datos diarios de PM10: CMAOT, Junta de Andalucía.
- Temperatura máxima diaria, temperatura mínima diaria y humedad relativa máxima diaria: Agencia Española de Meteorología (AEMET.)
- O₃ troposférico: información proporcionada por el CIQSO.
- Días festivos: Boletines Oficiales de la Junta de Andalucía (BOJA) en los que se publicaron las normas que establecían los días festivos cada año en Andalucía.

3.4.4. Análisis estadístico

Los pasos que seguiremos para realizar la tercera parte del análisis en profundidad serán los siguientes:

- 1) Análisis descriptivo.
- 2) Control de la estacionalidad y las tendencias a largo plazo.
- 3) Modelización de los efectos inmediatos y de los efectos retardados.
- 4) Validación del modelo de regresión de Poisson.
- 5) Desarrollo del modelo de regresión logística condicional.

En realidad, los pasos 2 a 4 corresponden al desarrollo de un modelo de regresión de Poisson de series temporales y el último paso al modelo de CLR en el diseño de casos cruzados.

Tal y como observamos anteriormente en las series temporales, los datos brutos de la mortalidad diaria están dominados por patrones estacionales y por tendencias a largo plazo. El objetivo de controlar la estacionalidad y las tendencias a largo plazo será eliminar estas tendencias, de modo que solo queden en la variable

dependiente las variaciones a corto plazo, que son las que nos interesan para evaluar el efecto de las partículas menores de 10 micras.

Existen diversos métodos para controlar la estacionalidad, bien por diseño (como el caso del diseño de casos cruzados) bien por modelización, utilizando 1) un modelo estratificado por tiempo, 2) un modelo con términos de Fourier o 3) Modelo con funciones spline flexibles. En este apartado utilizaremos la tercera opción, las funciones spline flexibles.

Este método consiste fundamentalmente en ajustar una función *spline* de tiempo, es decir, una función que se define por partes. Cada una de esas partes es en realidad una función polinomial (normalmente polinomios de grado tres). Las funciones que forman el spline se unen entre sí en puntos denominados “nudos” (knots) de modo que la función spline cubra todo el periodo de tiempo.

Un aspecto fundamental en este método es el número de grados de libertad seleccionado para la función spline, que depende del número de nudos o puntos de unión que se elijan.

Existe actualmente un consenso más o menos generalizado en que 7 grados de libertad (df) por año implica un equilibrio entre controlar de manera apropiado de la estacionalidad y tendencias a largo plazo, por un lado, y mantener en la serie temporal información suficiente que permita estimar los efectos de las exposiciones a corto plazo, por otro. Por ejemplo, Bhaskaran et al. ¹⁸² y Liu et al. ¹⁸³ proponen utilizar este número de grados de libertad por año, aunque existen otros autores que han utilizado 8 df/año ^{184–186}. En nuestro caso, utilizaremos un total de 21 df (7 df/año x 3 años).

En cuanto a la modelización, emplearemos *modelos no lineales con retardos distribuidos* (DLNM, por *Distributed Lags Non-Linear Models*), una familia de modelos que pueden describir, de una manera flexible, efectos que varían simultáneamente a lo largo tanto del *espacio* de la variable predictora como del *tiempo*, es decir, en la estructura temporal de los efectos. En esta estructura temporal se incluyen los retardos adecuados entre la exposición al factor de riesgo y la ocurrencia del evento.

Estos modelos DLNM, junto con su extensión a los modelos aditivos generalizados (GAMs, por *Generalized Additive Models*), permiten también describir relaciones no lineales, por ejemplo mediante la utilización de funciones spline naturales, como seguiremos haciendo para controlar la temperatura y la humedad.

Para construir los *modelos no lineales con retardos distribuidos* (DLMN) utilizaremos el paquete *dlnm*, versión 2.3.9. Para la extensión a los modelos aditivos generalizados (GAMs) utilizaremos el paquete *mgcv* (*Mixed GAM Computation Vehicle with Automatic Smoothness*), versión 1.8-27.

Dentro del paquete *dlnm* utilizaremos la función *crossbasis*, que nos producirá la transformación en *estructuras de retardos* específicas y nos ofrecerá la posibilidad también de incluir asociaciones no lineales. Concretamente, esta función generará las *matrices base* para las dos relaciones entre las variables dependiente e independiente, exposición-respuesta y retardo-respuesta, y combinará ambas para crear un espacio bidimensional de funciones (*funciones base*) que determinará de manera simultánea la dependencia en ambas dimensiones, la espacial y la de sus efectos retardados distribuidos.

Así, podremos ver simultáneamente los lags de 0 a 7 días siguiendo los siguientes pasos:

- 1) Construcción de *funciones base* usando los argumentos *strata* y *breaks* (o *knots*) para la estructura de los lags (abiertos por la derecha).
- 2) Construcción del modelo aditivo generalizado.
- 3) Obtención de las predicciones con la función *crosspred*, que extraerá los parámetros estimados en el modelo y generará las predicciones con sus intervalos de confianza.
- 4) Construcción de la tabla con resultados del modelo (efectos estimados para cada rango de retardos), concretamente con los RR y los IC superior e inferior.

La explicación teórica de los DLNM (junto con ejemplos prácticos en muchas ocasiones) y su extensión a modelos GAMs podemos encontrarla en diversos artículos publicados en los últimos años ^{182,187,188}.

A la hora de definir el modelo que se ajusta mejor a los datos, con unos retardos concretos para las PM10, el ozono y la temperatura, utilizaremos el criterio de menor GCV (*Generalized cross validation score*, o validación cruzada generalizada).

El procedimiento que seguiremos para comparar los retardos de cada variable será:

- 1) Para cada variable, crearemos varios modelos en el que se introducirán todas las variables con todos los lags (modelos sin restricciones) excepto la variable a estudiar, que se introducirá con un lag determinado.

- 2) Compararemos los modelos creados para cada variable, eligiéndose finalmente aquel con menor valor de la validación cruzada generalizada.

Finalmente, para seleccionar el modelo, vamos a utilizar la técnica de selección paso a paso hacia atrás (backward stepwise selection). Así, comenzaremos con el modelo completo modelo completo M_{p8} , con todos los predictores, es decir, introduciendo en el modelo base (con los términos spl para control de la estacionalidad y a largo plazo), la variable independiente (partículas) y el resto de covariables (es decir, en total ocho predictores).

Posteriormente, iremos eliminando $p - k$ términos (uno a uno) del modelo M_{p8} , descartando la variable cuyo modelo, sin ella, sea de menor CGV, hasta quedarnos con un modelo M_k , con k variables. Las variables del día de la semana, partículas PM10 y NAF las mantendremos en todo caso, por lo que k deberá estar al final entre 3 y 8.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación del Plan de Mejora de Calidad del Aire de la Zona Industrial Bahía de Algeciras conlleva la identificación, evaluación y cuantificación en la medida de lo posible de los diferentes impactos que tienen las medidas presentes en el plan sobre la salud de la población en su conjunto y sobre la distribución de tales impactos en la salud de diversos colectivos.

En este caso se produce un hecho muy significativo, y es el que el plan tiene como objetivo prioritario la protección de la salud a través de medidas de reducción de la contaminación. Así, aunque se trata de un plan de ámbito ambiental, la práctica totalidad de sus objetivos se concentran en la protección de la salud.

A continuación, se van a desarrollar las etapas de la EIS, siguiendo la metodología explicada en el capítulo 3.

4.1. Descripción del proyecto

El Plan de Mejora de la Calidad del Aire de la Zona Industrial Bahía de Algeciras, elaborado por la Consejería competente en materia de medio ambiente, parte de un profundo análisis de la zona afectada, no sólo en lo que se refiere a la calidad del aire y el origen de la contaminación, sino también en aspectos tales como la climatología, orografía y la situación socioeconómica, para determinar el estado actual y así poder sentar las bases del *Plan de Actuación* (capítulo 9 del PMCA), en el que se incluyen todas las medidas que evaluaremos.

En esta primera fase identificaremos la información del PMCA que pudiera ser relevante a la hora de determinar, en fases posteriores de la evaluación, qué modificaciones (positivas o negativas) puede ocasionar la implantación de las medidas en la salud de la población, con especial atención a las modificaciones en la salud de la población considerada vulnerable.

Para ello, realizaremos primero un resumen de la situación de partida (que, de hecho, corresponde a la justificación de la formulación del PMCA), después describiremos su estructura general, posteriormente señalaremos su finalidad y objetivos, y, finalmente, resumiremos las medidas que se incluyen en el PMCA.

4.1.1. Situación inicial

Cuando en determinadas zonas o aglomeraciones los niveles de contaminantes en el aire ambiente superen cualquier valor límite o valor objetivo, las comunidades autónomas deben aprobar planes de calidad del aire para esas zonas y aglomeraciones, con el fin de conseguir respetar el valor límite o el valor objetivo correspondiente del anexo I del RD 102/2011, de 28 de enero.

Ya centrándonos en la Zona Industrial Bahía de Algeciras, durante el periodo de estudio se registraron varias superaciones de los valores que establece la norma para las partículas, concretamente:

- El valor límite anual para PM10, en 2005, 2006 y 2007.
- El número máximo de superaciones del valor límite diario de PM10, en 2005 y 2006.

Además de las partículas, en los años 2005 y 2006 también se superaron los valores límite horario o diario de SO₂, situación que motivó la elaboración de un Plan de Acción Medioambiental específico ¹⁸⁹. El Protocolo de Actuación, como parte del citado Plan de Acción, recogía una serie de medidas a adoptar en instalaciones con importantes emisiones de SO₂. Las medidas tuvieron como consecuencia una mejora importante en los niveles de SO₂ en los años sucesivos, con la única excepción de 2011, en el que se superó en una estación (Guadarranque) el número máximo de superaciones del valor límite diario.

En este sentido, el PMCA considera que la Z.I. Bahía de Algeciras es una zona sensible con respecto al SO₂ por las emisiones y las características meteorológicas existentes, de manera que de forma episódica puede producirse la superación de los valores límite horario y diario en determinadas estaciones, como es el caso de la estación de Guadarranque, situada en el término municipal de San Roque.

No obstante, según el PMCA, tanto los focos emisores responsables como las condiciones meteorológicas de riesgo están claramente identificados, y se indica además que, por su posición relativa con el resto de las estaciones, la representatividad de esta estación es muy limitada.

4.1.2. Finalidad y objetivos

La finalidad del PMCA viene recogida en las normas donde se indica la obligatoriedad de realizar planes de calidad del aire (Decreto 239/2011 y RD 102/2011) que es, básicamente, alcanzar el valor límite o el valor objetivo cuando los niveles de contaminantes en el aire ambiente superen dichos valores. Para cumplir dicho fin, el PMCA define unos *objetivos de reducción* de los niveles de contaminantes y establece unas *medidas* para conseguir esos objetivos.

De acuerdo con el PMCA, la reducción de emisiones implicará una mejora en los niveles de calidad del aire, de forma que éstos quedarán por debajo de los valores límites establecidos. Es decir, que reducir las emisiones de contaminantes implicará reducir también sus niveles de inmisión. La determinación de este porcentaje de reducción es una labor compleja, pues los niveles de calidad del aire (inmisión) obtenidos en una determinada zona no sólo dependen de las emisiones en esa zona, sino también de su orografía y, sobre todo, de la meteorología reinante, con frecuentes variaciones entre los diferentes años estudiados.

Para el caso concreto del SO₂, como se indicó anteriormente, el problema no se centra en unos niveles medios elevados, sino en la ocurrencia de situaciones episódicas en las que se sobrepasan los valores límite diarios establecidos y en las que las condiciones meteorológicas tienen una gran relevancia. Por tanto, los objetivos de reducción de emisiones deben centrarse en la gestión correcta de las situaciones que dan lugar a esas superaciones bajo condiciones climatológicas adversas.

En el caso de las partículas en suspensión PM₁₀, en el PMCA se realiza un cálculo estimativo de la correspondencia entre ambos factores, asumiendo, en primera instancia, una relación lineal, sin perjuicio del análisis realizado en el apartado del PMCA donde se realiza un análisis estadístico de contribución de fuentes mediante modelo de receptor y que pone de manifiesto la relación entre emisión e inmisión en función del sector de actividad analizado.

Así, se estimó del porcentaje de exceso de los niveles de calidad del aire con respecto a los valores que se desea alcanzar (descontando el valor de fondo existente), considerándose que ese porcentaje es el mismo en el que deben reducirse los niveles de emisión.

El nivel de la calidad del aire puede, por tanto, desglosarse en dos factores en función del origen de sus fuentes:

- Causas naturales: equivale a lo que se denomina niveles de fondo, que se obtiene de las estaciones de fondo rural o de las pertenecientes a la red EMEP (*European Monitoring and Evaluation Programme*).
- Contribuciones antropogénicas. Es esta parte la que puede reducirse de forma directa mediante una disminución de las emisiones.

Así, si r es el porcentaje de reducción de emisiones, su valor será:

$$r = \frac{A - B}{A} \times 100$$

donde A es la fracción de la concentración actual de contaminantes por encima de los niveles de fondo y B esta fracción en una situación futura, en la que la concentración total de partículas quede por debajo de los valores legales.

El cálculo en el PMCA se realiza a partir de los valores medios anuales de partículas, pues se estima que otros parámetros con menor tiempo de integración temporal (horarios o diarios) reflejarían la misma reducción. El equipo redactor del PMCA justifica el cálculo de los niveles de reducción de emisiones mediante este sistema basándose en tres consideraciones:

- 1) Las estaciones de la Red de Vigilancia suelen sobrepasar con mayor frecuencia el valor límite diario que el valor límite anual.
- 2) La complejidad de establecer objetivos de reducción sobre el valor límite diario, ya que el valor límite de éste se basa en un número máximo (35) de días al año en los que se ha superado un determinado valor ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- 3) La relación lineal existente entre el número de superaciones diarias y el valor medio anual para cada estación y año, como se aprecia en la Figura 17.

En todo caso, esta suposición parece adecuada ya que, como se indicó anteriormente, las concentraciones de las sustancias que forman parte de la mezcla contaminante en el aire están, en mayor o menor medida, correlacionadas.

A partir de los análisis de regresión realizados con las estaciones de la RVCCA, el PMCA establece un valor medio anual considerado *de seguridad* para evitar las superaciones del valor medio diario. Este valor medio anual de partículas PM10 es de $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y es el valor que se considera en el PMCA como objetivo de reducción de los niveles de inmisión.

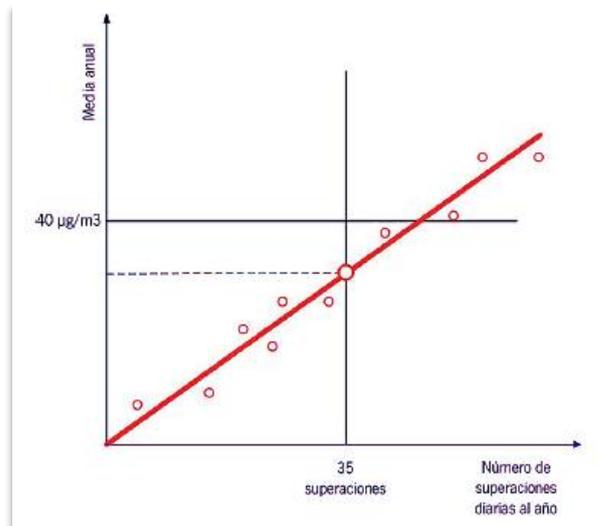


Figura 17. Relación entre el número de superaciones diarias al año y la media anual de PM10.
Fuente: Adaptado del PMCA.

Por otro lado, los valores del contaminante PM10 en los años anteriores a la aprobación del PMCA eran inferiores a los objetivos de calidad establecidos, por lo que se señala que las medidas planteadas en el Plan tenían como objetivo el mantenimiento de estas condiciones y la no superación de los valores límites en otras condiciones meteorológicas más desfavorables que las que regían en ese momento.

Por último, se estudió también la relevancia de la reducción de las partículas en los niveles de O₃, resultando según el PMCA que dichos niveles únicamente aumentarían en estaciones de tráfico, en las que los niveles de partida de O₃ son bajos y alejados de los valores legales.

4.1.3. Estructura

El Anexo XV del RD 102/2011, de 28 de enero, y el Anexo IX del Decreto 239/2011, de 12 de julio, establecen la información mínima que debe incluirse en los planes de mejora de la calidad del aire ambiente. Esta *información mínima* es bastante similar en ambas normas, incluyéndose la información sobre las medidas o proyectos adoptados para reducir la contaminación (lista y descripción de todas las medidas previstas en el proyecto), calendario de aplicación, estimación de la mejora de la calidad del aire que se espera conseguir, evidencias epidemiológicas y perspectiva de protección de salud pública, y estimación del plazo previsto para alcanzar esos objetivos.

En este sentido, se ha comprobado que el contenido del PMCA incluye toda la información mínima que establece la norma estatal. En cuanto a la norma autonómica, no se ha podido determinar que, de modo expreso, el PMCA establezca su periodo de validez ni los medios de difusión pública del plan.

Aún más relevante es el hecho de que, a pesar de que figure en la información obligatoria que debe contener un plan de mejora y esté mencionado en el índice, el documento del PMCA publicado en el Boletín Oficial de la Junta de Andalucía y en el sitio Web de la CMAOT no contiene la estimación presupuestaria. Y el Decreto 231/2014 solo hace la siguiente mención genérica: “Sexto. Medios. La ejecución de los Planes que se aprueban mediante el presente Decreto se realizará conforme a las disponibilidades presupuestarias, sin que ello suponga incremento de gasto.”

Lamentablemente, este hecho impide llevar a cabo un análisis coste-beneficio del PMCA, que habría permitido comparar el coste de ejecutar las medidas del PMCA (su estimación presupuestaria) con los beneficios en salud de la reducción de la contaminación (que estimaremos en el apartado de análisis en profundidad).

A grandes rasgos, siguiendo su índice, el PMCA se estructura en los siguientes apartados:

- 1) *Introducción*, en la que, básicamente, se justifica la necesidad de elaborar el PMCA.
- 2) *Fundamento jurídico*, con el marco legislativo europeo, estatal y autonómico.
- 3) *Normativa aplicable*, donde se establece la normativa sobre gestión de la calidad del aire, sobre los niveles de inmisión de contaminantes atmosféricos y sobre la limitación de emisión de contaminantes a la atmósfera (actividades industriales, vehículos a motor y otras actividades).
- 4) *Zona afectada*, que incluye una estimación de la superficie afectada y la población expuesta, un análisis socioeconómico, datos topográficos relevantes, datos climáticos útiles y los objetivos de protección
- 5) *Evaluación de la calidad del aire*: técnicas de medida, concentraciones observadas, contaminación debida a fenómenos de intrusión sahariana, caracterización del material particulado, una comparación de los niveles registrados de PM10 y SO₂ en Bahía de Algeciras con otras estaciones y unas conclusiones.
- 6) *Origen de la contaminación*, en el que se explica la metodología empleada y se identifican las fuentes de emisión responsables de la contaminación.
- 7) *Análisis de la situación*: factores que influyen en los niveles de concentración de partículas en el aire, la contribución de las fuentes locales a los niveles de inmisión de contaminantes, los factores responsables de la superación, posibles medidas de

mejora de la calidad del aire y los objetivos cuantificados de reducción de niveles de contaminación para cumplir la legislación vigente

- 8) *Análisis de las medidas de mejora*, que incluye apartados que tratan sobre las regulaciones, políticas y planes existentes en el ámbito territorial del Plan, el impacto de las políticas existentes sobre la emisión de contaminantes y las medidas o proyectos de mejora planeados o en fase de investigación a largo plazo.
- 9) *Plan de Actuación*, donde se incluyen las medidas de mejora del Plan (este apartado será tratado de manera específica a continuación).
- 10) *Medio de financiación*. Con una introducción y una cuantificación económica, distribución temporal y entidad financiadora (inversiones de las Administraciones Públicas e inversiones privadas). (No incluido en el PMCA)
- 11) *Plan de Vigilancia*, que incluye tanto la vigilancia de la calidad del aire como de las emisiones. (No incluido en el PMCA, aunque sí en el resumen ejecutivo).
- 12) *Bibliografía*. (No incluido en el PMCA)
- 13) *Glosario de términos*. (No incluido en el PMCA)

4.1.4. El plan de actuación

El conjunto de medidas, adoptadas y propuestas por las Administraciones públicas competentes y que conllevan diferentes actuaciones sectoriales se denomina, dentro del PMCA, el “Plan de Actuación”.

La aplicación de estas medidas de forma simultánea a corto plazo implicará una mejora apreciable para cumplir con los objetivos de calidad del aire establecidos en la legislación, aunque también se han propuesto medidas a medio y largo plazo que se espera que conlleven una mejora adicional. Aunque el PMCA no establece de manera expresa un periodo de validez, incluye medidas cuyo cumplimiento se prevé para 2021.

El Plan de Actuación consta de 45 medidas que se estructuran en dos grupos:

- Grupo 1, con 32 medidas. Está integrado por aquellas actuaciones que ya están definidas en normas o planes existentes o han sido propuestas por algún Organismo específicamente para la elaboración del Plan.
- Grupo 2, al que pertenecen 13 medidas. Este grupo recoge las directrices de las nuevas medidas que han de ponerse en marcha como resultado de la elaboración del Plan, correspondiendo su definición al organismo o administración competente según el ámbito de aplicación de las mismas.

Independientemente del grupo al que pertenezca, las medidas se clasifican también en función del sector o actividad al que vayan dirigidas (como industrial, con 12 medidas, o tráfico, con 17) o a la estrategia seguida (prevención, sensibilización y gestión). La Tabla 9 incluye los sectores o actividades en los que se clasifican las medidas y una breve justificación de cada uno.

Sector / Actividad	Justificación
<i>Sector industrial</i>	El sector industrial es la principal fuente antropogénica local, como se verá posteriormente. El PMCA propone medidas complementarias a aquellas que marca la normativa de emisiones.
<i>Tráfico marítimo</i>	La combustión de gasoil y fueloil en los motores de los buques supone otra de las principales fuentes de emisión de partículas y SO ₂ , por lo que se proponen en el PMCA medidas orientadas a reducir estas emisiones.
<i>Construcción y demolición</i>	La materia mineral es el principal componente del material particulado presente en la atmósfera, lo que justifica la adopción de medidas encaminadas a reducir las emisiones derivadas de actividades de construcción y demolición.
<i>Sector tráfico</i>	El tráfico influye sobre los niveles de inmisión de contaminantes por sus emisiones directas, por emisiones de precursores de partículas secundarias y por la resuspensión por efecto del tráfico del material particulado depositado sobre las vías de circulación. Por ello, la mayor parte de las medidas del Plan de Actuación están encaminadas al sector tráfico (un total de 19 medidas).
<i>Sector residencial, comercial e institucional</i>	Serie de medidas orientadas a reducir el uso de combustibles y la sustitución por combustibles menos contaminantes.
<i>Prevención</i>	Medidas orientadas a prevenir emisiones
<i>Sensibilización</i>	Medidas encaminadas a complementar otras actuaciones con la finalidad de mejorar la eficacia de dichas actuaciones, o medidas orientadas a fomentar conductas que redunden en menores emisiones.
<i>Gestión</i>	Medidas orientadas a mejorar el conocimiento de la contaminación por partículas en el ámbito del Plan.

Tabla 9. Clasificación de las medidas del PMCA.

Fuente: Adaptado del PMCA.

En cuanto a la implantación de las medidas, la mayoría de las mismas son responsabilidad de los Ayuntamientos (17 medidas, en 11 de ellas son los únicos responsables y en 6 de ellas la responsabilidad de la implantación está compartida) y de la Consejería

competente en materia de Medio Ambiente (15 medidas, 11 de ellas en solitario) mientras que siete de las medidas son responsabilidad de órganos estatales.

También son responsables de la implantación de algunas medidas otras Consejerías (con competencias en energía o fomento), la autoridad portuaria y los titulares de las instalaciones sujetas a autorización ambiental integrada. En cuanto al ámbito, diecinueve medidas abarcan a todo el ámbito de aplicación del Plan. En la Tabla 10 se resume con el grupo, código, medidas y responsables de su implantación.

La mayor parte de las medidas pueden ofrecer resultados a corto plazo siempre y cuando sean implementadas por las administraciones competentes salvo, quizá, las destinadas a la sensibilización ambiental y a las medidas de mejora de la eficiencia energética, cuyo impacto es más suave y progresivo.

Por otra parte, algunas de las obras de infraestructuras no tienen prevista su realización hasta el año 2017 o 2021, con lo que hay que tener en cuenta el retraso a la hora de evaluar su impacto en el cumplimiento del objetivo del PMCA. En todo caso, muchas de las medidas ya están en proceso de implantación o habían sido planificadas con anterioridad a la puesta en marcha de este plan.

Un elemento clave relativo a las medidas es que, como ya se ha mencionado en diversas ocasiones anteriormente, se va a asumir que la implementación de las medidas conllevará el cumplimiento de los niveles objetivo, por lo que la valoración del impacto en salud del PMCA descansa sobre esta asunción. Hay que decir no obstante que esta asunción es razonable, pues los precedentes en esta zona han demostrado que los esfuerzos de mitigación de emisiones industriales y de las procedentes de la combustión de combustibles fósiles y transporte urbano durante la pasada década contribuyeron de forma apreciable a mejorar la calidad del aire de la Bahía de Algeciras ¹³⁰.

4.1.5. Medidas del plan

Grupo	Código	Ámbito	Medida	Responsables de su implantación		
1	IA/IN/1	LB	Aplicación de medidas correctoras derivadas de la Autorización Ambiental Integrada (AAI) de una central térmica	CMAOT		
1	IA/IN/2	SR	Aplicación de medidas correctoras derivadas de la Autorización Ambiental Integrada (AAI) de una refinería de petróleo	CMAOT		
1	IA/IN/3	SR	Aplicación de medidas correctoras derivadas de la Autorización Ambiental Integrada (AAI) de cogeneración de una refinería de petróleo	CMAOT		
1	IA/IN/4	SR	Aplicación de medidas correctoras derivadas de la Autorización Ambiental Integrada (AAI) de una planta petroquímica	CMAOT		
1	IA/IN/5	LB	Aplicación de medidas correctoras derivadas de la Autorización Ambiental Integrada (AAI) de una planta de acero	CMAOT		
1	IA/IN/6	SM	Inspección de emisiones difusas en actividades extractivas	CMAOT		
1	IA/IN/7	Todos	Inspección de emisiones canalizadas y fugitivas en instalaciones Industriales	CMAOT		
1	IA/IN/8	SR	Estudio de modelización y optimización del sistema de evacuación de gases a la atmósfera de las principales chimeneas de la Refinería Gibraltar-San Roque al objeto de mejorar la dispersión del SO ₂	Privado		
1	IA/IN/9	Todos	Modificación del Protocolo de Actuación del Campo de Gibraltar	CMAOT	Privado	
1	IA/IN/10	Todos	Modelización de la calidad del aire	CMAOT		
1	IA/MA/1	SM	Contenido máximo de azufre en combustible para uso marítimo	Ministerio (Industria)		
1	IA/TR/2	LB, SR	Plan de Movilidad Urbana Sostenible en Los Barrios y San Roque	Diputación de Cádiz	Ayuntamiento	Consejería (Movilidad)
1	IA/TR/4	Todos	Fomento de la elaboración de planes de movilidad en empresas	Consejería		
1	IA/TR/5	A	Construcción de carriles bici en Algeciras	CMAOT	Ayuntamiento	
1	IA/TR/6	LC	Construcción de carril bici en La Línea de la Concepción	CMAOT		
1	IA/TR/8	A	Proyecto de renovación de la flota de autobuses urbanos en Algeciras	Ayuntamiento		

Grupo	Código	Ámbito	Medida	Responsables de su implantación	
1	IA/TR/9	Todos	Aplicación de la normativa EURO relativa a la homologación de turismos y vehículos ligeros	Ministerio (Industria)	
1	IA/TR/10	A, LB, SR	Aplicación de la normativa EURO relativa a la homologación de vehículos pesados	Ministerio (Fomento)	
1	IA/TR/11	A	Nueva circunvalación Bahía de Algeciras	Ministerio (Fomento)	
1	IA/TR/12	A	Desdoblamiento de la N – 340 (E - 5)	Ministerio (Fomento)	
1	IA/TR/13	SR	Variante de Estación de San Roque (A – 405)	Consejería (Fomento)	
1	IA/TR/14	A, LB, SR	Línea ferroviaria Algeciras - Antequera	Ministerio (Fomento)	
1	IA/DO/1	Todos	Aplicación del Código Técnico de la Edificación en nueva construcción y rehabilitación de edificios	Ayuntamiento	
1	IA/DO/2	Todos	Aplicación del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios	Ayuntamiento	
1	IA/DO/3	Todos	Plan de Viviendas	Consejería (Fomento)	
1	IA/PR/1	Todos	Fomento de inversiones en proyectos o actuaciones cuya finalidad sea conseguir un ahorro de energía o el procedente de fuentes renovables, para la mejora del nivel de protección ambiental aprovechamiento de energía	Consejería (Energía)	
1	IA/PR/2	SR	Elaboración de Ordenanzas Municipales en materia de calidad del aire en San Roque	Ayuntamiento	
1	IA/PR/3	A	Medidas para la mejora de la calidad del aire asociadas al proyecto de construcción de un helipuerto en Algeciras	AENA	
1	IA/PR/4	SM	Grupos técnicos de trabajo sobre movilidad urbana sostenible	CMAOT	
1	IA/SN/1	Todos	Fomento de la conducción eficiente	Consejería (Energía)	
1	IA/SN/2	SR	Campaña de educación y concienciación en San Roque	Ayuntamiento	
1	IA/GE/1	Todos	Sistema de medida de la calidad del aire	CMAOT	
2	PCA/IN/8	SM	Medidas correctoras en actividades extractivas próximas a núcleos de población	CMAOT	Privado

Grupo	Código	Ámbito	Medida	Responsables de su implantación	
2	PCA/IN/9	SM	Medidas para la reducción de emisiones en las industrias que manejan sólidos pulverulentos	CMAOT	Privado
2	PCA/MA/2	SM	Suministro eléctrico a barcos atracados en puertos	APCG	APPA
2	PCA/CO/1	Todos	Aprobación y aplicación de ordenanza municipal de gestión ambiental en obras de construcción y demolición. Planificación de obras	Consejería (Fomento)	Ayuntamiento
2	PCA/CO/2	Todos	Aprobación y aplicación de ordenanza municipal de gestión ambiental en obras de construcción y demolición. Actividades en construcción y demolición	Consejería (Fomento)	Ayuntamiento
2	PCA/CO/3	Todos	Aprobación y aplicación de ordenanza municipal de gestión ambiental en obras de construcción y demolición. Transporte de materiales	Consejería (Fomento)	Ayuntamiento
2	PCA/CO/4	Todos	Vigilancia Ambiental en obras de infraestructuras	Consejería (Fomento)	Ayuntamiento Privado
2	PCA/TR/17	LB, SR	Actuaciones en infraestructuras para el fomento del uso de la bicicleta	Ayuntamiento	
2	PCA/TR/18	Todos	Mejora de la cobertura de líneas de bus urbano	Ayuntamiento	
2	PCA/TR/19	Todos	Fomento de los desplazamientos a pie	Ayuntamiento	
2	PCA/TR/20	Todos	Creación de bolsas de aparcamientos encaminadas a la disminución de tráfico	Ayuntamiento	
2	PCA/TR/21	A, LC	Limpieza de las vías urbanas para limitar la resuspensión de polvo por efecto del tráfico	Ayuntamiento	
2	PCA/TR/22	Todos	Elaboración de un Plan de mejora de caminos rurales	Ayuntamiento	

Tabla 10. Clasificación de las medidas del PMCA.

Fuente: Adaptado del PMCA

Códigos:

IN: Sector industrial
MA: Tráfico marítimo
CO: Construcción y demolición
TR: Sector tráfico
DO: Sector residencial, comercial e institucional
PR: Prevención
SN: Sensibilización
SE: Gestión

Grupos de medidas:

Grupo 1 = IA (Industrial Algeciras): Actuaciones que ya están definidas en normas o planes existentes o bien han sido propuestas por algún Organismo específicamente para la elaboración del Plan.
Grupo 2 = PCA (Plan Calidad Aire), directrices de las nuevas medidas que han de ponerse en marcha como resultado de la elaboración del Plan.

Ámbito:

A: Algeciras
LB: Los Barrios
LC: La Línea de la Concepción
SR: San Roque

4.2. Caracterización de la población y su entorno

En esta fase, el objetivo ha sido caracterizar la población que puede verse afectada por la ejecución y puesta en marcha de las medidas del Plan y su entorno social, económico y ambiental, describiendo una situación de partida.

4.2.1. Caracterización de la población

Incluye un perfil demográfico (con especial atención a la identificación de posibles grupos vulnerables), el perfil socioeconómico (para identificar grupos en riesgo de exclusión) y, dado que la valoración incluirá posteriormente un análisis en profundidad, el perfil de salud.

A lo largo de dicha caracterización tendremos también muy en cuenta dos aspectos esenciales de una VIS: las inequidades en salud y la participación de la ciudadanía en la elaboración del PMCA. Asimismo, trataremos de identificar población vulnerable y analizar la posible distribución de los impactos en la población. Al objeto de poder establecer comparaciones que faciliten la identificación de elementos característicos de la población de la zona, analizaremos los datos de la misma contrastándolos con dos poblaciones de referencia: la provincial y la andaluza.

Además de la información suministrada por los institutos de estadística nacional y andaluz, tendremos muy en cuenta la información contenida en el Dictamen sobre el exceso de mortalidad y morbilidad en El Campo de Gibraltar (el Dictamen, en adelante), realizado por la Sociedad Española de Epidemiología por encargo del Defensor del Pueblo Andaluz (DPA) ¹³².

Este Dictamen consiste en un extenso informe sobre la comarca de El Campo de Gibraltar (que incluye, además de los cuatro municipios de la Bahía de Algeciras, a Tarifa, Castellar y Jimena de la Frontera) que tiene como objetivo establecer si en la población de El Campo de Gibraltar existe mayor mortalidad y peor estado de salud que en el resto de Andalucía y el conjunto de España (y, si es así, valorar los factores explicativos y realizar recomendaciones para paliarlos).

El dictamen se elaboró después de varias quejas de asociaciones ciudadanas al DPA y de las correspondientes respuestas por la Junta de Andalucía en los últimos años. Estas quejas continuas de la ciudadanía, la solicitud por el DPA de informes adicionales, y el tratamiento habitual en los medios de comunicación de los problemas de salud de la zona reflejan la persistencia de un conflicto que no acaba de encauzarse adecuadamente y que, según el Dictamen, parece ir más allá de la mera existencia de un problema de salud pública.

Perfil demográfico

La Zona industrial de la Bahía de Algeciras comprende los municipios de Algeciras, La Línea de la Concepción, Los Barrios y San Roque, con una extensión total de 583,3 Km² y 24 núcleos de población. La población total es de 230.203 habitantes (dato de 2017) y, de los municipios que integran la ZIBH, Algeciras es el que tiene una población mayor, con algo más de 120.000 habitantes (Tabla 11), siendo el segundo municipio con más población de la provincia de Cádiz, tras Jerez de la Frontera, que cuenta con 212.915 habitantes).

Municipio	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<i>Algeciras</i>	111 283	112 937	114 012	115 333	116 209	116 417	117 810	116 917	114 277
<i>Los Barrios</i>	20 119	20 871	21 358	21 977	22 311	22 587	22 853	23 141	22 948
<i>La Línea C</i>	62 682	63 026	63 663	64 240	64 595	64 645	64 944	64 704	62 697
<i>San Roque</i>	25 548	26 569	27 635	28 653	29 249	29 588	29 965	30 516	29 536
<i>Bahía de Algeciras</i>	221 637	225 409	228 675	232 211	234 373	235 247	237 583	237 290	231 471

Tabla 11. Población en los municipios de la Bahía de Algeciras durante el periodo 2005-2013.

Fuente: INEbase / Nomenclátor: Población del Padrón Continuo por Unidad Poblacional.

En el periodo de estudio la población se ha mantenido más o menos estable (un aumento de unos 10.000 habitantes entre 2005 y 2013), como se aprecia en la Tabla 11.

Por otro lado, podemos observar en la Tabla 12 una serie de datos básicos de los municipios de la Bahía de Algeciras. En ella podemos comprobar que el municipio con un mayor número de núcleos de población es San Roque (con 13) y que, en general, la zona de estudio presenta una menor población residente en núcleos diseminados (lo que podría dar lugar a situaciones de vulnerabilidad) que la población provincial y regional.

	Algeciras	La línea	Los Barrios	San Roque	Provincia de Cádiz	Andalucía
<i>Extensión superficial (Km²)</i>	85,8	19,3	331,3	146,9	7.436,4	87.598
<i>Población total</i>	121.133	63.146	23.374	29.969	1.239.435	8.379.820
<i>Núcleos que componen el municipio</i>	2	3	6	13	-	-
<i>Población residente en núcleos diseminados (% sobre el total)</i>	0,24	3,91	2,46	2,19	4,95	3,31
<i>Edad media de la población</i>	39,9	40,7	38,5	39,3	40,9	41,3
<i>Índice de maternidad</i>	23,8	21,3	22,3	22,5	20,4	20,7
<i>Población por edad (% sobre el total)</i>						
<i>0 a 14 años</i>	18,1	16,4	18,7	18,0	16,4	16,1
<i>De 65 años en adelante</i>	15,0	16,4	12,0	14,1	15,7	16,6

	Algeciras	La línea	Los Barrios	San Roque	Provincia de Cádiz	Andalucía
<i>De 15 a 29 años (Índice de juventud)</i>	10,5	11,0	11,2	10,6	10,7	10,8
<i>Población según la relación entre el lugar de nacimiento y la residencia (% sobre el total)</i>						
<i>Mismo municipio</i>	61	74	42	34	63	54
<i>En otro municipio, misma provincia</i>	12	6	38	37	21	23
<i>En otro municipio, misma CCAA, otra provincia</i>	8	6	7	9	5	7
<i>En otro municipio, distinta CCAA</i>	9	5	8	6	6	6
<i>En el extranjero</i>	10	10	6	14	5	9
<i>Población mayor de 15 años, por nivel de estudios</i>						
<i>Sin estudios o estudios primarios incompletos</i>	15,0	17,9	14,0	18,6	7,9	7,8
<i>Estudios primarios</i>	20,1	23,0	17,3	21,3	12,4	10,9
<i>Estudios secundarios</i>	39,4	41,8	35,4	51,6	41,0	41,9
<i>Estudios superiores</i>	7,9	7,0	5,9	8,5	18,5	19,1

Tabla 12. Datos básicos de los municipios de la Bahía de Algeciras.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IECA y de los informes estadísticos del municipio (diciembre 2017) del Observatorio Argos, perteneciente al Servicio Andaluz de Empleo de la Junta de Andalucía. Nota: los datos son de 2017 excepto los datos provinciales y autonómicos de la población mayor de 15 años por nivel de estudios (2016). Tasa de maternidad: personas de 0 a 4 años por cada 1.000 mujeres de 15 a 49 años en el municipio correspondiente.

La edad media de la población es algo menor que en las poblaciones de referencia y el índice de maternidad es mayor, lo que nos da una idea de que se trata de una población relativamente joven, comparado con la población gaditana y con la andaluza (aunque bastante similar, en todo caso). El dato de población por edad confirma esta impresión con unos porcentajes más altos de población de 0 a 14 años que la población de referencia (excepto en Los Barrios), situación que ya se iguala en la franja de edad de 15-27 años.

Esta situación se puede apreciar con un poco más de claridad al observar la pirámide de población de cada municipio del censo 2011 comparada con la pirámide andaluza del mismo censo (Figura 18), con la pirámide municipal en primer plano y la andaluza al fondo.

Si comparamos las pirámides de población de los censos de 2011 y de 2001 (también superpuestas) podemos observar también un aumento de la población infantil pero también la población de edades cercanas a la jubilación (Figura 19).

Por otro lado, en la población según su lugar de nacimiento, podemos observar el bajo porcentaje de personas (comparado con las poblaciones de referencia) nacidas en el

municipio y alto porcentaje de extranjeros en San Roque. En el lado opuesto, La Línea presenta un porcentaje mayor de personas nacidas en el municipio.

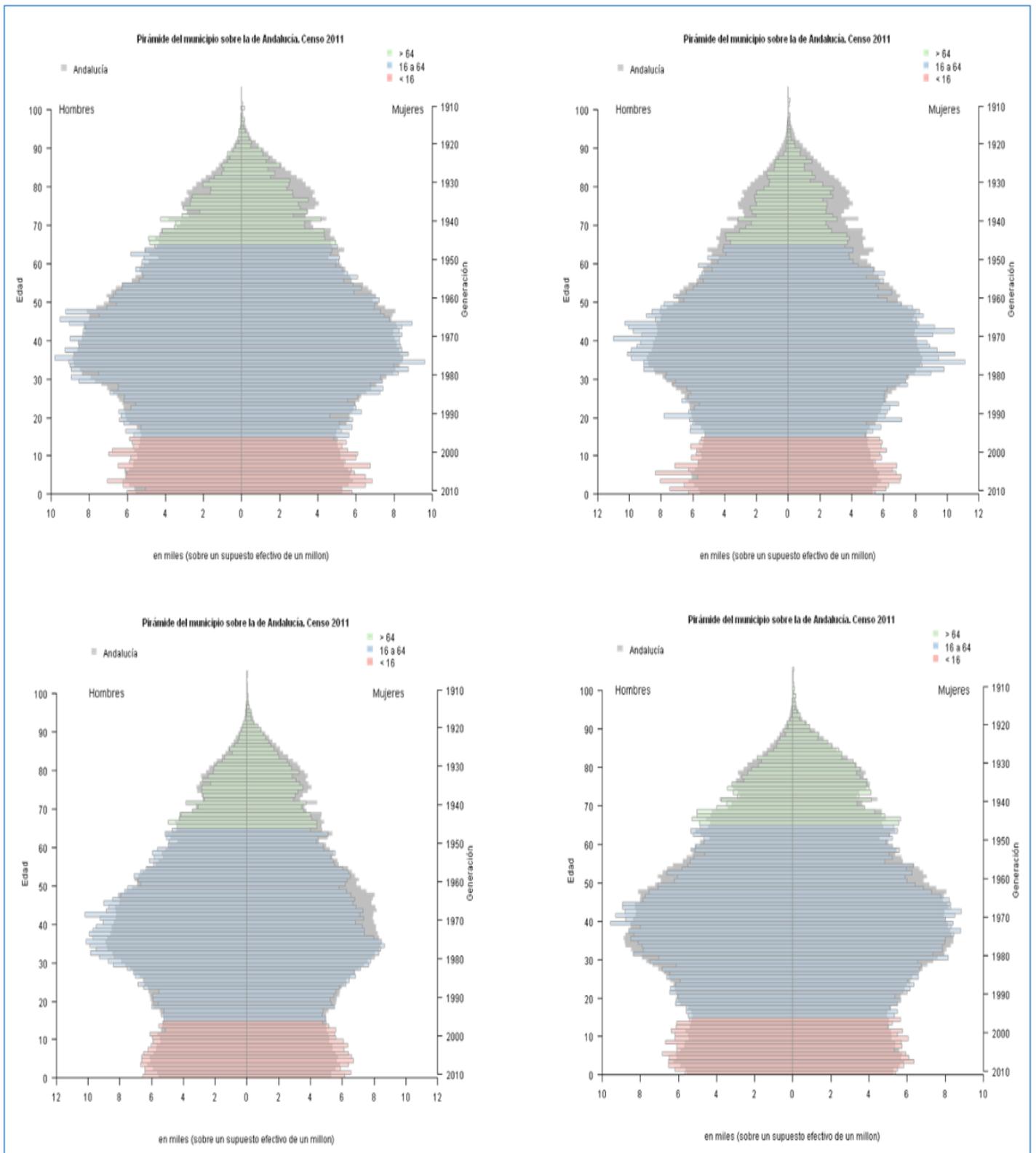


Figura 18. Pirámides de población de los municipios de la Bahía de Algeciras sobre la andaluza (censo 2011).

Fuente: IECA. Nota: De izquierda a derecha y de arriba abajo: Algeciras, Los Barrios, La Línea de la Concepción y San Roque.

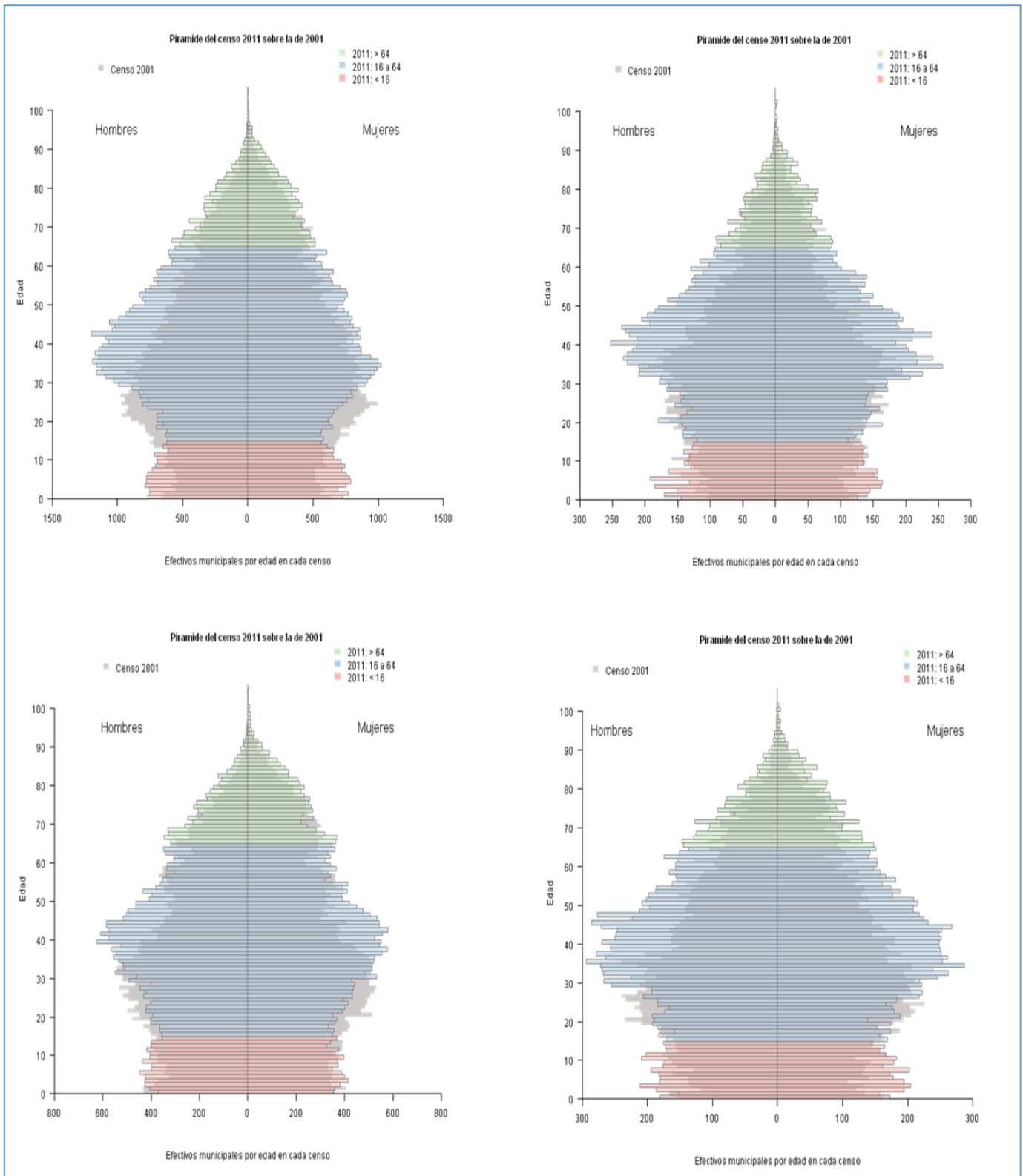


Figura 19. Pirámides de población de los municipios de la Bahía de Algeciras del censo 2011 sobre la del censo 2001. Fuente: IECA. Nota: De izquierda a derecha y de arriba abajo: Algeciras, Los Barrios, La Línea de la Concepción y San Roque.

En Algeciras y San Roque se observa un porcentaje bastante mayor de personas nacidas fuera de la provincia (suma de población nacida en alguna de las otras siete provincias andaluzas, resto de España y el extranjero) comparándola con la población de Cádiz o Andalucía (27 y 29% frente a 16% en la provincia y 21% en la región).

La población extranjera mayoritaria es la procedente de Marruecos (en el caso de Algeciras) y del Reino Unido (en el de San Roque), este último dato debido a la población residente en los núcleos de población de Sotogrande y los alrededores.

Población vulnerable

El PMCA realiza una somera descripción de los grupos vulnerables en su área de aplicación, limitándose a describir el número de personas con una enfermedad crónica respiratoria o pertenecientes a algún grupo vulnerable por razón de edad. No se describe otros tipos de población vulnerable (como poblaciones desfavorecidas o de zonas de transformación social) y, además, esta información no se utiliza en el Plan a la hora de describir u orientar las medidas.

En este sentido, en lo que respecta a grupos especialmente vulnerables, hay que señalar que las personas en edad infantil con bajo nivel socioeconómico sufren una mayor exposición a la contaminación del aire ^{63,87,190} y que la contaminación del aire agrava las situaciones de inequidad en salud ⁸⁶.

Se han propuesto diversos mecanismos para explicar esta relación entre exposición a la contaminación del aire y las desigualdades en salud, entre ellos el planeamiento urbanístico (por ejemplo, en los usos del suelo), que podría explicar en parte el hecho de que las poblaciones con menor nivel socioeconómico estén más expuestas a la contaminación del aire ⁸⁸.

En 2008 se publicó la *Vulnerabilidad del tejido social de los barrios desfavorecidos de Andalucía* ¹⁹¹ en el que, a partir de unos índices que resumen diversos indicadores socioeconómicos, se establecen una serie de zonas desfavorecidas o muy desfavorecidas. De acuerdo con los autores de esta publicación, existen varias zonas de estos dos tipos en San Roque (zona desfavorecida), Algeciras (de ambos tipos) y, sobre todo, en La Línea (también de los dos tipos).

En las Figuras 20 a 22 se ha representado la ubicación de las áreas urbanas desfavorecidas y muy desfavorecidas de la Bahía de Algeciras junto a la localización de las estaciones de la RVCCA. Como puede apreciarse en dichas figuras, únicamente la estación de El Zabal, en La Línea de la Concepción, está ubicada en el interior de un área urbana

desfavorecida o muy desfavorecida (aunque las estaciones de La Línea y San Roque se encuentran muy cerca de un área desfavorecida).

Por otro lado, existen en Andalucía unas zonas desfavorecidas denominadas zonas con necesidades de transformación social (ZNTS), que se definen, en el Decreto-Ley 7/2013, de 30 de abril de medidas extraordinarias y urgentes para la lucha contra la pobreza y la exclusión social, como aquellos espacios urbanos concretos y físicamente delimitados en cuya población concurren situaciones estructurales de pobreza grave y marginación social, y en las que sean significativamente apreciables problemas en las siguientes materias:

- Vivienda, deterioro urbanístico y déficit en infraestructura, equipamiento y servicios públicos.
- Elevados índices de absentismo y fracaso escolar.
- Altas tasas de desempleo junto a graves carencias formativas profesionales.
- Significativas deficiencias higiénico-sanitarias.
- Fenómenos de desintegración social.

La metodología para la declaración de una ZNTS, sin embargo, no está definida. Hasta ahora, han sido declaradas por los propios ayuntamientos, sin unos criterios establecidos, con motivo de una Orden de la Consejería andaluza competente en materia de políticas sociales, para la concesión de subvenciones.

En la zona industrial Bahía de Algeciras, las ZNTS son las siguientes:

- Algeciras: zona sur Algeciras
- Línea de la concepción: barriadas de El Junquillo y La Atunara
- San Roque: Barriada de Puente Mayorga.

Aunque la normativa andaluza sobre EIS asume estas zonas como áreas urbanas socialmente desfavorecidas ¹⁹², en esta VIS se tendrán en cuenta principalmente las zonas delimitadas en el trabajo *Vulnerabilidad del tejido social de los barrios desfavorecidos de Andalucía* mencionado anteriormente debido a que dicha delimitación se ha realizado en base a criterios homogéneos para toda Andalucía y no arbitrarios.

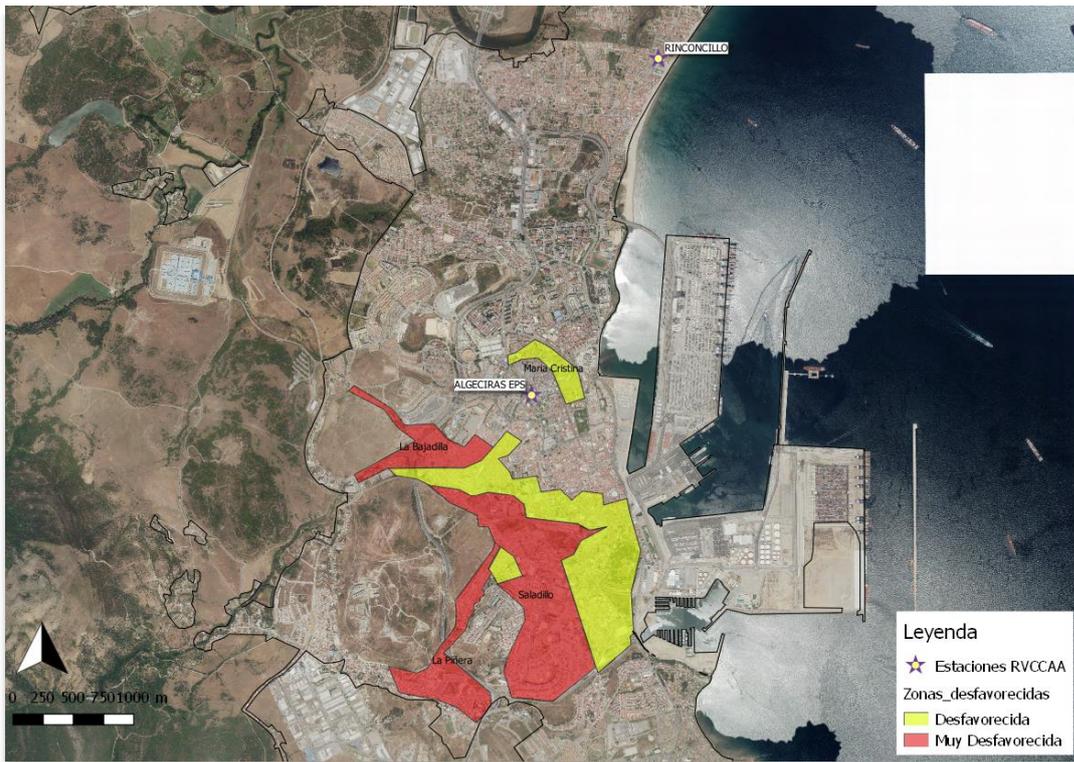


Figura 20. Zonas desfavorecidas del municipio de Algeciras (escala 1:30.000).

Fuente: elaboración propia a partir de datos: IECA y del documento “Vulnerabilidad del tejido social de los barrios desfavorecidos de Andalucía”.

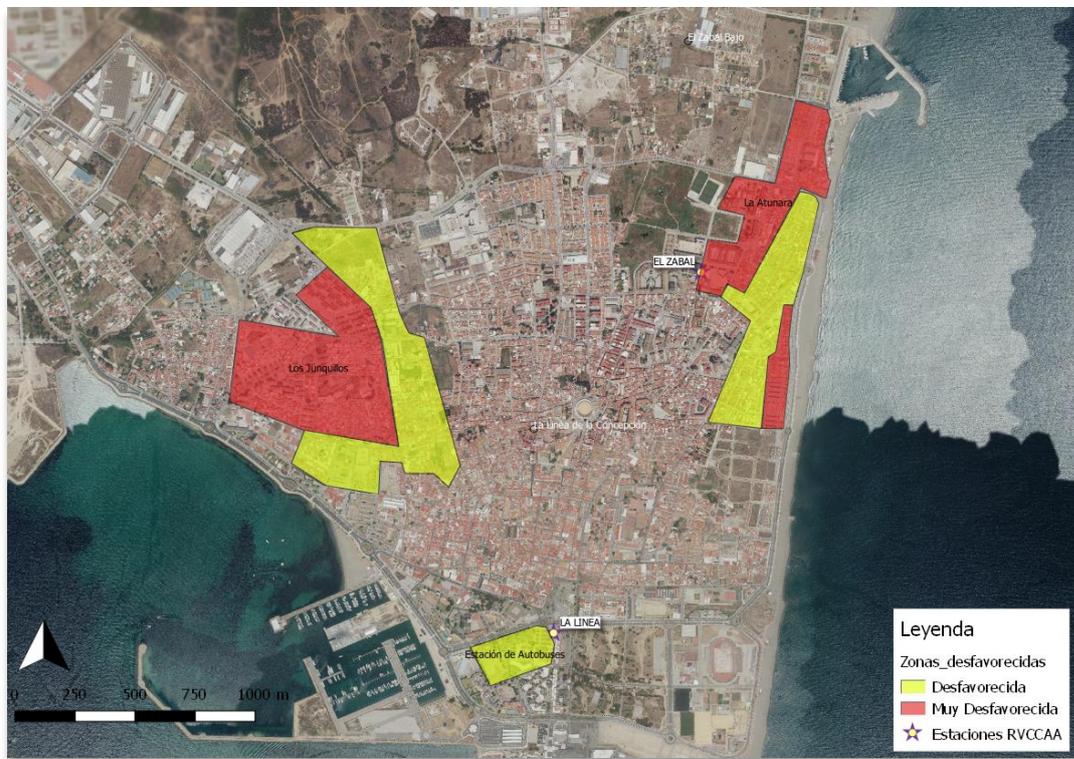


Figura 21. Zonas desfavorecidas del municipio de La Línea de la Concepción (escala 1:15.000).

Fuente: elaboración propia a partir de datos: IECA y del documento “Vulnerabilidad del tejido social de los barrios desfavorecidos de Andalucía”.

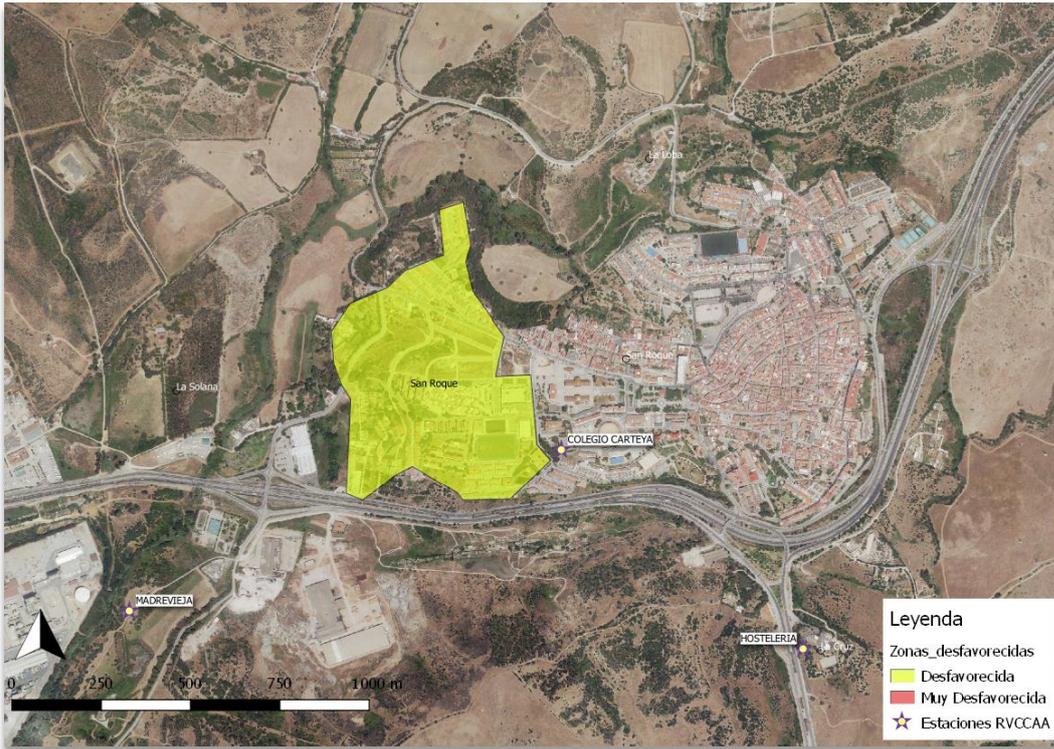


Figura 22. Zonas desfavorecidas del municipio de San Roque (escala 1:10.000).

Fuente: elaboración propia a partir de datos: IECA y del documento “Vulnerabilidad del tejido social de los barrios desfavorecidos de Andalucía”.

Perfil socioeconómico

El territorio presenta una acusada personalidad marcada por una economía que depende fundamentalmente de los sectores portuario e industrial. La Bahía de Algeciras constituye un sistema portuario de gran tráfico por su posición geoestratégica y por las buenas condiciones de abrigo y calado para las actividades portuarias, lo que ha facilitado un importante desarrollo industrial. Esto se traduce en una significativa generación de empleo y riqueza, pero también supone importantes presiones sobre el medio ambiente local, introduciendo asimismo elementos de desigualdad tanto en la distribución en la zona de los beneficios de este desarrollo económico como por la distribución de los efectos derivados del deterioro ambiental.

Esta situación geoestratégica de la Bahía de Algeciras constituye la base del desarrollo económico de la zona y suponen el principal recurso de su potencial futuro, según se expone en la introducción del Plan de Ordenación del Territorio del Campo de Gibraltar ¹⁹³. El puerto de Algeciras superó en 2019 los 109 millones de toneladas de tráfico total en sus instalaciones ¹⁹⁴, que lo sitúa en la primera posición de los puertos españoles y del Mediterráneo y en el

cuarto puesto entre los europeos, tan solo por detrás de Róterdam, Amberes y Hamburgo. El puerto es el principal generador de empleo de la zona, con 9.726 empleos directos, 10.975 indirectos e 7.469 inducidos ¹⁹⁵.

Por otro lado, la zona ha sido desde hace siglos un espacio doblemente fronterizo, con todo lo que ello conlleva en términos sociales y económicos. De acuerdo con el Dictamen, esto ha configurado un territorio con unas especiales características sociológicas, poco integrado en el ámbito provincial.

Por otro lado, a finales de los años sesenta comenzó la puesta en marcha del Polo de Desarrollo Industrial, nacido con el objetivo de promover el desarrollo socioeconómico de la comarca y disminuir su dependencia de Gibraltar. Así, se fueron instalando un conjunto de industrias (petróleo y derivados, metalurgia del acero, papelera, etc.), se construyeron importantes infraestructuras en el ámbito de la energía y las comunicaciones, y se potenció el puerto de Algeciras. Siguiendo el hilo conductor del apartado dedicado al medio social en el Dictamen, vamos a resumir las principales consecuencias sociales que tuvieron estos elementos para la zona:

- La estructura de una sociedad cambia de ser una sociedad de tipo rural a otra urbana, de carácter industrial y de servicios.
- El nivel socioeconómico de la zona se ha incrementado y se ha reducido la brecha socioeconómica con España, aunque no han permitido alcanzar la equiparación.
- Se introducido en el territorio un *elemento de desigualdad* novedoso respecto al conjunto de Andalucía, el referido al daño medio ambiental producido por el Polo de Desarrollo Industrial.

Según el Dictamen por encargo del Defensor del Pueblo Andaluz, históricamente la población de la zona de estudio ha estado sujeta a un empobrecimiento muy relevante, incluso en el contexto andaluz. El Dictamen identifica a Gibraltar como el elemento económico clave de la comarca. Gibraltar mantiene una estrecha relación con los municipios de la zona de estudio, especialmente con La Línea de la Concepción.

Entre las recomendaciones finales de este Dictamen hay que destacar, en lo referente a los determinantes sociales de la salud, la siguiente: “Dada la gran relevancia de los condicionantes sociales en el panorama de los problemas de salud analizados, especialmente respecto a la ciudad de La Línea de la Concepción, se deberían potenciar las actuaciones de las administraciones públicas para el abordaje del desempleo, la pobreza y la exclusión social en el territorio, haciendo énfasis prioritario en la intervenciones en los ámbitos educativo, formativo y de empleo”.

Se han consultado los datos disponibles actualmente para analizar los ámbitos señalados por el Dictamen, y compararlos en la medida de lo posible con las poblaciones de referencia (provincial y andaluza).

Así, en lo que respecta al nivel educativo, podemos observar que la población de la zona que tiene estudios superiores es sensiblemente inferior a la provincial y andaluza (ver Tabla 12). En este sentido, hay que remarcar que esto puede generar desigualdades en salud, pues es sabido que un bajo nivel educativo está asociado con una peor salud percibida ¹⁹⁶ y con una mayor mortalidad ¹⁹⁷⁻¹⁹⁹.

En cuanto a la tasa municipal de desempleo vemos (Tabla 13) que, efectivamente, es más alta que la andaluza en los cuatro municipios, especialmente en La Línea de la Concepción. Asimismo, de acuerdo con un trabajo sobre los barrios desfavorecidos de Andalucía ¹⁹¹, en los municipios de Algeciras, La Línea de la Concepción y San Roque existen varias zonas desfavorecidas y, en el caso de los dos primeros, también zonas muy desfavorecidas. La ubicación de estas zonas puede verse en las figuras 20 a 22.

En cambio, si nos referimos a la renta bruta per cápita, Algeciras es actualmente el municipio con la renta más alta de la provincia de Cádiz (y el decimocuarto en Andalucía), mientras que Los Barrios y San Roque son el cuarto y quinto de la provincia, respectivamente. La Línea de la Concepción está también por encima de la media (puesto 34 en Andalucía en 2017) ²⁰⁰. Este aparente contrasentido (municipios con áreas desfavorecidas y entre los de mayor renta a nivel provincial) indicaría una distribución de la riqueza muy desigual en la zona.

En todo caso, la conclusión sobre los aspectos sociales y económicos es que la Bahía de Algeciras presenta peores indicadores que las poblaciones de referencia en educación y desempleo. Asimismo, existen zonas concretas (con una población elevada) que están consideradas como desfavorecidas o muy desfavorecidas.

Territorio	Afiliaciones por lugar de residencia	Demandantes no ocupados	Tasa municipal de desempleo
<i>Algeciras</i>	36.247,50	14.005,75	27,87%
<i>Los Barrios</i>	7.991,25	2.477,00	23,66%
<i>La Línea de la Concepción</i>	14.151,50	8.532,25	37,61%
<i>San Roque</i>	9.096,00	3.364,25	27,00%
<i>Andalucía</i>	3.030.230,25	924.932,25	23,39%

Tabla 13. Tasa municipal de desempleo. Media anual (año 2018).

Fuente: SIMA-IECA ²⁰¹

Perfil de salud

Durante los últimos años se han realizado numerosos estudios sobre el estado de salud y sus principales determinantes en la población de la zona. A pesar de ello, la información disponible no permite establecer de forma definitiva las causas concretas de la mayor mortalidad observada históricamente en las provincias occidentales de Andalucía y en la comarca de El Campo de Gibraltar, y del descenso posterior de la mortalidad durante los últimos años hasta aproximarla a la de resto de España ¹³².

Uno de esos estudios, por ejemplo, encontró un exceso de mortalidad general y prematura estadísticamente significativo tanto en los hombres como en las mujeres de la Bahía de Algeciras ²⁰². En otro estudio se remarca la importancia de los determinantes sociales de salud, dejando claro que en la zona ya existía un exceso de mortalidad antes del proceso de industrialización ²⁰³.

En todo caso, de acuerdo con las conclusiones del Dictamen, la mayor mortalidad de la población de la zona respecto a España se ha ido concentrando en las personas de mayor edad y, en la actualidad, se observa casi exclusivamente en los grupos de edad más elevada, particularmente de 75 y más años, en los municipios de Los Barrios y San Roque. En la actualidad, solo La Línea de la Concepción presenta una mayor mortalidad masculina y femenina en todos los grupos de edad superiores a 15 años. En Algeciras se observa la misma situación en las mujeres, mientras que en los hombres menores de 65 años la mortalidad es similar a la de España.

Pero además de realizar el análisis a nivel de municipios o agregados para toda la zona, resulta clave analizar los datos de salud a nivel inferior al municipio, con objeto de identificar población vulnerable. Así, si observamos la Figura 23 vemos que las razones de mortalidad en la zona son muy desiguales, coincidiendo en líneas generales las zonas con una mayor mortalidad (celdas en rojo) con las áreas desfavorecidas que vimos en las figuras 20 a 22. Sin embargo, existen otras zonas con una razón de mortalidad muy inferior a la media andaluza, en particular la zona alrededor de Sotogrande (Figura 24).

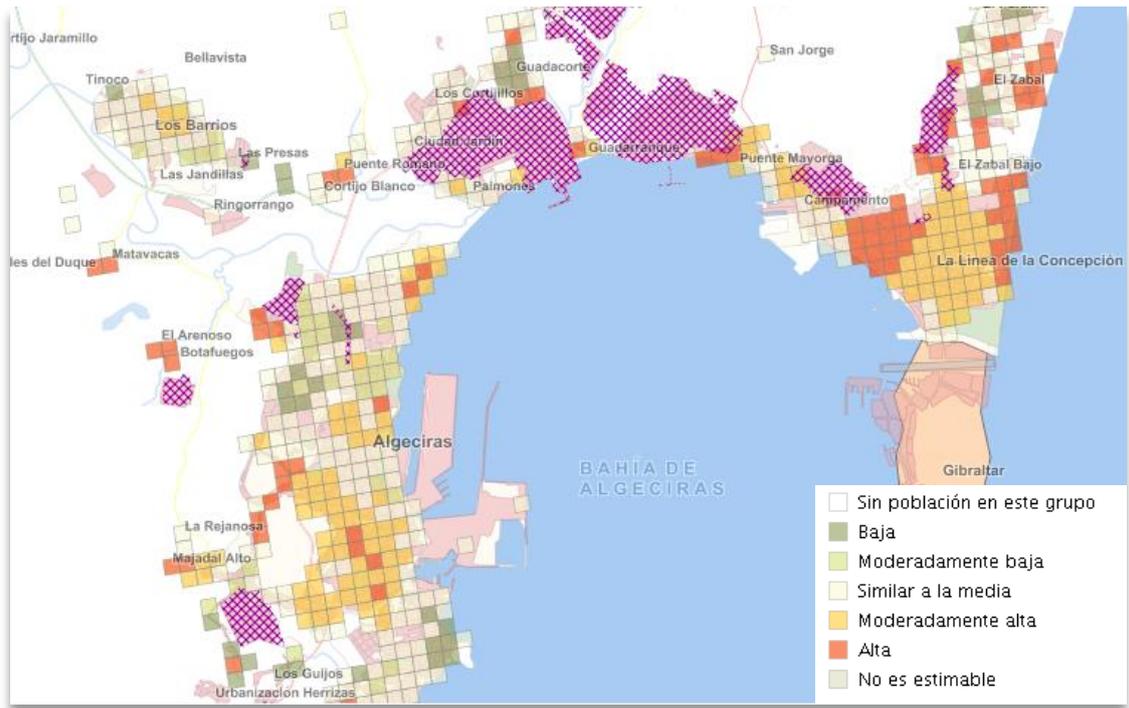


Figura 23. Estadísticas Longitudinales de Supervivencia y Longevidad en Andalucía, 2002-2013. Razones de mortalidad general comparada con la media andaluza (celdas de 250 metros) y espacios industriales (en azul). Visión general de la Bahía de Algeciras.

Fuente: IECA.

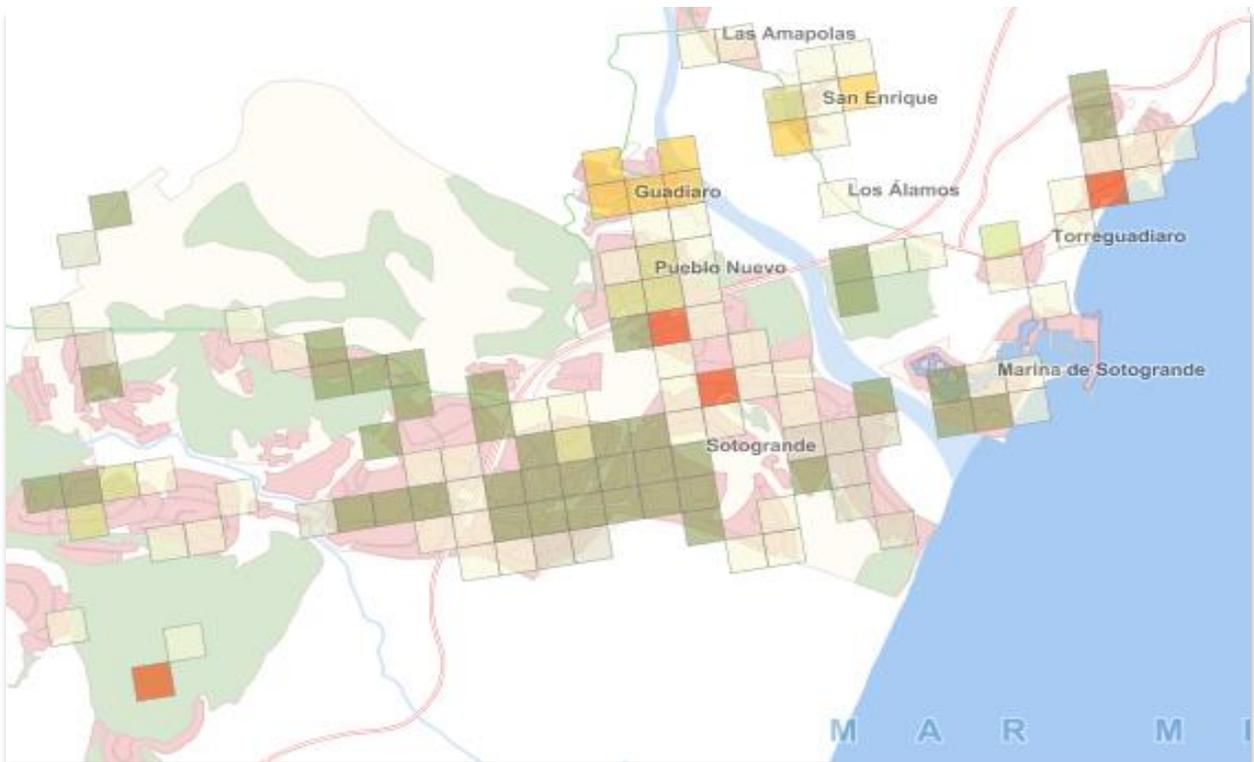


Figura 24. Estadísticas Longitudinales de Supervivencia y Longevidad en Andalucía, 2002-2013. Razones de mortalidad general. Celdas de 250 metros. Zona de Sotogrande (San Roque).

4.2.2. Caracterización del entorno de la actuación

Los aspectos a caracterizar están fuertemente influenciados por la descripción del proyecto y, en especial, por la información relativa a los recursos e infraestructuras que resultan necesarias (para analizar el impacto sobre los recursos existentes) y las emisiones de todo tipo que se producen. Siempre es conveniente completar esta información con datos climatológicos y aquellos necesarios para analizar las vías de exposición (hidrográficos, edafológicos, etc.).

De acuerdo con el PMCA, la Zona Industrial de la Bahía de Algeciras presenta un clima mediterráneo subtropical con una gran suavidad térmica invernal originada por la influencia del mar, la orientación sur de la costa y la protección de las coladas septentrionales por las cadenas Béticas, originando unas temperaturas medias en invierno entre 12°C y 15°C. En verano, aunque está la influencia suavizadora del mar, pueden llegar a alcanzarse temperaturas de 40°C.

La distribución temporal de las lluvias viene dada por los frentes atlánticos que llegan desde el Oeste, cuya frecuencia depende de la potencia del anticiclón de las Azores, principal factor determinante del clima en Andalucía. Las precipitaciones, en general, son del orden de los 400-900 mm, caracterizándose por ser más abundantes en invierno y primavera, siendo, además, algo variantes.

En lo referente a los vientos de la zona, el PMCA toma como modelo el año 2007 y señala que las componentes principales del viento se producen en dirección E y NO (Figura 25).

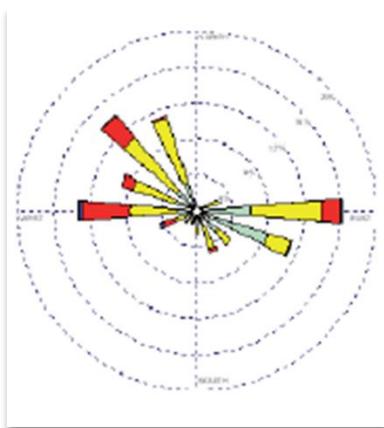


Figura 25. Rosa de los Vientos en el año 2007.

Fuente: PMCA.

Asimismo, un estudio sobre la caracterización de material particulado atmosférico en esta zona ¹³¹, que abarcó el periodo comprendido entre enero de 2006 y diciembre de 2007, determinó dos componentes dominantes de los vientos, que la autora denominó *levante* y *poniente*. La componente de levante estaba constituida principalmente por vientos de origen ESE, E y SE, mientras que la componente poniente se caracterizaba por vientos de componente NO. Ambos componentes se observaban durante todos los meses del periodo de estudio, sin que existiese un régimen de viento característico de meses o estaciones del año.

En cuanto a la calidad del aire, ya hemos ido desgranando las características más reseñables de la situación en la Zona Industrial Bahía de Algeciras. No obstante, se completa la información con algunos datos que serán útiles posteriormente, a la hora de discutir los resultados.

Las fuentes de contaminación atmosféricas por partículas y dióxido de azufre en la zona están perfectamente caracterizadas en el PMCA, así como los componentes mayoritarios y elementos traza de las partículas, aspecto muy importante a la hora de proponer las medidas más efectivas para reducir las emisiones.

Los niveles de partículas en el periodo de estudio tienen una tendencia generalmente descendente. Por lo que respecta a la composición del material particulado PM10, el principal componente de las partículas son los compuestos inorgánicos secundarios y la materia mineral, con una contribución muy superior a aerosol marino y materia carbonosa.

En general, comparado con otras zonas de España y Europa continental, las PM10 en Andalucía se caracterizan por unos niveles altos de material crustal y componentes inorgánicos secundarios. Esto se ha atribuido a emisiones elevadas de partículas por el tráfico rodado y la industria, a la alta frecuencia de episodios de intrusión sahariana y a factores climáticos, como las bajas precipitaciones y suelos secos ²⁰⁴. En la zona concreta de la Bahía de Algeciras, el tráfico marítimo es también una fuente importante de emisiones de partículas ¹²⁹.

En esta línea, el trabajo mencionado anteriormente sobre la caracterización de material particulado atmosférico en la zona muestra también episodios de elevada concentración de partículas PM10 identificados como eventos de intrusión de masas norteafricanas. Estos episodios se caracterizan por elevados niveles de PM10 y, en menor proporción, PM2,5 y PM1.

Por otro lado, las características de los cambios en la contribución de fuentes durante el periodo 2005-2013 fueron coherentes con las acciones para reducir las emisiones de partículas que se implementaron en la pasada década, sin obviar el papel que jugó la crisis financiera. Entre estas acciones se estima que el mayor efecto en la reducción de partículas en el aire ambiente fue el provocado por la implementación de la Directiva sobre Emisiones Industriales (que obliga a utilizar las mejores técnicas disponibles en grandes plantas de combustión) y la Directivas EURO-5 y EURO-6, relacionadas con las emisiones de vehículos ¹³⁰.

El PMCA confirma la superación de los valores límite de PM10. La estación de Palmones es la estación de la RVCCA que registró el valor medio anual más elevado ($48 \mu\text{m}/\text{m}^3$ en 2005) y el mayor número de superaciones anuales del valor límite diario (126, también en 2005), situación que en el PMCA se achaca (al menos en parte) a las obras de construcción cerca de la estación de una infraestructura vial en esa época.

Para el dióxido de azufre, en el PMCA se afirma que la entrada en vigor del Plan de Acción Medioambiental para el Campo de Gibraltar mejoró bastante la situación. Con respecto al resto de los contaminantes evaluados (O_3 , NO_2 , benceno), no se han registrado en ningún caso superaciones de los valores *legales*.

Por último, en lo que respecta al suelo, los estudios llevados a cabo para el Diagnóstico de la situación ambiental del entorno del Campo de Gibraltar ¹²⁸, determinaron clorodibenzo-p-dioxinas (dioxinas) y clorodibenzofuranos (furanos) en muestras de suelos y aire dentro del Campo de Gibraltar. En comparación con otros estudios similares documentados en la literatura los niveles encontrados en el Campo de Gibraltar son similares a la mayoría de los datos de los que se dispone en el país y en general se corresponden a niveles de fondo.

4.2.3. Participación ciudadana

Tras evaluar el contenido del PMCA en lo referente a los procesos participativos, hemos comprobado que, en general, dichos procesos no han sido muy tenidos en cuenta en la elaboración del plan, más allá de la información pública habitual en normas, planes y programas. En general, se echa en falta a la hora de potenciar la eficacia de las medidas de concienciación ciudadana que se haya fomentado más la participación de la población de forma que asumiese como propios los objetivos de mejora del plan.

Se considera que las medidas dirigidas al sector residencial, comercial o institucional o las medidas de prevención y sensibilización serían más efectivas y recibirían un mayor apoyo por parte de la ciudadanía si se hubiera fomentado la participación de la misma en la toma de

decisiones por cuanto se verían entonces como una contribución voluntaria a la resolución de un problema que afecta a todos. Se echa en falta en todo el proceso de redacción del plan la búsqueda del consenso y de la participación de las partes implicadas, lo que es especialmente grave en este caso en que la ciudadanía está tan sensibilizada al respecto.

Por tanto, este aspecto será claramente una de las áreas de mejora a tener en cuenta para el futuro PMCA.

4.3. Identificación de los impactos en los determinantes de salud

En este apartado se identificarán los posibles impactos sobre los determinantes de salud como consecuencia de la implantación de las medidas, siguiendo el orden establecido en el Anexo P-7 del Manual EIS, y se realizará una sencilla valoración cualitativa de la relevancia de los mismos. La Tabla 14, al final del apartado, resume los potenciales impactos de la implantación de las medidas sobre los determinantes de salud y la Lista de Chequeo para evaluar la relevancia de estos impactos.

Los impactos podrán ser directos, que son aquellos que pudieran tener cada grupo de medidas en la mejora del determinante “calidad del aire”, o indirectos, que son los que no derivan del objetivo principal de las medidas.

En el caso de los impactos indirectos, algunos pueden ser considerados de forma global (es decir, derivados del total de las medidas), sin diferenciar la contribución de cada grupo de medidas en particular, mientras que otros son impactos secundarios o indirectos de medidas cuyo objetivo principal sea reducir las emisiones de partículas.

4.3.1. Factores ambientales

Comenzaremos por evaluar los potenciales impactos de la implementación de las medidas del PMCA sobre los determinantes ambientales, es decir, los factores ambientales que influyen en la salud humana, y que incluyen factores físicos, químicos y biológicos, y todos los comportamientos relacionados con éstos.

Aire ambiente (partículas en suspensión)

En primer lugar veremos los posibles impactos sobre los niveles de partículas, que es el objetivo de la gran mayoría de las medidas del Plan (impactos directos). Siguiendo el orden del Plan de Actuación (apartado 9.1 del PMCA) comenzamos por las medidas dirigidas a la reducción de emisiones en el ámbito industrial, que es la principal fuente antropogénica local de partículas, tanto por las emisiones directas como por emisiones de precursores gaseosos de compuestos secundarios que, según el PMCA, son el principal componente del material particulado.

Estas medidas se consideran muy efectivas ya que muchas de ellas van dirigidas a conseguir que las emisiones se adapten a las mejores tecnologías disponibles, que implican que el órgano competente fije normalmente valores de emisión iguales o inferiores asociados

a estas técnicas. En el caso de las actividades sujetas a autorización ambiental integrada, esta adaptación es una exigencia legal, recogida en la Ley de Prevención y Control Integrados de la Contaminación ²⁰⁵.

Las dos medidas destinadas a reducir las emisiones del tráfico marítimo portuario están dirigidas principalmente a la reducción de óxidos de azufre, pero podrían contribuir también a reducir la emisión de partículas por esta fuente, pues teóricamente las instalaciones de generación de energía eléctrica están más controladas que las emisiones de los motores auxiliares.

Se ha estimado que la contribución directa de estas emisiones es del 3-7% del total de las emisiones de PM10. Si además le sumamos la contribución por la formación secundaria de aerosoles de sulfato, la contribución de este sector sería del 13 % de las emisiones de PM10 y el 17% de las de PM2,5 ¹²⁹. Por tanto, el tráfico marítimo es una fuente importante de partículas (la segunda en importancia, según el PMCA) y las medidas tendentes a reducir estas emisiones (como el suministro eléctrico a los barcos atracados en puerto) tendrán cierto efecto sobre los niveles de inmisión.

Otro grupo de medidas se refiere a la reducción de partículas en las obras de construcción y demolición, justificado en el hecho de que la materia mineral es el principal componente del material particulado. En cuanto a las reducciones de emisiones asociadas al tráfico debido a la implantación de las medidas del grupo “tráfico” se estiman que serán de un menor volumen que las medidas anteriores y se producirán por la modernización de la flota con vehículos con menores emisiones específicas, la mejora de la fluidez del tráfico que repercute en menores emisiones por trayecto o el fomento del transporte no motorizado (como los carriles bici).

En lo que respecta al sector doméstico, la mejora de la calidad del aire asociada a estas medidas viene derivada fundamentalmente de la renovación del parque de edificios, por el menor consumo de energía en calefacción y producción de agua caliente sanitaria (calderas y calentadores en viviendas e instalaciones), siendo por tanto medidas a largo plazo y de muy compleja valoración a corto y medio plazo. No obstante, se estima que estas medidas (sobre todo las relativas al Plan de Viviendas) pueden resultar efectivas por cuanto su realización conlleva una disminución de costes para las economías domésticas, lo que facilitará su adopción y aceptación.

Se estima que todas estas medidas tendrán un impacto significativo sobre el determinante “aire ambiente”, ya que se considera que los impactos sobre el determinante tendrán una probabilidad, intensidad y permanencia altas.

Aire ambiente (otros contaminantes)

A pesar de que la mayoría de las medidas del Plan van dirigidas a reducir las emisiones de partículas, hay que reseñar que la mayor parte de ellas producen además una disminución paralela de la emisión de otros contaminantes como óxidos de azufre, óxidos nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles no metánicos (lo que limitará en principio también la formación de O₃ troposférico). Por otro lado, las medidas relativas al tráfico portuario tienen como objetivo reducir los niveles de SO₂.

Aunque los niveles de dichos contaminantes en el ambiente de la zona no alcanzan los niveles considerados de riesgo no aceptable, cualquier disminución de sus niveles va a representar una mejora en la salud de la población o, al menos, un mayor *margen de seguridad* ya que aumentará la diferencia entre los niveles de estos contaminantes y las concentraciones a partir de las cuales pueden producir un efecto tóxico.

En todo caso, el determinante “aire ambiente” ya ha sido considerado anteriormente como significativo, por lo que la relevancia sobre la salud de los impactos por la disminución de los niveles de estos otros contaminantes se analizará en la siguiente fase.

Ruido y vibraciones

Entre las medidas de fomento del transporte público se prevé la construcción de algunas infraestructuras de tipo ferroviario que, de forma global, se prevé que reduzcan el tráfico. Esto conllevará una reducción de los niveles de ruido para las personas cercanas a las vías de comunicación (aunque el impacto tendría seguramente una intensidad baja). La construcción de estas infraestructuras también podría incrementar los niveles de ruido por el aumento de tráfico de vehículos pesados y/o maquinaria de construcción en el periodo de construcción (aunque la permanencia del impacto sería baja). Por otro lado, los descensos en los niveles de tráfico, de conseguirse, conseguirán una disminución de los niveles de ruido.

En todo caso, en función de las medidas, los impactos tendrían una probabilidad, intensidad y permanencia baja o media, por lo que los impactos sobre el determinante “ruido y vibraciones” no se considerarán significativos.

Aguas superficiales

La mejora global del medio ambiente causada por la reducción de emisiones de partículas y de otros contaminantes puede repercutir en una serie de impactos sobre el determinante como “aguas superficiales”. Al reducirse las emisiones, cabe esperar también cierta disminución de la deposición de contaminantes en las aguas de la bahía (lo que, en su

caso, podría contribuir indirectamente a la concentración de contaminantes en los sedimentos y en los productos de pesca). Aunque, dada la reducción prevista y el volumen de agua, los impactos introducidos por la variación de las emisiones se consideran de probabilidad e intensidad bajas.

Respecto de las medidas orientadas al tráfico marítimo, la sustitución de la energía de los motores auxiliares por energía eléctrica puede reducir la necesidad de carga de combustible a los motores, lo que puede redundar en un menor riesgo de vertidos al mar. Ésto, a su vez, evitaría que los vertidos puntuales alcancen a las playas. No obstante, se considera que este impacto tiene una probabilidad e intensidad bajas, por lo que los impactos sobre el determinante no se consideran significativos.

Suelos

La mejora global del medio ambiente que se mencionó en el apartado anterior podría presentar también una serie de impactos sobre el determinante “calidad del suelo”. No obstante, teniendo en cuenta la reducción de emisiones y la extensión de terreno a considerar, se considera que los impactos sobre estos determinantes tienen una probabilidad e intensidad bajas, por lo que el impacto se considera no significativo.

Agentes biológicos

La medida de “compactado de caminos y riego periódico para disminuir el levantamiento de polvo” debe tener en cuenta el posible riesgo de extensión o diseminación de legionelosis, que puede suponer una amenaza para la salud de la población. En todo caso, se presupone el cumplimiento de las medidas de control previstas en el Real Decreto 865/2003 de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis, por lo que se considera que los impactos no van a ser significativos.

4.3.2. Factores socioeconómicos y convivencia social

Empleo y desarrollo económico

Un aspecto interesante que hay que considerar es el incremento en el nivel de empleo que se puede inducir como consecuencia de la puesta en marcha de las medidas del PMCA, por ejemplo en aquellas medidas que contemplen la realización de obras públicas o mejoras en instalaciones.

Por otro lado, en las medidas dirigidas al sector residencial, comercial o institucional se incluyen la mejora del aislamiento térmico de las viviendas, la dotación de las mismas de energía solar térmica y la rehabilitación de viviendas para aumentar la eficiencia en el uso de energía. Todo esto permite abaratar los costes en que incurren las unidades familiares aumentando su renta disponible.

Las medidas de prevención y sensibilización previstas apuntan a la misma dirección en el sentido de promover el ahorro de energía, el consumo responsable y la concienciación ciudadana. El impacto es similar al descrito anteriormente en el sentido de aumento de la renta disponible como consecuencia del menor gasto realizado.

En cuanto a los planes de movilidad, se entiende que podrían generar también un incremento de renta (pues al reducir el uso del vehículo propio se reducen los gastos en combustible y de mantenimiento).

Aunque no todas las medidas contribuyen con la misma intensidad, se estima que el efecto global de las medidas sobre el determinante “empleo y desarrollo económico” podría ser significativo, con una probabilidad alta, una intensidad media y una permanencia del impacto que podría situarse en niveles medio-altos.

Accesibilidad a servicios públicos

Entre las medidas de fomento del transporte público se prevé la construcción de algunas infraestructuras que, de forma global, podrían conllevar una mejora de la accesibilidad a los servicios públicos. Las medidas de fomento del transporte público también podrían mejorar la accesibilidad a los servicios.

Estos impactos, aunque positivos, se consideran no significativos pues, aunque la permanencia del impacto sería alta, la probabilidad e intensidad del impacto sobre la accesibilidad a servicios públicos por la implementación de las medidas se estiman bajas.

Personas en riesgo de exclusión y desarraigo social

En la valoración de este Plan cobra especial importancia el determinante relativo específicamente a las personas en exclusión pues, como se vio anteriormente, existen varias zonas desfavorecidas en su ámbito territorial.

En este sentido, el Plan podría (y debería) haber tenido en cuenta dos estrategias para abordar este aspecto:

- Eliminar o, al menos, minimizar las posibles desigualdades que pudieran introducir las medidas del PMCA.

- Contribuir a disminuir, en la medida de lo posible, las desigualdades existentes en la actualidad a través de las medidas del PMCA.

En el caso de la primera estrategia, podríamos citar como ejemplo las medidas del grupo relativo a la construcción de infraestructuras, cuya formulación y/o ejecución debería considerar que existe la posibilidad de que introduzcan desigualdades debido a que el trazado de estas líneas dé cobertura de forma preferente a unas zonas respecto a otras. Así, al analizar las diferentes alternativas se debería maximizar aquella que proporcione beneficios en la accesibilidad en su conjunto.

Un ejemplo de la segunda estrategia sí que se ha llevado a cabo (quizás de manera involuntaria). En el caso de las medidas de mejora de la eficiencia energética, al tener un enfoque de promoción y ayuda económica en la que se priorizan los grupos de menor poder adquisitivo, podría contribuir a disminuir las desigualdades.

En todo caso, este enfoque se debería haber tenido en la redacción del Plan, y teniéndolo en mente podrían haberse incorporado a muchas de las medidas. Ejemplos de esto podría ser la priorización de medidas que afectasen positivamente a estas zonas desfavorecidas o comenzar la ejecución de otras (la construcción de un tramo de carril bici o la mejora de la cobertura de bus urbano, por ejemplo) por estas zonas desfavorecidas. Además de las medidas relativas al tráfico, este enfoque sería posible en otros grupos de medidas, como las de prevención o sensibilización.

El determinante de salud que considera el riesgo de exclusión y desarraigo social no se va a ver prácticamente modificado por las medidas, pero se considera que el hecho de que el Plan no introduzca modificaciones positivas es una oportunidad perdida.

4.3.3. Otros factores

Actividad física

En general, todas las medidas que estén orientadas a reducir el uso de vehículo propio van a suponer una disminución en los niveles de sedentarismo incrementando la salud de la población y, en especial, una disminución de las desigualdades sociales que penalizan a aquellos grupos de población que no se pueden permitir la compra o el uso de un vehículo propio.

Para el análisis de la construcción de parkings nos remitimos a la mayor parte de los impactos ya mencionados para la construcción de todo tipo de infraestructuras: ruido y contaminación a nivel local e incremento de tráfico y de transporte de residuos en el entorno. En todo caso, se entiende que los impactos sobre el determinante “actividad física” no van a

ser significativos, pues las medidas que pudieran afectar al mismo son poco concretas y no muy numerosas, lo que hace que su intensidad sea media-baja y su probabilidad baja.

Espacios de convivencia

Las medidas relacionadas con la peatonalización de espacios tienden a crear entornos más saludables por la ausencia de los humos y ruidos procedentes del tráfico. Además, se crea un entorno que facilite las relaciones sociales y la práctica de la actividad física suave. También puede permitir el aumento paralelo de las zonas verdes, lo que mejora la percepción del entorno. En todo caso, por los mismos motivos que se expusieron en el apartado anterior, se entiende que los impactos no van a ser significativos.

Accidentabilidad por tráfico

Algunas de las medidas previstas para reducir las emisiones de partículas en las obras de construcción y demolición hacen referencia a la necesidad de regar las vías de comunicación por las que se transportan los residuos para evitar la resuspensión del polvo. Si este riego se hiciese de manera inadecuada, el riesgo de accidentabilidad podría incrementarse, en particular para los vehículos más ligeros.

Por otro lado, la construcción de algunas infraestructuras de tipo ferroviario podría conllevar, además de las ventajas comentadas en puntos anteriores, beneficios adicionales en cuanto a la reducción de accidentes. Los descensos en los niveles de tráfico, de conseguirse, y la implantación de planes de movilidad en empresas también llevarían aparejados posiblemente una reducción de los índices de accidentabilidad (tanto laboral como *in itinere*).

La probabilidad e intensidad de estas medidas se consideran bajas, lo que implica que los impactos sobre el determinante se consideren no significativos.

Riqueza paisajística

Por último, la mejora global del medio ambiente debería implicar un aumento de la riqueza paisajística que podría repercutir, asimismo, de forma positiva sobre la percepción que los ciudadanos tienen de su entorno e incrementa su autoestima y bienestar. Si bien se estima que los impactos sobre este determinante tienen una probabilidad e intensidad bajas, por lo que no se consideran significativos.

4.3.4. Análisis de medidas y lista de chequeo de impactos sobre determinantes

Lista de chequeo (impactos en los determinantes)

Principales medidas del Plan (o grupos de medidas) relacionadas	DETERMINANTE DE SALUD AFECTADO	PROBABILIDAD (Alta/Media/Baja)	INTENSIDAD (Alta/Media/Baja)	PERMANENCIA (Alta/Media/Baja)	GLOBAL ¿Significativo?:
<i>Factores ambientales</i>					
• Todas las medidas del PMCA	Aire Ambiente	ALTA	ALTA	ALTA	SI
• Mejora infraestructuras viaria	Ruido y vibraciones	MEDIA	MEDIA	BAJA	NO
• Reducción del volumen de tráfico					
• Control emisiones instalaciones industriales	Aguas superficiales	BAJA	BAJA	MEDIA	NO
• Medidas de eficiencia energética					
• Sustitución fuel-oil barcos					
• Mejora infraestructuras (incluyendo secundarias)	Suelos	BAJA	BAJA	ALTA	NO
• Compactado de caminos y riego periódico	Agentes biológicos	BAJA	BAJA	BAJA	NO
<i>Factores socioeconómicos y convivencia social</i>					
• Mejora infraestructuras	Empleo local y desarrollo económico	ALTA	MEDIA	MEDIA	SI
• Carril bici					
• Mejora de infraestructuras	Accesibilidad a servicios públicos	MEDIA	BAJA	BAJA	NO
• Fomento del transporte público					

Principales medidas del Plan (o grupos de medidas) relacionadas	DETERMINANTE DE SALUD AFECTADO	PROBABILIDAD (Alta/Media/Baja)	INTENSIDAD (Alta/Media/Baja)	PERMANENCIA (Alta/Media/Baja)	GLOBAL ¿Significativo?:
<ul style="list-style-type: none"> Sector industrial Reducción del volumen de tráfico Prevención 	Personas en riesgo de exclusión y desarraigo social	BAJA	BAJA	MEDIA	NO
Otros factores					
<ul style="list-style-type: none"> Fomento del transporte público y compartido Fomento del transporte no motorizado Planes de Movilidad Sostenible 	Actividad física	BAJA	MEDIA	MEDIA	NO
<ul style="list-style-type: none"> Fomento del transporte no motorizado Reducción del volumen de tráfico 	Espacios de convivencia	BAJA	BAJA	BAJA	NO
<ul style="list-style-type: none"> Fomento transporte público y compartido Fomento del transporte no motorizado Mejora infraestructuras 	Accidentabilidad por tráfico	BAJA	BAJA	BAJA	NO
<ul style="list-style-type: none"> Control emisiones Eficiencia energética Reducción del volumen de tráfico 	Riqueza paisajística	BAJA	BAJA	BAJA	NO

Tabla 14. Medidas del PMCA, determinantes afectados y valoración cualitativa de la relevancia de los impactos sobre los determinantes de salud.

4.4. Análisis preliminar

El análisis preliminar sobre la salud consiste, básicamente, en evaluar de manera cualitativa los impactos que podrían causar sobre la salud las modificaciones que el Plan introduce en los determinantes de salud. El análisis parte de los determinantes que se hayan seleccionado en la fase anterior, es decir, aquellos en los que las medidas del Plan puedan generar impactos significativos. Estos determinantes fueron “Aire ambiente” (que subdividimos en dos áreas: partículas en suspensión y otros contaminantes), y “Empleo y desarrollo económico”.

No podemos olvidar tampoco el determinante “Personas en riesgo de exclusión y desarraigo social” pero lo evaluaremos de un modo diferente al resto. En concreto, lo tendremos en cuenta cuando llevemos a cabo la evaluación de factores de población en el análisis preliminar de los otros determinantes, concretamente al evaluar cómo afectan los cambios que se producen en estos determinantes (como consecuencia de la implementación de las medidas del PMCA) en los grupos vulnerables, así como las inequidades potenciales en la distribución de impactos.

4.4.1. Aire ambiente (partículas en suspensión)

Se estima que la ejecución de las medidas del PMCA provocará una mejora cuantificable de la calidad del aire, principalmente en los niveles de material particulado atmosférico. Teniendo en cuenta la intensidad máxima de los impactos en la salud del aire ambiente y su nivel de certidumbre, así como la existencia de medidas de promoción de estos impactos (de hecho, el Plan propone un número de ellas), los factores propios del Plan se consideran todos ALTOS.

En cuanto a los factores propios del entorno, la población total es ALTA, de acuerdo con los estándares del Manual de proyectos. Además, existen grupos vulnerables, inequidades en la distribución (distintos valores de exposición) y preocupación ciudadana.

4.4.2. Aire ambiente (otros contaminantes)

La implementación de las medidas no sólo reducirá los niveles de partículas, sino también de los de otros contaminantes, principalmente los óxidos de azufre, pero también los óxidos nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles no metánicos. Una reducción en los niveles de estos dos últimos muy probablemente también originará un descenso de los niveles de O₃ troposférico (aunque esto depende también de otros factores).

El análisis cualitativo de los posibles impactos producidos por estos tres contaminantes se hará considerando principalmente los valores legales (RD 102/2011) y guías de calidad del aire de la OMS⁵⁸. Centrándonos en estas tres sustancias, los efectos por exposición a O₃, SO₂ y NO₂ son bien conocidos, por lo que el nivel de certidumbre en todos ellos es ALTO. El resto de los factores a evaluar dependerán de las circunstancias específicas de cada contaminante, y se valorarán seguidamente.

El efecto potencial depende de las concentraciones que se hayan alcanzado en el periodo de estudio. En los tres contaminantes, los efectos sobre la salud comienzan a producirse a partir de un umbral de concentración, es decir, que por debajo de ese nivel de exposición determinado no se espera que aparezca ningún efecto. En el caso concreto del O₃, no se dispone de pruebas claras de un umbral concreto, puesto que hay una variación individual considerable en la respuesta (en cualquier caso, la OMS señala un valor guía de 100 µg/m³ como un valor que proporciona una protección adecuada de la salud pública).

En el PMCA, tan solo el SO₂ tiene medidas de reducción específicas en el Plan, las orientadas al tráfico marítimo. Estas medidas, aunque de manera global son positivas, bajo ciertos condicionantes podrían tener el riesgo de introducir alguna desigualdad en la población. Esto es debido a que el empleo de electricidad (con un efecto global de reducción de contaminantes) provocará probablemente un aumento de las emisiones en el entorno de las centrales, lo que podría suponer un impacto negativo en la población que vive más cerca de las centrales de producción de energía eléctrica.

En todo caso, se estima que este aumento de emisiones es despreciable frente al total, y que el factor “medidas de protección o promoción” podría clasificarse como ALTO, al tener el Plan dos medidas específicas y hacerse eco de los resultados obtenidos por aplicación de las medidas contenidas en el Plan de Acción Medioambiental para el Campo de Gibraltar (Orden de 15 de septiembre de 2005).

Por otro lado, los valores registrados en el periodo de estudio del dióxido de azufre en la Zona Industrial Bahía de Algeciras superaron en una de las estaciones de la RVCCA (Guadarranque) los valores límites legales, que son:

- Valor límite horario: 350 µg/m³, que podrá superarse hasta 24 veces al año (en Guadarranque se superó 39 veces en 2005).
- Valor límite diario: 125 µg/m³, que podrá superarse hasta 3 veces al año (en Guadarranque se superó 5 veces en 2005 y en 2006).

Estas superaciones llevaron a la aprobación del mencionado Plan de Acción Medioambiental, lo que dio lugar a partir de 2006 a una mejora considerable en la calidad del

aire, en lo referente a los óxidos de azufre. A pesar de esto, las superaciones de los valores implican situaciones de riesgo (puntuales) para la salud en esa zona afectada, sobre todo en 2005, reforzado además por el hecho que el valor guía diario para la OMS es mucho más bajo ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). El efecto potencial podría clasificarse como MEDIO.

Esta situación afecta a una población muy concreta, la de la pedanía de Guadarranque, perteneciente a San Roque (129 habitantes en 2017), sin que tenga la consideración de zona desfavorecida. Así, los factores propios del proyecto podrían clasificarse como BAJO exceptuando la preocupación de la ciudadanía, que se considera ALTO en los episodios de superaciones del dióxido de azufre.

Con relación a los niveles de O_3 y dióxido de nitrógeno, el PMCA indica que, en determinadas circunstancias, la reducción de niveles de partículas lleva asociada una disminución de las emisiones de óxidos de nitrógeno que, a su vez, puede suponer un aumento de los niveles de O_3 (en lo que se conoce como *efecto fin de semana*).

Así, se ha realizado (según el PMCA) un estudio para determinar la situación en la que se encuentra esta zona, obteniéndose como resultado que una reducción de las emisiones del tráfico se traduce en una reducción efectiva de los niveles de todos los contaminantes primarios, sin que ello suponga un aumento significativo de los niveles de O_3 .

En cuanto a los NO_x , concretamente, se observa que no llega a superarse en ningún caso el valor límite anual (que coincide con el valor guía de la OMS) en el periodo de estudio, aunque en la zona de Algeciras se constatan situaciones puntuales de riesgo, pues se ha superado el valor límite horario para la protección de la salud humana ocasionalmente, sobre todo en el año 2008 (11 superaciones). Este número de superaciones es inferior al valor máximo que señala la norma (18 al año), pero la OMS con un valor guía idéntico al valor límite normativo (media horaria máxima de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) no estipula un número máximo de superaciones, sino que considera a este valor como el valor umbral a partir del cual puede comenzar a producirse efectos nocivos en salud. Por lo que el efecto potencial podría clasificarse como MEDIO. Asimismo, al ser situaciones puntuales y no afectar a toda la zona de estudio, los factores propios del entorno se consideran en general BAJOS o MEDIOS

De acuerdo con la metodología empleada, se realizará una valoración de la relevancia de los impactos del determinante aire ambiente, por exposición a dióxido de azufre (ver la Tabla 15 con la Lista de Chequeo).

4.4.3. Empleo y desarrollo económico

El aumento de empleo provoca un aumento de los ingresos e incluso del nivel de satisfacción personal en su conjunto, lo que se ha relacionado tradicionalmente con una mejora indirecta en los niveles de salud ^{206,207}, por lo que se considera un efecto potencial MEDIO. No obstante, dadas las complejas interrelaciones de este determinante intermedio de salud, podríamos considerar el nivel de certidumbre como MEDIO, y al no explicitarse ninguna medida en el Plan que impacte directamente sobre él, las medidas tendrán un valor MEDIO.

Los factores del entorno, en lo que respecta a este determinante, presentan normalmente valores BAJOS, pues la población que va a ser empleada como consecuencia de la ejecución de las medidas, comparada con el total, es pequeña. Tampoco se menciona nada en el PMCA sobre si va a afectar a algún grupo concreto, y no se estima que la formulación del Plan haya generado preocupación ciudadana en lo referente al empleo.

4.4.4. Lista de chequeo (análisis preliminar de los impactos en salud)

A continuación se inserta la lista de chequeo utilizada para el análisis preliminar de los impactos en salud, de acuerdo con lo expuesto anteriormente. Es un análisis cualitativo en el que cada factor se valora como bajo, medio o alto, que lleva a una decisión sobre la relevancia del impacto en la salud, como se explicó en el capítulo 3. En caso de duda sobre si el impacto sobre la salud causado por el determinante es significativo o no, se deberá escoger continuar con el análisis del determinante.

Lista de chequeo de la valoración preliminar de impactos en salud

Agrupaciones de determinantes y áreas asociadas	FACTORES PROPIOS PROYECTO				FACTORES PROPIOS DEL ENTORNO					IMPACTO GLOBAL
	Impacto Potencial	Certidumbre	Medidas	DICTAMEN	Población Total	Grupos Vulnerables	Inequidades en distribución	Preocupación ciudadana	DICTAMEN	
FACTORES AMBIENTALES										
<i>Aire ambiente (PM10 y PM2,5)</i>	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	SIGNIFICATIVO
<i>Aire ambiente (NO₂ y O₃)</i>	MEDIO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BAJO	MEDIO	BAJO	MEDIO	NO SIGNIFICAT.
<i>Aire ambiente (SO₂)</i>	MEDIO	ALTO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	ALTO	ALTO	SIGNIFICATIVO
FACTORES SOCIOECONÓM. Y CONVIVENCIA SOCIAL										
<i>Empleo y desarrollo económico</i>	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	MEDIO	NO SIGNIFICAT.
OTROS FACTORES										
-										-

Tabla 15. Análisis preliminar de los impactos en salud.

4.5. Relevancia de los impactos

La siguiente fase consiste en un análisis semicuantitativo de los impactos en salud de los determinantes a través del uso de valores o estándares de comparación, con objeto de facilitar la decisión de efectuar (o no) un análisis en profundidad.

En este sentido, se considera que los valores de dióxido de azufre han supuesto situaciones puntuales de riesgo en una población pequeña cercana al entorno industrial, pero cuyas causas (y medidas para evitarlas) están perfectamente identificadas. Ésto, unido a que en general los niveles de SO₂ en el ámbito de actuación del PMCA están muy por debajo de los estándares de comparación (como el valor límite legal o el valor guía anual de la OMS), hace que no se considere necesario realizar un análisis en profundidad de los niveles de dióxido de azufre.

En cuanto a las partículas, podemos utilizar indicadores que comparen los niveles de PM10 en la zona con los valores propuestos por la OMS, tanto anuales como diarios, de modo que, si el indicador fuese mayor que uno, procedería la realización de un análisis en profundidad:

$$\text{Indicador anual} = \frac{\text{PM10 en cada municipio y año } (\mu\text{g}/\text{m}^3)}{20 \mu\text{g}/\text{m}^3}$$

$$\text{Indicador diario} = \frac{\text{Valor diario PM10 en cada municipio } (\mu\text{g}/\text{m}^3)}{50 \mu\text{g}/\text{m}^3}$$

Si escogemos el indicador anual, por ejemplo, y utilizamos los valores de PM10 para cada municipio y año de la Tabla 16, vemos que todos los valores del indicador anual (es decir, en todos los años y en todos los municipios) son superiores a uno. Por tanto, se va a realizar un análisis en profundidad del determinante aire ambiente, por exposición a partículas en suspensión.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<i>Algeciras</i>	1,74	1,53	1,53	1,30	1,14	1,64	1,72	1,41	1,19
<i>La línea</i>	1,90	1,92	2,09	1,82	1,48	1,59	1,67	1,45	1,45
<i>Los Barrios</i>	1,89	1,94	2,35	1,44	1,21	1,50	1,78	1,55	1,75
<i>San Roque</i>	1,74	1,71	1,68	1,45	1,21	1,20	1,29	1,14	1,06

Tabla 16. Relevancia de los impactos en salud. Indicador anual de PM10.

4.6. Análisis en profundidad

Como resultado de todas las etapas anteriores de la EIS del PMCA, hemos visto que hay un determinante de salud (“Aire Ambiente”) cuya variación, como consecuencia de la implementación de las medidas del PMCA, podría dar lugar a impactos en salud significativos. Dentro del determinante “Aire ambiente” nos hemos centrado en un área concreta: la exposición a partículas.

Además de hacer un análisis crítico de toda la información, en este apartado además vamos a generar información nueva. Utilizando la información disponible vamos a realizar tres estudios que se integrarán en el análisis en profundidad, que constará así de tres partes.

Los tres estudios se centrarán básicamente en dos aspectos de interés. Uno es la cuantificación de impactos en salud no solo mediante indicadores sanitarios, sino también mediante unidades monetarias, un aspecto muy interesante para la evaluación de políticas porque se posibilitaría su utilización en un análisis coste-beneficio. El segundo aspecto está más relacionado con la ubicación concreta de la zona industrial Bahía de Algeciras, y es la posible asociación del régimen de vientos y de las intrusiones saharianas y aspectos relativos a la salud.

Las tres partes, por tanto, del análisis en profundidad serán:

- a) Cuantificación de los impactos en salud por la implementación del plan.
- b) Estudio de la posible asociación entre el régimen de vientos y la salud.
- c) Estudio del efecto a corto plazo sobre la salud de las PM10 y la posible modificación del efecto en días con intrusión sahariana.

4.6.1. Cuantificación de los impactos en salud

La cuantificación de los impactos en salud de la implementación del plan se realizará mediante dos pasos sucesivos:

- 1) Evaluación del riesgo. Se calcularán las ganancias en salud, en términos de muertes prematuras que se evitarían en dos escenarios posibles (reducción del nivel de PM2,5 a los valores objetivo del PMCA y a los valores guía de la OMS, respectivamente) comparándolos con la *alternativa cero* (situación durante el periodo de estudio).
- 2) Valoración económica del impacto en salud. El resultado en salud calculado en la evaluación del riesgo se *monetizará* para dar un valor del impacto en salud en términos económicos.

Idealmente, el último paso del análisis en profundidad sería comparar el impacto en salud en términos económicos con los costes derivados de las medidas del PMCA (es decir, realizar un análisis coste-beneficio del PMCA en relación con las partículas). Sin embargo, como ya se mencionó anteriormente, no existe información acerca del coste de las medidas que implican la disminución de las emisiones de las partículas.

Previo a todo ello, comenzaremos con la obtención de los datos necesarios para realizar el estudio.

Obtención de datos

Datos de exposición ambiental

Las estaciones de la RVCAA pertenecientes a la Junta de Andalucía en la zona industrial de Bahía de Algeciras que estaban operativas en nuestro periodo de estudio se muestran en la Tabla 17.

MUNICIPIO	TIPO ÁREA	ESTACIÓN	TIPO ESTACIÓN
<i>Algeciras</i>	Urbana	E4:RINCONCILLO	Industrial
	Urbana	ALGECIRAS EPS	Industrial
<i>La Línea de la Concepción</i>	Urbana	E7:EL ZABAL	Fondo
	Urbana	LA LINEA	Industrial
<i>Los Barrios</i>	Rural	E2:ALCORNOCALLES	Fondo
	Suburbana	LOS BARRIOS	Industrial
	Suburbana	CORTIJILLOS	Industrial
	Urbana	E1: COLEGIO LOS BARRIOS	Industrial
	Urbana	E5: PALMONES	Industrial
<i>San Roque</i>	Rural	ECONOMATO	Industrial
	Rural	MADREVIEJA	Industrial
	Suburbana	E3: COLEGIO CARTEYA	Industrial
	Suburbana	E6: ESTACION DE FFCC S. ROQUE	Industrial
	Suburbana	CAMPAMENTO	Industrial
	Suburbana	E. DE HOSTELERIA	Tráfico
	Urbana	GUADARRANQUE	Industrial
Urbana	PUENTE MAYORGA (desde 01/01/07)	Industrial	

Tabla 17. Estaciones de la RVCAA en la Zona Industrial Bahía de Algeciras.

Fuente: CMA.

Para seleccionar las estaciones elaboramos un mapa general de la zona donde podremos observar la distribución de las estaciones y de la población. Se incluye también un mapa para cada uno de los cuatro municipios que componen la Bahía de Algeciras en el Anexo 6. El número de personas residentes dentro de la celda del grid de población (celdas de 250 metros de lado) se ha representado de manera cualitativa (de rojo pálido a rojo oscuro).

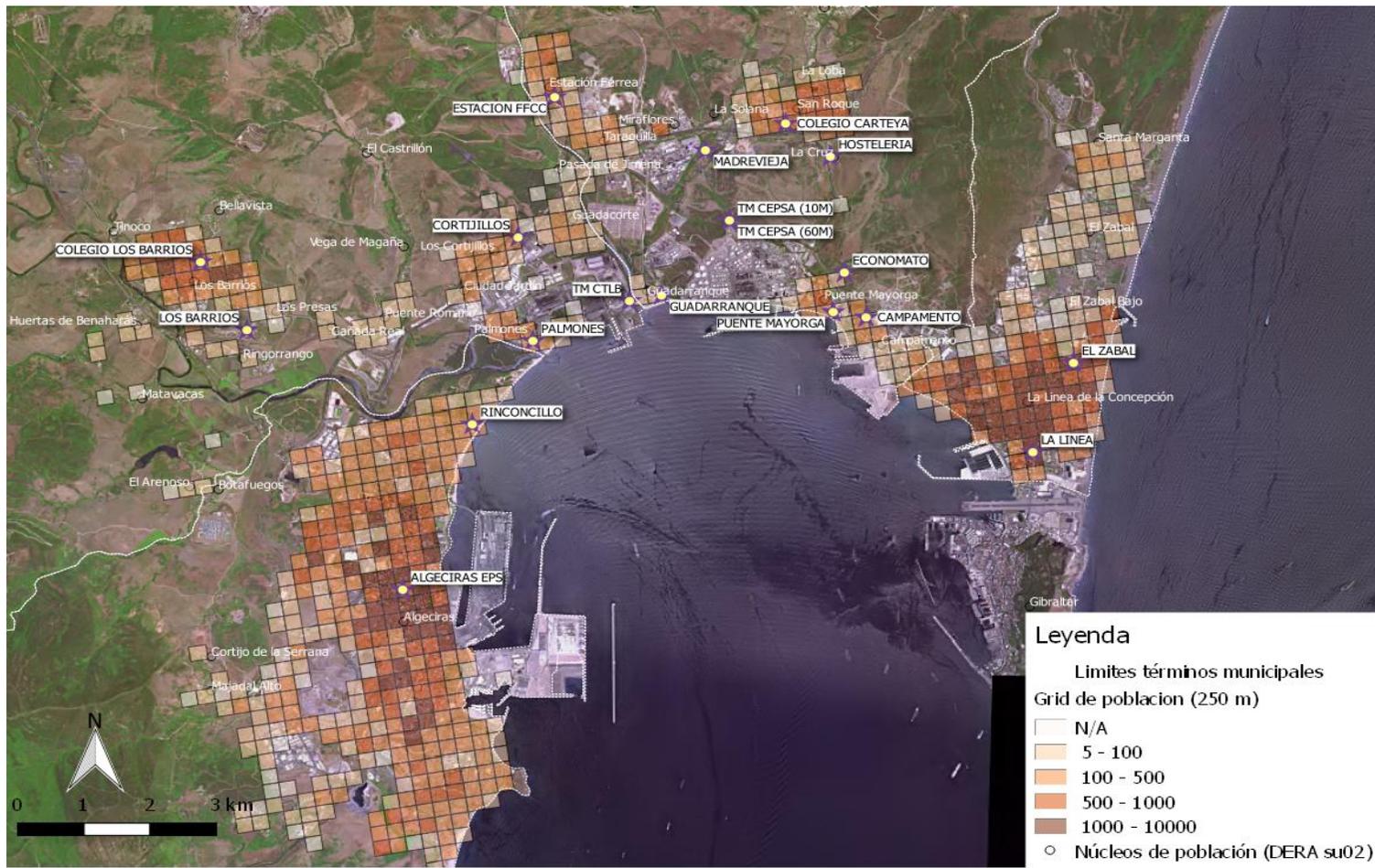


Figura 26. Vista general de la Bahía de Algeciras, escala 1:70.000
 Fuentes: elaboración propia a partir de datos de la CMA²⁰⁸ y del IECA²⁰⁹.

Las estaciones que se han seleccionado para la obtención de datos son:

- Algeciras: E4: RINCONCILLO y ALGECIRAS EPS.
- La Línea de la Concepción: E7: EL ZABAL y LA LINEA.
- Los Barrios: E1: COLEGIO LOS BARRIOS, LOS BARRIOS y E5: PALMONES.
- San Roque: E3: COLEGIO CARTEYA, E6: ESTACION DE FFCC S. ROQUE, CAMPAMENTO y PUENTE MAYORGA.

Obtención de un valor medio diario (VMD) de PM10

En tercer lugar, tenemos que calcular el valor medio diario (VMD) de PM10 en cada municipio. Comenzaremos calculando el promedio de los datos diarios válidos, decir:

$$VMD (\text{municipio}) = \frac{PM10 \text{ estación } 1 + PM10 \text{ estación } 2 + \dots + PM10 \text{ estación } n}{n}$$

También calcularemos un *índice global de exposición* que denominaremos *Bahía de Algeciras*, cuyo valor diario calcularemos efectuando la media del VMD de todos los municipios con datos válidos para ese día.

Para realizar los cálculos tendremos en cuenta una serie de condicionantes:

- El valor medio que elegiremos será el de partículas sin descontar la contribución de los aportes naturales en el valor de PM10, pues consideramos que la posibilidad de realizar este descuento no está relacionada con la evaluación de la exposición.
- Los datos de 2013 de la estación del municipio de Algeciras E4: EL RINCONCILLO los descartaremos también porque consideramos que los datos no son válidos para evaluar la exposición, debido a que ya no se realizan estudios de equivalencia entre el método de microbalanza (utilizado en esta estación) y el método de referencia (gravimétrico) ²⁰⁸.
- En el caso concreto de la evaluación de la exposición en el municipio de Los Barrios, tenemos lo siguiente:
 - 1º) Para los años de 2005 a 2011, descartaremos los datos de la estación de E1: COLEGIO LOS BARRIOS por el mismo motivo que se señaló en el punto anterior (utilización del método de microbalanza).
 - 2º) Para los años 2012 y 2013 admitiremos los datos de esta estación, a pesar de lo expuesto anteriormente, debido a la ausencia de datos válidos en 2012 y el

bajo porcentaje de datos válidos en 2013 de una estación cercana (LOS BARRIOS).

- 3º) Aplicaremos el factor de equivalencia PM_{2,5}/PM₁₀ para los datos de la estación de CORTIJILLOS, en Los Barrios, pues los datos medidos en esta estación son de PM_{2,5}. La estimación del valor de PM₁₀ en esa estación nos permitirá contar con datos para evaluar la exposición en una zona en la que no existen otras estaciones en los alrededores, aunque solo en los años en los que esta estación estuvo operativa (2007-2009 y finales de 2011-2013).
- 4º) Como conclusión de los tres puntos anteriores tenemos que la fórmula del cálculo del VMD en 2012 y 2013 no será la fórmula general, sino:

$$VMD (\text{Los Barrios}, 2012, 2013) = \frac{\frac{PM10\ LB + PM10\ E1}{2} + PM10\ E5 + \frac{PM2.5\ COR}{0,58}}{3}$$

Donde *E1*, *LB*, *E5* y *COR* denotan, respectivamente, a las estaciones E1: COLEGIO LOS BARRIOS, LOS BARRIOS, E5: PALMONES y CORTIJILLOS.

Teniendo en cuenta estos condicionantes anteriores, podemos ver en la Tabla 18 que el porcentaje de días con datos válidos oscila entre el 94.4 y el 98.9 %.

	Algeciras	La línea	Los Barrios	San Roque	Bahía de Algeciras
<i>Días válidos</i>	3104	3160	3249	3253	3284
<i>Días totales</i>	3289	3289	3289	3289	3287
<i>Porcentaje</i>	94,4%	96,1%	98,8%	98,9%	99,91%

Tabla 18. Días válidos por municipio y en la Bahía de Algeciras (2005-2013).

Si asumimos que las distintas VMD van a estar correlacionadas, en mayor o menor medida, podríamos incrementar estos porcentajes y, con ello, mejorar la evaluación de la exposición. Para ello, vamos a utilizar un *valor de sustitución* de los días no válidos de cada municipio que estime lo mejor posible cada valor perdido.

Este valor de sustitución podría ser uno de los siguientes:

- El VMD de alguno de los otros tres municipios de la Bahía de Algeciras.

- El VMD de la variable *Bahía de Algeciras* (que, al ser la media de los municipios de la Bahía de Algeciras con datos válidos, no computa en su cálculo los valores diarios del municipio con el valor perdido).

Para evaluar de un modo más realista la estimación generada en la segunda opción (VMD Bahía de Algeciras) crearemos cuatro variables que corresponden, cada una de ellas, a la media de los VMD de tres municipios (combinaciones de los cuatro municipios de la Bahía de Algeciras, tomados de tres en tres).

Denominaremos a estas variables *VMD No-Algeciras*, *VMD No-La Línea*, *VMD No-Los Barrios* y *VMD No-San Roque* (por al municipio no empleado en el cálculo de cada una de ellas). Por ejemplo:

$$VMD (no - Algeciras) = \frac{VMD La Línea + VMD Los Barrios + PM10 San Roque}{3}$$

Una vez calculados los valores de estas variables, hallaremos las correlaciones parciales de los VMD de los cuatro municipios entre sí y con cada una de las cuatro variables creadas *ad hoc*, resultando los valores que muestra la Tabla 19.

	Algeciras	La Línea	Los Barrios	San Roque	No-Algeciras	No-La Línea	No-Los Barrios	No-San Roque	Bahía Algeciras
Algeciras	1,000	0,775	0,674	0,744	0,798	0,890	0,905	0,890	0,881
La Línea	0,775	1,000	0,737	0,824	0,934	0,865	0,945	0,927	0,930
Los Barrios	0,674	0,737	1,000	0,707	0,900	0,901	0,765	0,897	0,878
San Roque	0,744	0,824	0,707	1,000	0,910	0,900	0,921	0,838	0,904
No-Algeciras	0,798	0,934	0,900	0,910	1,000	0,971	0,954	0,974	0,988
No-La Línea	0,890	0,865	0,901	0,900	0,971	1,000	0,955	0,977	0,989
No-Los Barrios	0,905	0,945	0,765	0,921	0,954	0,955	1,000	0,960	0,980
No-San Roque	0,890	0,927	0,897	0,838	0,974	0,977	0,960	1,000	0,991
Bahía Algeciras	0,881	0,930	0,878	0,904	0,988	0,989	0,980	0,991	1,000

Tabla 19. Correlaciones parciales de orden cero entre los VMD.

Nota: todas las correlaciones parciales son significativas ($p < 0,01$).

El criterio de selección para la sustitución del dato perdido será escoger aquella variable con una mayor correlación con la variable con el dato a sustituir, siempre que no incluya el valor del municipio a sustituir (por ejemplo, “no-La Línea” no sería una opción para sustituir a “Algeciras”, ya que el valor de “Algeciras” está incluido en la variable “no-La Línea”). Los valores con mayor correlación están marcados en negrita en la Tabla 19.

Tras seleccionar la *variable de sustitución*, calcularemos la recta de regresión lineal y con ella se estimará el valor perdido. Los modelos de regresión lineal simple tendrán la forma:

$$(Variable\ a\ sustituir) = \beta_0 + \beta_1 (Variable\ de\ sustitución)$$

Donde β_0 y β_1 son los parámetros de la recta (constante y coeficiente de regresión, respectivamente). A continuación comprobaremos, para cada modelo, que se cumplen los criterios de aplicación de la regresión lineal simple (normalidad, linealidad, independencia de los valores de la variable dependiente y homogeneidad de varianzas) ²¹⁰ y calcularemos los parámetros de la recta de regresión. Así, podemos ver los resultados en la Tabla 20.

	Algeciras	La Línea	Los Barrios	San Roque
<i>Variable de sustitución seleccionada</i>	No-Algeciras	No-La Línea	No-Los Barrios	No-San Roque
<i>Coeficiente de correlación</i>	0,798	0,865	0,765	0,838
<i>Constante</i>	4,149	2,244	5,137	2,205
<i>Coeficiente de regresión</i>	0,779	1,055	0,960	0,780

Tabla 20. Elementos necesarios para la construcción de la recta de sustitución de datos perdidos.

Por tanto, los datos perdidos diarios se sustituirán por el valor estimado, calculado mediante las siguientes rectas de regresión:

$$(Algeciras) = 4,149 + 0,779 (No - Algeciras)$$

$$(La Línea) = 2,244 + 1,055 (No - La Línea)$$

$$(Los Barrios) = 5,137 + 0,960 (No - Los Barrios)$$

$$(San Roque) = 2,205 + 0,780 (No - San Roque)$$

En realidad, se puede comprobar que, en los días con datos perdidos, los valores de las variables seleccionadas coinciden con los valores de la variable “Bahía de Algeciras”. Una vez sustituidos los datos perdidos, el porcentaje de días con datos válidos se incrementa en todos los municipios hasta los valores que se observan en la siguiente tabla (Tabla 21):

	Algeciras	La línea	Los Barrios	San Roque	Bahía de Algeciras
Días válidos	3277	3284	3284	3284	3284
Días totales	3287	3287	3287	3287	3287
Porcentaje	99,70%	99,91%	99,91%	99,91%	99,91%

Tabla 21. Días válidos tras la sustitución de los valores perdidos.

El cuarto paso será obtener los valores medio anuales de PM10 para cada municipio, que calcularemos sumando todos los VMD válidos de ese municipio y dividiendo el valor obtenido por el total de días de cada año con datos válidos.

Así, si N es el número de días con datos válidos en un año, el valor medio anual (VMA) de PM10 en cada municipio es:

$$VMA (\text{municipio}) = \frac{VMD (\text{día } 1) + VMD (\text{día } 2) + \dots + VMD (\text{día } N)}{N}$$

Los resultados obtenidos de los valores medios anuales en cada municipio y de la variable Bahía de Algeciras (calculados del mismo modo), junto con los estadísticos descriptivos de cada uno de ellos, pueden observarse en las siguientes tablas (Tablas 22 a 26):

Algeciras	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Media (VMA)	34,78	30,51	30,64	25,99	22,72	32,86	34,34	28,21	23,83
IC 95% (Límite inferior)	33,47	29,17	29,28	24,83	21,85	31,43	32,87	26,86	22,85
IC 95% (Límite superior)	36,08	31,86	32,01	27,14	23,59	34,30	35,81	29,56	24,80
Desviación estándar	12,58	13,078	13,23	11,23	8,46	13,95	14,29	13,13	9,37
Mínimo	0,31	7,20	12,60	10,36	4,35	9,05	9,80	7,52	4,85
Máximo	79,18	81,90	184,50	137,02	69,60	133,86	99,96	114,68	64,99

Tabla 22. Resumen de los cálculos de los VMA globales y estadísticos descriptivos en Algeciras.

La Línea	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Media (VMA)	38,02	38,45	41,77	36,47	29,60	31,77	33,38	29,03	29,04
IC 95% (Límite inferior)	36,77	37,12	39,65	34,71	28,45	30,13	31,98	27,73	27,89
IC 95% (Límite superior)	39,28	39,79	43,88	38,23	30,74	33,40	34,79	30,32	30,19
Desviación estándar	12,17	12,95	20,52	17,11	11,14	15,87	13,66	12,62	11,07
Mínimo	1,25	13,05	15,00	12,55	9,57	11,64	10,81	6,86	10,67
Máximo	83,46	95,40	287,55	219,38	93,96	177,51	120,40	73,52	97,00

Tabla 23. Resumen de los cálculos de los VMA globales y estadísticos descriptivos en La Línea.

Los Barrios	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<i>Media (VMA)</i>	37,81	38,87	46,99	28,83	24,27	29,97	35,68	30,94	34,93
<i>IC 95% (Límite inferior)</i>	36,41	37,45	44,35	27,50	23,21	28,74	34,35	29,83	33,69
<i>IC 95% (Límite superior)</i>	39,21	40,28	49,62	30,17	25,33	31,19	37,00	32,06	36,16
<i>Desviación estándar</i>	13,53	13,73	25,55	13,00	10,27	11,92	12,89	10,87	11,89
<i>Mínimo</i>	1,25	13,50	2,70	7,52	4,53	7,76	9,31	8,46	10,67
<i>Máximo</i>	102,72	101,25	353,05	123,45	66,12	123,68	78,85	78,83	85,10

Tabla 24. Resumen de los cálculos de los VMA globales y estadísticos descriptivos en Los Barrios.

San Roque	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<i>Media (VMA)</i>	34,80	34,15	33,50	28,99	24,28	24,06	25,85	22,74	21,15
<i>IC 95% (Límite inferior)</i>	33,58	32,87	32,04	27,52	23,17	22,95	24,91	21,78	20,32
<i>IC 95% (Límite superior)</i>	36,02	35,42	34,96	30,45	25,39	25,16	26,79	23,70	21,99
<i>Desviación estándar</i>	11,82	12,36	14,16	14,25	10,79	10,72	9,14	9,36	8,05
<i>Mínimo</i>	1,25	12,60	12,60	9,67	6,09	5,82	9,31	6,89	5,34
<i>Máximo</i>	77,04	84,60	174,04	155,08	95,70	116,40	61,74	68,11	53,21

Tabla 25. Resumen de los cálculos de los VMA globales y estadísticos descriptivos en San Roque.

Bahía Algeciras	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<i>Media (VMA)</i>	36,35	35,49	38,23	30,07	25,22	29,66	32,31	27,73	27,24
<i>IC 95% (Límite inferior)</i>	35,29	34,27	36,46	28,71	24,31	28,41	31,14	26,61	26,25
<i>IC 95% (Límite superior)</i>	37,42	36,72	39,99	31,43	26,13	30,91	33,48	28,84	28,23
<i>Desviación estándar</i>	9,55	11,88	17,15	13,22	8,87	12,12	11,34	10,85	9,55
<i>Mínimo</i>	9,43	13,61	15,00	10,57	8,08	9,05	11,09	9,48	9,43
<i>Máximo</i>	75,08	77,96	249,79	158,73	58,27	137,86	75,93	82,74	75,08

Tabla 26. Resumen de los cálculos de los VMA globales y estadísticos descriptivos de la variable Bahía Algeciras.

De las tablas anteriores podemos extraer el valor que PM10 en cada año y municipio, que es realmente el valor que utilizaremos para estimar el valor de PM2,5 (Tabla 27).

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<i>Algeciras</i>	34,78	30,51	30,64	25,99	22,72	32,86	34,34	28,21	23,83
<i>La línea</i>	38,02	38,45	41,77	36,47	29,60	31,77	33,38	29,03	29,04
<i>Los Barrios</i>	37,81	38,87	46,99	28,83	24,27	29,97	35,68	30,94	34,93

San Roque	34,80	34,15	33,50	28,99	24,28	24,06	25,85	22,74	21,15
-----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabla 27. Valores medios anuales de PM10 por municipio y año.

El último paso es aplicar el factor de corrección para la Bahía de Algeciras que se mencionó anteriormente ($PM_{2,5} = 0,58 * PM_{10}$) para obtener los VMA de $PM_{2,5}$, por municipio y año. Los resultados se muestran en la Tabla 28.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Algeciras	20,2	17,7	17,8	15,1	13,2	19,1	19,9	16,4	13,8
La línea	22,1	22,3	24,2	21,2	17,2	18,4	19,4	16,8	16,8
Los Barrios	21,9	22,5	27,3	16,7	14,1	17,4	20,7	17,9	20,3
San Roque	20,2	19,8	19,4	16,8	14,1	14,0	15,0	13,2	12,3

Tabla 28. Valores medios anuales de $PM_{2,5}$ por municipio y año.

Asimismo, se ha incluido una gráfica con la serie temporal de $PM_{2,5}$ en el periodo 2005-2013 en los cuatro municipios. Observando esta gráfica resulta fácil comprobar que el valor medio más alto de todos es el de Los Barrios (2007) y que la tendencia general es a la baja, con un ligero repunte en los años 2010 y 2011.

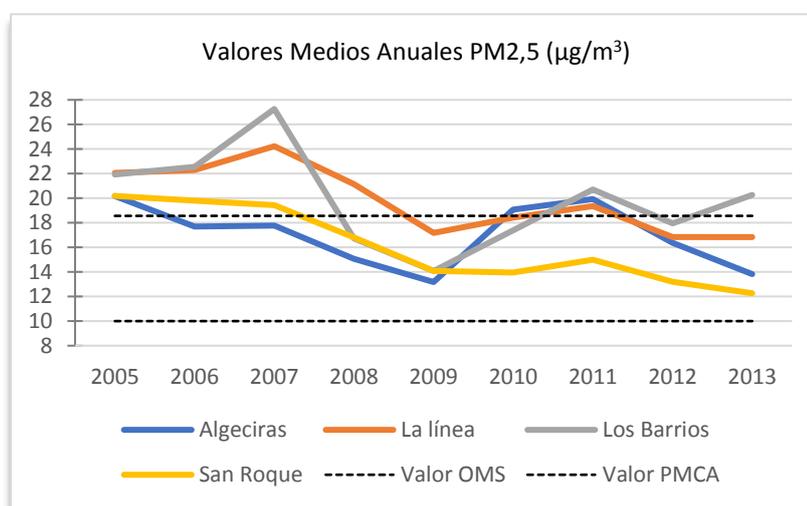


Figura 27. Evolución de los Valores medios anuales de partículas finas por municipio durante el periodo 2005-2013.

Datos de población: Número de personas expuestas

Podemos observar las cifras de población por municipio, año y grupo de edad en la Tabla 29.

AÑO	EDAD (AÑOS)	ALGECIRAS	LOS BARRIOS	LA LÍNEA DE LA CONCEPCIÓN	SAN ROQUE	BAHÍA DE ALGECIRAS
2005	≥ 25	82.769,0	15.936,0	45.520,5	20.905,0	165.130,5
2005	≥ 30	75.535,5	14.468,0	41.373,5	19.000,0	150.377,0
2006	≥ 25	82.433,5	15.949,5	46.025,5	21.266,0	165.674,5
2006	≥ 30	74.873,0	14.453,5	41.800,0	19.246,5	150.373,0
2007	≥ 25	83.352,5	15.867,0	46.504,5	21.398,5	167.122,5
2007	≥ 30	74.757,0	14.318,5	42.072,0	19.273,0	150.420,5
2008	≥ 25	82.702,5	15.609,5	46.218,0	20.980,5	165.510,5
2008	≥ 30	73.656,5	13.990,5	41.572,5	18.802,0	148.021,5
2009	≥ 25	81.689,0	15.384,0	45.836,5	20.640,0	163.549,5
2009	≥ 30	72.256,5	13.653,0	41.016,5	18.385,0	145.311,0
2010	≥ 25	80.814,5	15.105,5	45.476,5	20.243,5	161.640,0
2010	≥ 30	71.004,5	13.287,0	40.513,0	17.901,0	142.705,5
2011	≥ 25	79.667,5	14.698,5	44.960,5	19.564,0	158.890,5
2011	≥ 30	69.629,0	12.825,5	39.880,5	17.187,0	139.522,0
2012	≥ 25	78.331,0	14.204,0	44.257,5	18.743,5	155.536,0
2012	≥ 30	68.143,5	12.305,5	39.111,5	16.380,5	135.941,0
2013	≥ 25	76.863,5	13.624,5	43.594,0	17.936,0	152.018,0
2013	≥ 30	66.621,0	11.731,5	38.382,0	15.594,0	132.328,5

Tabla 29. Población total y por municipio, por año y edad, en la Bahía de Algeciras (periodo 2005-2013).

Datos sanitarios: Mortalidad anual

Las tasas de mortalidad específica por municipio, año y grupo de edad pueden observarse en la Tabla 30 (puede consultarse el script de R usado para el cálculo en el Anexo 5).

Municipio	Tasas de Mortalidad Específica	ICD-10	Edad (≥)	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Algeciras	<i>No externas</i>	A00-R99	30	1141,7	1130,6	1274,1	1135,4	1151,9	1233,7	1256,5	1385,1	1242,5
	<i>Cáncer de pulmón</i>	C33-C34	30	88,2	81,3	82,8	67,7	71	81,7	77,8	95,7	79,4
	<i>Enfermedad isquémica cardíaca</i>	I20-I25	25	165,5	134,7	124,8	133	128,5	112,6	125,5	123,8	111,9
	<i>Enfermedad cerebrovascular</i>	I61-I69	25	1,2	2,4	3,6	4,8	6,1	7,4	8,8	10,2	11,7
	<i>EPOC</i>	J40-J44, J47	30	58	57	50,4	30,2	34,3	52	43,9	52,3	46,8
Los Barrios	<i>No externas</i>	A00-R99	30	449,3	470,5	551,7	686,2	637,2	692,4	600,4	633,9	954,7
	<i>Cáncer de pulmón</i>	C33-C34	30	13,8	6,9	7	14,3	22	15,1	0	24,4	17
	<i>Enfermedad isquémica cardíaca</i>	I20-I25	25	87,9	119,1	107,1	179,4	182	218,5	142,9	70,4	154,1
	<i>Enfermedad cerebrovascular</i>	I61-I69	25	31,4	25,1	18,9	32	65	33,1	27,2	21,1	80,7
	<i>EPOC</i>	J40-J44, J47	30	13,8	6,9	21	0	14,6	0	7,8	16,3	17
La Línea de la Concepción	<i>No externas</i>	A00-R99	30	4644,7	3763,8	4337	4596	4233,5	4003,9	4319,5	4778,4	5523,6
	<i>Cáncer de pulmón</i>	C33-C34	30	200,4	186,8	188,6	257,3	197,8	225,8	249,5	211,3	400,6
	<i>Enfermedad isquémica cardíaca</i>	I20-I25	25	577,3	495,3	542	506,1	448,5	377,3	530,7	380,2	550,5
	<i>Enfermedad cerebrovascular</i>	I61-I69	25	338,9	357,4	403,4	429,2	429	211,8	313	330,9	433
	<i>EPOC</i>	J40-J44, J47	30	193,5	186,8	174,6	178,7	190,4	158	218,3	260	247,2
San Roque	<i>No externas</i>	A00-R99	30	594,4	588,1	642,5	636,1	578,6	707,5	670,5	715,1	784,2
	<i>Cáncer de pulmón</i>	C33-C34	30	20,7	41,5	21	57,2	36,6	45,2	46,8	24,4	25,6
	<i>Enfermedad isquémica cardíaca</i>	I20-I25	25	87,9	87,8	138,7	70,5	84,5	99,3	108,9	98,6	73,4
	<i>Enfermedad cerebrovascular</i>	I61-I69	25	43,9	31,3	50,4	38,4	26	46,3	54,4	63,4	73,4
	<i>EPOC</i>	J40-J44, J47	30	20,7	13,8	14	7,1	29,3	22,6	7,8	32,5	25,6

Tabla 30. TME por municipio, por año y edad, en la Bahía de Algeciras (periodo 2005-2013).

Evaluación del riesgo

Las Tablas 31 a 34 muestran los resultados de la ERS-CA, es decir, las ganancias en salud en términos de muertes prematuras evitables en general y por causas específicas. La información mostrada en las mismas es la siguiente:

- Unidades: PA (Proporción atribuible estimada, en tanto por ciento), N (Casos atribuibles), $N/10^5$ (Casos atribuibles por cada 100.000 personas en riesgo).
- Expresión de los resultados: se expresa el valor medio (Central) y el intervalo de confianza, concretamente su extremo inferior (Inf) y superior (Sup), con un nivel de confianza del 95%.
- Escenarios de contraste:
 - E1: Escenario 1. Objetivo PMCA: $PM_{2,5} = 18,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El término NA significa “No aplicable” debido a que en los años en cuestión ya se ha alcanzado nivel de $PM_{2,5}$ correspondiente al E1.
 - E2: Escenario 2: Objetivo OMS: $PM_{2,5} = 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Causas: No externas. Las causas siguientes: enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), cáncer de pulmón, isquemia (IHD) y accidente cerebrovascular (ACV) se incluyen a efectos informativos, correspondiendo a muertes prematuras evitables si se alcanzase el E2 (nótese que las muertes por estas causas ya están incluidas en los resultados de las causas no externas- E2).

ALGECIRAS		Año	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
		PM2,5	20,2	17,7	17,8	15,1	13,2	19,1	19,9	16,4	13,8
No externas (E1)	PA	Central	1,0%	NA	NA	NA	NA	0,30%	0,81%	NA	NA
	PA	Inf.	0,6%	NA	NA	NA	NA	0,20%	0,53%	NA	NA
	PA	Sup.	1,3%	NA	NA	NA	NA	0,40%	1,08%	NA	NA
	N	Central	8	NA	NA	NA	NA	3	7	NA	NA
	N	Inf.	5	NA	NA	NA	NA	2	5	NA	NA
	N	Sup.	11	NA	NA	NA	NA	3	9	NA	NA
	N/exp5	Central	11	NA	NA	NA	NA	4	10	NA	NA
	N/exp5	Inf.	7	NA	NA	NA	NA	2	7	NA	NA
	N/exp5	Sup.	15	NA	NA	NA	NA	5	14	NA	NA
No externas (E2)	PA	Central	5,9%	4,5%	4,6%	3,0%	1,9%	5,30%	5,79%	3,75%	2,27%
	PA	Inf.	3,9%	3,0%	3,0%	2,0%	1,2%	3,49%	3,81%	2,46%	1,49%
	PA	Sup.	7,8%	6,0%	6,0%	4,0%	2,5%	6,97%	7,60%	4,95%	3%
	N	Central	51	38	44	25	16	46	51	35	19
	N	Inf.	34	25	29	16	10	31	33	23	12
	N	Sup.	67	50	57	33	21	61	67	47	25
	N/exp5	Central	68	51	58	34	22	65	73	52	28
	N/exp5	Inf.	45	34	38	22	14	43	48	34	18
	N/exp5	Sup.	89	67	77	45	29	86	96	69	37
EPOC	PA	Central	15,0%	13,1%	13,2%	10,6%	8,4%	14,20%	14,84%	11,91%	9,20%
	PA	Inf.	6,4%	5,1%	5,1%	3,7%	2,4%	5,79%	6,30%	4,44%	2,81%
	PA	Sup.	25,3%	22,8%	22,9%	19,5%	16,3%	24,27%	25,11%	21,22%	17,50%
	N	Central	7	6	5	2	2	5	5	4	3
	N	Inf.	3	2	2	1	1	2	2	2	1
	N	Sup.	11	10	9	4	4	9	8	8	5
	N/exp5	Central	9	7	7	3	3	7	7	6	4
	N/exp5	Inf.	4	3	3	1	1	3	3	2	1
	N/exp5	Sup.	15	13	12	6	6	13	11	11	8
Cáncer pulmón	PA	Central	8,7%	7,2%	7,2%	5,3%	3,8%	8,06%	8,59%	9,89%	4,34%
	PA	Inf.	4,4%	3,5%	3,5%	2,4%	1,6%	4%	4,32%	5,08%	1,90%
	PA	Sup.	14,1%	11,9%	12,0%	9,2%	6,9%	13,15%	13,86%	15,75%	7,71%
	N	Central	6	4	4	3	2	5	5	6	2
	N	Inf.	3	2	2	1	1	2	2	3	1
	N	Sup.	9	7	7	5	4	8	8	10	4
	N/exp5	Central	8	6	6	4	3	7	7	9	3
	N/exp5	Inf.	4	3	3	2	1	3	3	5	2
	N/exp5	Sup.	12	10	10	6	5	11	11	15	6
Isquemia- IHD	PA	Central	26,7%	24,8%	29,1%	27,3%	19,0%	25,96%	26,64%	28,18%	20,11%
	PA	Inf.	12,6%	11,1%	14,1%	12,7%	7,2%	11,97%	12,46%	13,40%	7,90%
	PA	Sup.	39,9%	37,8%	42,2%	40,6%	32,0%	39,04%	39,71%	41,38%	33,33%
	N	Central	37	27	30	30	20	24	27	27	17
	N	Inf.	17	12	15	14	8	11	12	13	7
	N	Sup.	55	42	44	45	34	36	40	40	29
	N/exp5	Central	44	33	36	36	24	29	33	35	23
	N/exp5	Inf.	21	15	18	17	9	13	16	17	9
	N/exp5	Sup.	66	51	53	54	41	44	50	51	37
ACV	PA	Central	19,1%	21,1%	17,3%	14,8%	12,4%	18,30%	18,92%	16,05%	13,25%
	PA	Inf.	5,6%	7,2%	4,5%	3,1%	2,0%	5,08%	5,48%	3,76%	2,44%
	PA	Sup.	33,5%	35,4%	31,7%	29,0%	25,9%	32,77%	33,37%	30,38%	27,06%
	N	Central	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	N	Inf.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	N	Sup.	0	1	1	1	1	2	2	2	2
	N/exp5	Central	0	1	1	1	1	1	2	2	2
	N/exp5	Inf.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	N/exp5	Sup.	0	1	1	1	2	2	3	3	3

Tabla 31. Muertes prematuras evitables durante el periodo de estudio en Algeciras.

LOS BARRIOS		Año	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
		PM2,5	21,9	22,5	27,3	16,7	14,1	17,4	20,7	17,9	20,2
No externas (E1)	PA	Central	2.01%	2.37%	5.1%	NA	NA	NA	1.28%	NA	1.02%
	PA	Inf.	1.31%	1.55%	3.35%	NA	NA	NA	0.83%	NA	0.66%
	PA	Sup.	2.65%	3.13%	6.7%	NA	NA	NA	1.69%	NA	1.35%
	N	Central	1	2	4	NA	NA	NA	1	NA	1
	N	Inf.	1	1	3	NA	NA	NA	1	NA	1
	N	Sup.	2	2	5	NA	NA	NA	1	NA	2
	N/exp5	Central	9	11	28	NA	NA	NA	8	NA	10
	N/exp5	Inf.	6	7	18	NA	NA	NA	5	NA	6
	N/exp5	Sup.	12	15	37	NA	NA	NA	10	NA	13
No externas (E2)	PA	Central	6.92%	7.27%	9.86%	3.96%	2.42%	4.34%	6.23%	4.67%	5.98%
	PA	Inf.	4.57%	4.8%	6.54%	2.6%	1.59%	2.85%	4.11%	3.07%	3.94%
	PA	Sup.	9.07%	9.52%	12.85%	5.22%	3.2%	5.72%	8.17%	6.14%	7.85%
	N	Central	5	5	8	4	2	4	5	4	7
	N	Inf.	3	3	5	2	1	3	3	2	4
	N	Sup.	6	6	10	5	3	5	6	5	9
	N/exp5	Central	31	34	54	27	15	30	37	30	57
	N/exp5	Inf.	21	23	36	18	10	20	25	19	38
	N/exp5	Sup.	41	45	71	36	20	40	49	39	75
EPOC	PA	Central	16.23%	16.62%	19.33%	12.24%	9.52%	12.83%	15.39%	13.31%	15.08%
	PA	Inf.	7.35%	7.58%	9.77%	4.62%	2.99%	4.95%	6.7%	5.23%	6.48%
	PA	Sup.	26.87%	27.36%	30.47%	21.67%	17.95%	22.45%	25.81%	23.08%	25.42%
	N	Central	0	0	1	0	0	0	0	0	2
	N	Inf.	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	N	Sup.	1	0	1	0	0	0	0	0	3
	N/exp5	Central	2	1	4	0	1	0	1	2	3
	N/exp5	Inf.	1	1	2	0	0	0	1	1	1
	N/exp5	Sup.	4	2	6	0	3	0	2	4	4
Cáncer pulmón	PA	Central	9.76%	10.1%	12.54%	6.53%	4.55%	6.98%	9.05%	10.76%	8.79%
	PA	Inf.	5.06%	5.28%	6.88%	3.1%	2.01%	3.36%	4.61%	5.63%	4.45%
	PA	Sup.	15.42%	15.86%	19.02%	11.0%	8.04%	11.64%	14.48%	16.87%	14.14%
	N	Central	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	N	Inf.	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	N	Sup.	0	0	0	0	0	0	0	1	2
	N/exp5	Central	1	1	1	1	1	1	0	3	1
	N/exp5	Inf.	1	0	0	0	0	1	0	1	1
	N/exp5	Sup.	2	1	1	2	2	2	0	4	2
Isquemia- IHD	PA	Central	28.06%	28.45%	33.49%	28.41%	20.52%	24.47%	27.21%	29.16%	26.89%
	PA	Inf.	13.46%	13.74%	17.56%	13.58%	8.17%	10.89%	12.86%	14.19%	12.64%
	PA	Sup.	41.03%	41.45%	47.13%	41.6%	33.8%	37.45%	40.29%	42.24%	39.96%
	N	Central	4	5	6	8	6	8	6	3	32
	N	Inf.	2	3	3	4	2	4	3	1	15
	N	Sup.	6	8	8	12	9	12	8	4	47
	N/exp5	Central	25	34	36	51	37	53	39	21	41
	N/exp5	Inf.	12	16	19	24	15	24	18	10	19
	N/exp5	Sup.	36	49	50	75	62	82	58	30	62
ACV	PA	Central	20.23%	23.59%	23.09%	16.39%	13.59%	16.97%	19.44%	17.44%	19.15%
	PA	Inf.	6.39%	8.88%	8.48%	3.94%	2.59%	4.3%	5.90%	4.62%	5.66%
	PA	Sup.	34.6%	37.64%	37.0%	30.75%	27.49%	31.38%	33.88%	31.89%	33.6%
	N	Central	1	1	1	1	1	1	1	1	2
	N	Inf.	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	N	Sup.	2	2	1	2	3	2	1	1	4
	N/exp5	Central	6	6	4	5	9	6	5	4	15
	N/exp5	Inf.	2	2	2	1	2	1	2	1	45
	N/exp5	Sup.	11	9	7	10	18	10	9	7	27

Tabla 32. Muertes prematuras evitables durante el periodo de estudio en Los Barrios.

LA LÍNEA		Año	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
		PM2,5	22,1	22,3	24,2	21,2	17,2	18,4	19,4	16,8	16,8
No externas (E1)	PA	Central	2.08%	2.23%	3.35%	1.55%	NA	NA	0.48%	NA	NA
	PA	Inf.	1.36%	1.46%	2.2%	1.01%	NA	NA	0.31%	NA	NA
	PA	Sup.	2.75%	2.94%	4.42%	2.05%	NA	NA	0.64%	NA	NA
	N	Central	40	35	61	30	NA	NA	8	NA	NA
	N	Inf.	26	23	40	19	NA	NA	5	NA	NA
	N	Sup.	53	46	81	39	NA	NA	11	NA	NA
	N/exp5	Central	97	84	145	71	NA	NA	21	NA	NA
	N/exp5	Inf.	63	55	95	46	NA	NA	14	NA	NA
	N/exp5	Sup.	128	111	192	94	NA	NA	27	NA	NA
No externas (E2)	PA	Central	6.99%	7.13%	8.2%	6.49%	4.22%	4.94%	5.48%	4.03%	4.03%
	PA	Inf.	4.62%	4.71%	5.43%	4.28%	2.77%	3.25%	3.6%	2.65%	2.65%
	PA	Sup.	9.16%	9.34%	10.72%	8.51%	5.56%	6.5%	7.19%	5.31%	5.31%
	N	Central	134	112	150	124	73	80	94	75	85
	N	Inf.	89	74	99	82	48	53	62	49	56
	N	Sup.	176	147	196	163	96	105	124	99	113
	N/exp5	Central	325	268	356	298	179	198	236	193	223
	N/exp5	Inf.	214	177	235	197	117	130	156	126	146
	N/exp5	Sup.	426	352	465	391	235	260	311	254	293
EPOC	PA	Central	16.31%	16.47%	17.65%	15.71%	12.64%	13.7%	14.42%	12.35%	12.36%
	PA	Inf.	7.4%	7.49%	8.29%	6.93%	4.84%	5.47%	5.97%	4.68%	4.68%
	PA	Sup.	26.97%	27.16%	28.61%	26.21%	22.21%	23.61%	24.57%	21.82%	21.82%
	N	Central	23	13	13	12	10	9	13	13	12
	N	Inf.	10	6	6	5	4	4	5	5	4
	N	Sup.	38	21	21	19	17	15	21	22	21
	N/exp5	Central	55	31	31	28	24	22	31	32	31
	N/exp5	Inf.	25	14	14	12	9	9	13	12	12
	N/exp5	Sup.	91	51	50	47	42	37	54	57	54
Cáncer pulmón	PA	Central	9.83%	9.97%	11.01%	9.32%	6.83%	7.66%	8.25%	10.15%	6.61%
	PA	Inf.	5.1%	5.19%	5.87%	4.78%	3.28%	3.76%	4.11%	5.24%	3.15%
	PA	Sup.	15.51%	15.69%	17.03%	14.83%	11.44%	12.6%	13.4%	16.1%	11.12%
	N	Central	8	8	9	10	6	7	8	8	10
	N	Inf.	4	4	5	5	3	3	4	4	5
	N	Sup.	13	12	14	16	9	12	13	13	17
	N/exp5	Central	20	19	21	24	14	17	21	21	26
	N/exp5	Inf.	10	10	11	12	6	8	10	11	13
	N/exp5	Sup.	31	29	32	38	23	28	33	34	45
Isquemia- IHD	PA	Central	28.14%	28.3%	32.27%	30.87%	24.26%	25.42%	26.2%	28.48%	23.94%
	PA	Inf.	13.52%	13.63%	16.6%	15.53%	10.75%	11.58%	12.14%	13.64%	10.52%
	PA	Sup.	41.1%	41.28%	45.44%	43.84%	37.22%	38.49%	39.28%	41.66%	36.89%
	N	Central	74	65	81	72	50	44	63	48	57
	N	Inf.	36	31	42	36	22	20	29	23	25
	N	Sup.	108	94	115	103	77	66	94	70	89
	N/exp5	Central	162	140	175	156	109	96	139	108	132
	N/exp5	Inf.	78	68	90	79	48	44	64	52	58
	N/exp5	Sup.	237	204	246	222	167	145	208	158	203
ACV	PA	Central	20.31%	23.48%	21.55%	19.74%	16.78%	17.82%	18.52%	16.49%	16.5%
	PA	Inf.	6.44%	8.79%	7.3%	6.12%	4.18%	4.82%	5.22%	4,00%	4,00%
	PA	Sup.	34.67%	37.56%	35.75%	34.16%	31.19%	32.28%	32.98%	30.87%	30.87%
	N	Central	31	39	40	39	33	17	26	24	31
	N	Inf.	10	14	14	12	8	5	7	6	8
	N	Sup.	53	62	67	68	61	31	46	45	58
	N/exp5	Central	69	84	87	85	72	38	58	55	71
	N/exp5	Inf.	22	31	29	26	18	10	16	13	17
	N/exp5	Sup.	117	134	144	147	134	68	103	102	134

Tabla 33. Muertes prematuras evitables durante el periodo de estudio en La Línea.

SAN ROQUE		Año	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
		PM2,5	20,2	19,8	19,4	16,8	14,1	14,0	15,0	13,2	12,3
No externas (E1)	PA	Central	0.93%	0.75%	0.52%	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	PA	Inf.	0.61%	0.49%	0.34%	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	PA	Sup.	1.24%	0.99%	0.69%	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	N	Central	1	1	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	N	Inf.	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	N	Sup.	1	1	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	N/exp5	Central	5	4	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	N/exp5	Inf.	3	3	2	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	N/exp5	Sup.	7	6	4	NA	NA	NA	NA	NA	NA
No externas (E2)	PA	Central	5.91%	5.73%	5.51%	4.02%	2.43%	2.35%	2.96%	1.9%	1.35%
	PA	Inf.	3.89%	3.77%	3.63%	2.64%	1.59%	1.54%	1.94%	1.24%	0.89%
	PA	Sup.	7.75%	7.52%	7.24%	5.29%	3.2%	3.1%	3.9%	2.51%	1.79%
	N	Central	6	6	7	5	3	3	3	2	2
	N	Inf.	4	4	4	3	2	2	2	1	1
	N	Sup.	8	9	9	6	3	4	4	3	2
	N/exp5	Central	32	34	35	26	14	17	128	14	11
	N/exp5	Inf.	21	22	23	17	9	11	84	9	7
	N/exp5	Sup.	42	44	47	34	19	22	169	18	14
EPOC	PA	Central	14.98%	14.76%	14.47%	12.33%	9.52%	9.37%	10.55%	8.39%	7.02%
	PA	Inf.	6.41%	6.23%	6.01%	4.67%	2.99%	2.91%	3.62%	2.36%	1.67%
	PA	Sup.	25.29%	25,0%	24.64%	21.79%	17.96%	17.75%	19.36%	16.32%	14.23%
	N	Central	1	0	0	0	1	0	0	0	0
	N	Inf.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	N	Sup.	1	1	1	0	1	1	0	1	1
	N/exp5	Central	3	2	2	1	3	2	1	3	2
	N/exp5	Inf.	1	1	1	0	1	1	0	1	0
	N/exp5	Sup.	5	3	3	2	5	4	2	5	4
Cáncer pulmón	PA	Central	8.71%	8.52%	8.29%	6.59%	4.56%	4.46%	5.28%	8.01%	2.96%
	PA	Inf.	4.4%	4.28%	4.14%	3.14%	2.02%	1.96%	2.4%	3.89%	1.21%
	PA	Sup.	14.02%	13.77%	13.46%	11.09%	8.05%	7.89%	9.14%	13.21%	5.52%
	N	Central	0	1	0	1	0	0	0	0	0
	N	Inf.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	N	Sup.	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	N/exp5	Central	2	4	2	4	2	2	2	2	1
	N/exp5	Inf.	1	2	1	2	1	1	1	1	0
	N/exp5	Sup.	3	6	3	6	3	4	4	3	1
Isquemia- IHD	PA	Central	26.79%	26.55%	29.99%	28.47%	20.53%	20.33%	21.81%	25.86%	17.08%
	PA	Inf.	12.57%	12.4%	14.86%	13.63%	8.17%	8.04%	9.06%	11.47%	6.12%
	PA	Sup.	39.86%	39.62%	43.03%	41.65%	33.81%	33.6%	35.07%	39.01%	29.68%
	N	Central	5	5	9	4	4	4	5	5	2
	N	Inf.	2	2	4	2	1	2	2	2	1
	N	Sup.	7	7	13	6	6	7	7	7	4
	N/exp5	Central	24	23	42	20	17	20	24	26	13
	N/exp5	Inf.	11	11	21	10	7	8	10	11	4
	N/exp5	Sup.	35	35	60	29	29	33	38	38	22
ACV	PA	Central	19.06%	22.28%	18.57%	16.47%	13.59%	13.43%	14.67%	12.37%	10.84%
	PA	Inf.	5.58%	7.96%	5.25%	3.99%	2.6%	2.52%	3.08%	2.04%	1.55%
	PA	Sup.	33.51%	36.48%	33.03%	30.84%	27.5%	27.3%	28.89%	25.95%	24.08%
	N	Central	2	1	2	1	1	1	2	1	1
	N	Inf.	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	N	Sup.	3	2	4	2	1	3	3	3	3
	N/exp5	Central	8	7	9	6	4	6	8	8	8
	N/exp5	Inf.	2	2	3	2	1	1	2	1	1
	N/exp5	Sup.	15	11	17	12	7	13	16	16	18

Tabla 34 Muertes es prematuras evitables durante el periodo de estudio en San Roque.

En toda la zona de estudio, la ejecución y puesta en marcha de las medidas del PMCA supondría salvar unas 23 vidas al año (IC 95%: 15; 30), debido a la reducción de los niveles de partículas en el aire ambiente. Si además esta reducción fuese mayor y los niveles de partículas alcanzasen los niveles guía de la OMS, se salvarían unas 148 vidas anuales (IC 95%: 98; 195). La Tabla 36 presenta estos datos en forma tabulada.

<i>Escenario</i>	Total 2005-2013			Media anual		
	<i>Central</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Central</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>
<i>E1- Objetivo del PMCA: PM2,5 = 18,6 µg/m³</i>	203,6	133,3	268,8	22,6	14,8	29,9
<i>E2- Valor guía de la OMS: PM2,5 = 10 µg/m³</i>	1.333,5	878,3	1.751,0	148,2	97,6	194,6

Tabla 35. Muertes prematuras evitables (total y media anual) si se hubiesen dado los dos escenarios de contraste, con los valores superior e inferior de su intervalo de confianza al 95%.

Valoración económica del impacto en salud

En este apartado realizaremos una estimación de los beneficios económicos (en euros) de la mejora del estado de salud de la población como consecuencia de alcanzar el E1 o el E2. Se realizará a partir de los resultados de la ERS-CA para muertes prematuras evitables por causas no externas.

En primer lugar se calculará el valor de vida estadística (VSL) para cada año (Tabla 37). Con cada valor anual de VSL calcularemos las ganancias en salud, aplicando el factor de conversión anual para obtener el valor en euros, tanto para el escenario 1 (Tabla 38) como para el 2 (Tabla 39).

Finalmente, obtendremos el valor total para los años 2005-2013 de los beneficios en salud de la implementación de las medidas del PMCA (escenario 1) y los beneficios si se alcanzasen los niveles propuestos por la OMS (escenario 2), así como sus respectivas medias anuales (Tabla 40).

Año	Y (España)	Y (OCDE)	ΔP	VSL
2005	27702,5	30482,4	0	2,79
2006	30819,2	32467,2	2,7	2,85
2007	32591,4	34012,8	7,1	2,95
2008	33463,7	34849,7	8,9	2,99
2009	32385,2	33901,6	9,1	3,00
2010	31954,2	35171,4	12,3	3,07
2011	32068,3	36587,3	14,6	3,12
2012	31988,3	37555,7	17,6	3,18
2013	32603,9	38820,2	18,1	3,19

Tabla 36. Valores de PIB per cápita (en paridades de poder adquisitivo, PPA) para España y los países de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), inflación anual (ΔP) y de vida estadística (VSL), expresados en millones de dólares de los Estados Unidos de América.

E1	ALGECIRAS			LOS BARRIOS			LA LÍNEA			SAN ROQUE		
	Año	Cent.	Inf.	Sup.	Cent.	Inf.	Sup.	Cent.	Inf.	Sup.	Cent.	Inf.
2005	21,5	14,0	28,4	3,4	2,2	4,4	102,9	67,4	136,0	2,6	1,7	3,4
2006	0,0	0,0	0,0	4,3	2,8	5,7	93,1	61,0	123,0	2,3	1,5	3,0
2007	0,0	0,0	0,0	10,5	6,9	13,8	159,7	104,8	210,6	1,7	1,1	2,2
2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	86,5	56,5	114,3	0,0	0,0	0,0
2009	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2010	7,4	4,8	9,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2011	19,8	12,9	26,2	2,7	1,8	3,6	23,0	15,0	30,5	0,0	0,0	0,0
2012	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2013	0,0	0,0	0,0	3,0	2,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	48,6	31,8	64,4	23,9	15,7	31,6	465,3	304,7	614,4	6,5	4,3	8,6

Tabla 37. Beneficios (en millones de euros) en cada municipio de la Bahía de Algeciras por las ganancias en salud derivadas de alcanzar el objetivo del PMCA, con el valor central de la estimación y los valores superior e inferior de su intervalo de confianza al 95%.

<i>E2</i>	ALGECIRAS			LOS BARRIOS			LA LÍNEA			SAN ROQUE		
Año	Cent.	Inf.	Sup.	Cent.	Inf.	Sup.	Cent.	Inf.	Sup.	Cent.	Inf.	Sup.
2005	132,5	87,3	173,9	11,7	7,7	15,3	347,8	229,6	455,7	15,9	10,5	20,9
2006	91,0	59,8	119,7	11,7	7,8	15,4	266,6	176,1	349,2	15,4	10,1	20,2
2007	96,9	63,7	127,5	17,4	11,5	22,6	333,5	220,7	436,1	15,2	10,0	20,0
2008	61,5	40,3	81,1	9,3	6,1	12,3	303,4	200,1	397,8	11,8	7,7	15,5
2009	35,5	23,3	47,0	4,8	3,1	6,3	165,3	108,6	217,6	5,8	3,8	7,7
2010	118,5	78,0	155,7	10,2	6,7	13,4	204,5	134,5	268,9	7,6	5,0	10,0
2011	131,7	86,8	173,0	12,5	8,2	16,4	245,2	161,5	322,1	8,9	5,8	11,7
2012	94,5	62,0	124,5	9,7	6,4	12,8	200,8	131,9	264,4	5,9	3,9	7,8
2013	48,2	31,6	63,7	17,2	11,3	22,5	219,1	143,9	288,5	4,2	2,8	5,6
Total	810,4	532,8	1066,1	104,4	68,8	136,9	2286,3	1506,8	3000,4	90,7	59,6	119,4

Tabla 38. Beneficios (en millones de euros) en cada municipio de la Bahía de Algeciras por las ganancias en salud si se alcanzase el valor guía de la OMS para PM_{2,5}, con el valor central de la estimación y los valores superior e inferior de su intervalo de confianza al 95%.

Así, como resultado de esta primera parte del análisis en profundidad se establece que los beneficios estimados por la mejora en salud por la implementación efectiva del PMCA alcanzarían los 54,6 millones de euros al año (IC 95%: 35,7; 72,1).

Si los objetivos del PMCA hubieran sido más ambiciosos y se lograra que los niveles de partículas alcanzasen los valores guía de la OMS, los beneficios en salud alcanzarían los 365,8 millones de euros anuales (IC 95%: 240,9; 480,3).

<i>Escenario</i>	Total 2005-2013			Media anual		
	<i>Central</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Central</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>
<i>E1- Objetivo del PMCA: PM_{2,5} = 18,6 µg/m³</i>	491,1	321,5	648,7	54,6	35,7	72,1
<i>E2- Valor guía de la OMS: PM_{2,5} = 10 µg/m³</i>	3.291,9	2.168,0	4.322,8	365,8	240,9	480,3

Tabla 39. Beneficios (en millones de euros) totales por las ganancias en salud de los dos escenarios de contraste con los valores superior e inferior de su intervalo de confianza al 95%, así como las ganancias en salud medias por año.

4.6.2. Estudio de la asociación entre el régimen de vientos y la salud

En esta segunda parte del análisis en profundidad el objetivo que tendremos será averiguar si el régimen de vientos de la zona está relacionado con una mayor mortalidad a corto plazo por todas las causas (excluidas externas) en la población de estudio, que será la hipótesis de investigación. Se trata en realidad de un sencillo estudio ecológico de tipo descriptivo, que no permite establecer relaciones de causalidad pero sí que puede servir de partida para establecer otras hipótesis.

La decisión de aceptar o rechazar la hipótesis se toma mediante la realización de una prueba de significación estadística, siendo las hipótesis a contrastar las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0) las medias de defunciones diarias son iguales en las cuatro categorías de la variable *wind*.
- Hipótesis alternativa (H_1): al menos una de las cuatro categorías de la variable *wind* tiene una media de defunciones diarias distinta a las otras categorías.

Determinación de los grupos

Con el objetivo de comprobar si durante el periodo 2005-2013 se repiten los patrones observados anteriormente, vamos a elaborar una rosa de los vientos de la zona con las frecuencias acumuladas en todo el periodo 2005-2013 (Figura 28). El código de R utilizado se incluye en el Anexo 6.

Los resultados (ver Figura 23) muestran un claro predominio de las direcciones Levante (E) y Poniente (W), aunque en este periodo también fueron significativos los vientos de origen NE (Gregal). Estos datos son coherentes con las observaciones de los estudios anteriores.

Por tanto, definimos la variable categórica *wind* como *la dirección predominante de las mediciones diarias de vientos*. Esta variable contará con cuatro categorías o grupos, que serán:

- Poniente: día con viento predominante de Poniente (W).
- Levante: día con viento predominante de Levante (E).
- Gregal: día con viento predominante de Gregal (NE).
- Otros: día que no es clasificable en ninguna de las categorías anteriores.

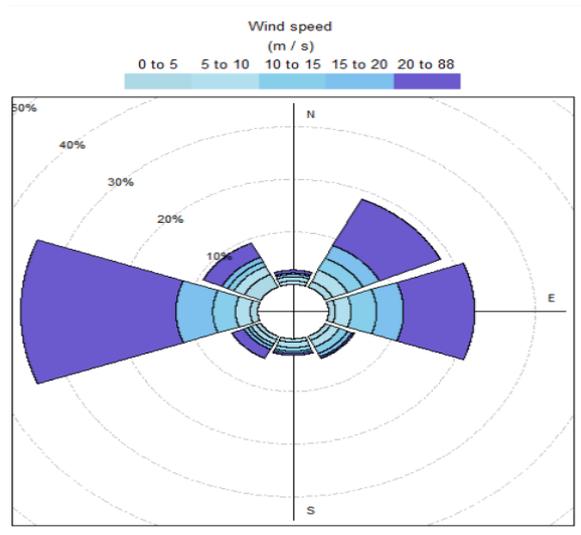


Figura 28. Rosa de los Vientos en la Zona Industrial Bahía de Algeciras, periodo 2005-2013.

Mortalidad

A partir del archivo con todas las defunciones en Andalucía en el periodo 2005-2013, hemos filtrado por municipio y causas de la muerte para obtener un archivo en formato csv con el número de muertes diarias por causas no externas en cada municipio y en el conjunto de la Bahía de Algeciras. En el Anexo XX se incluye el código de R utilizado.

Análisis descriptivo

Comenzaremos el estudio por un análisis descriptivo de los datos de la variable independiente (*wind*) y de la dependiente (mortalidad diaria).

La Tabla 40 muestra las frecuencias de las diferentes categorías de la variable *wind*, observándose que las direcciones de los vientos más frecuentes son las de poniente y de levante. La Tabla 41 muestra las frecuencias por año, con objeto de construir una gráfica donde podamos apreciar la evolución en el periodo 2005-2013 (figura 29X). Podemos observar una cierta variabilidad anual en los vientos dominantes, siendo el viento de levante el preponderante hasta 2007 y el de poniente el resto del periodo considerado, a excepción del año 2011, en el que el viento del noreste (gregal) iguala en número de días al de poniente.

Categoría	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Porcentaje (%)
<i>Poniente</i>	630	0.19	19,0
<i>Levante</i>	510	0.15	15,4
<i>Gregal</i>	276	0.08	8,3
<i>Otros</i>	1541	0.46	46,4

Tabla 40. Frecuencia absoluta, frecuencia relativa y porcentaje de días clasificados en alguna de las cuatro categorías de la variable *wind* durante el periodo 2005-2013.

Año	PONIENTE	LEVANTE	GREGAL	OTROS
2005	46	81	3	235
2006	33	100	18	214
2007	24	81	3	257
2008	114	78	25	148
2009	144	49	35	137
2010	100	49	37	179
2011	86	31	85	163
2012	88	41	35	201
2013	135	30	56	144

Tabla 41. Frecuencias absolutas anuales de los días clasificados en alguna de las cuatro categorías de la variable *wind*.

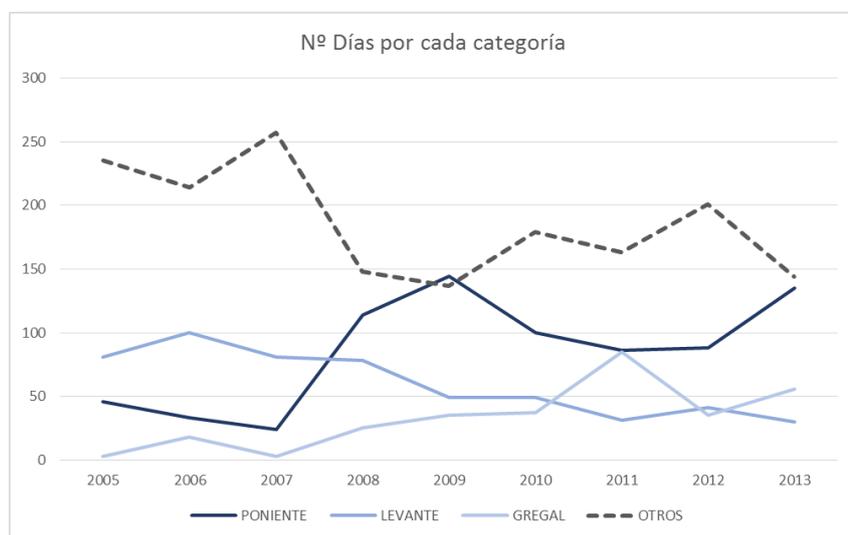


Figura 29. Evolución en el periodo 2005-2013 de las frecuencias absolutas anuales de los días en función de su categoría de la variable *wind*.

A continuación describiremos los resultados de las variables dependientes, es decir, los datos de mortalidad diaria por todas las causas excepto externas, por municipios, así como en el total de la Bahía de Algeciras.

Comenzaremos por las medidas de tendencia central y de dispersión de las cinco variables dependientes (sin separar por categorías). La Tabla 42 recoge los valores de las medidas más comunes.

	Bahía de Algeciras	Algeciras	Los Barrios	La Línea de la Concepción	San Roque
<i>Frecuencia absoluta</i>	16.065	9.031	767	5464	803
<i>Media</i>	4,88	2,74	0,23	1,66	0,24
<i>Desviación estándar</i>	2,26	1,67	0,49	1,31	0,50
<i>Mediana</i>	5	3	0	1	0
<i>Q1</i>	3	2	0	1	0
<i>Q3</i>	6	4	0	2	0

Tabla 42. Algunas medidas de tendencia central y de dispersión de las cinco variables de mortalidad diaria, periodo 2005-2013.

Si tomamos la variable de mortalidad diaria total en la Bahía de Algeciras, podemos realizar un gráfico de cajas (figura 37), que permite identificar de forma preliminar si existen asimetrías, datos atípicos o diferencia de varianzas.

La figura 38 muestra el histograma y la curva normal teórica (distribución normal con la misma media y desviación estándar que la variable). De las dos figuras anteriores podemos deducir que los datos del número de muertes diarias en la Bahía de Algeciras no parece seguir una distribución normal.

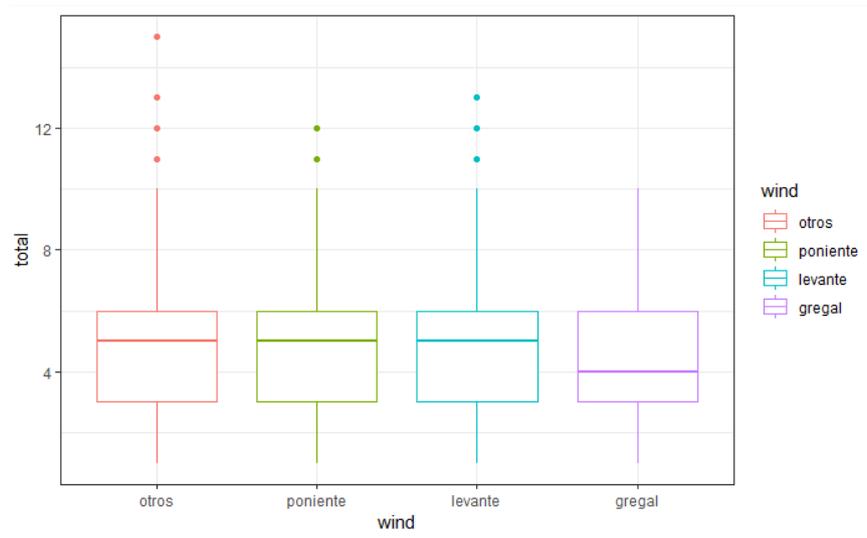


Figura 30. Diagrama de cajas del número de defunciones totales diarias en la Bahía de Algeciras en el periodo 2005-2013.

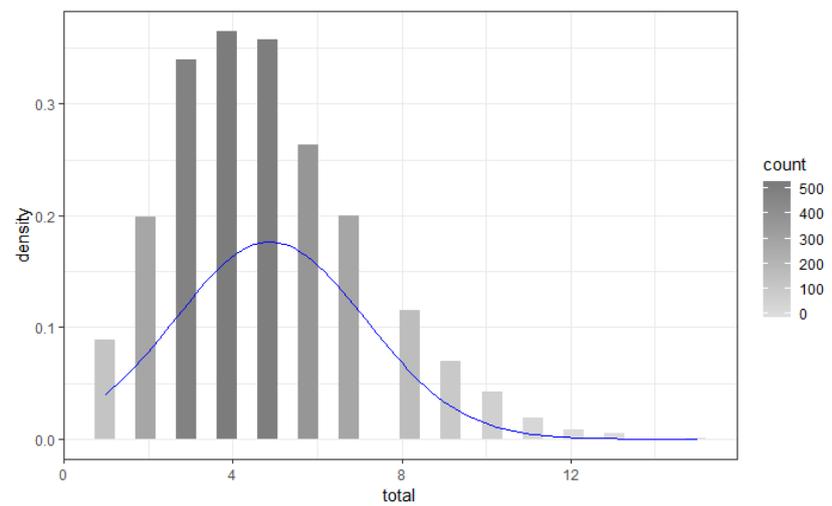


Figura 31. Histograma y curva normal teórica del número de defunciones totales diarias (en azul) en la Bahía de Algeciras en el periodo 2005-2013.

Verificación de las condiciones para el ANOVA

De acuerdo con el organigrama para el contraste de hipótesis para comparaciones de k medias (tres o más grupos), comprobaremos el cumplimiento de las condiciones de aplicación de la técnica de análisis de varianza (ANOVA).

La primera condición es que los residuos sigan una distribución normal. Existen diversos modos de verificar esta condición, por ejemplo gráficamente o mediante test de contraste. En primer lugar veremos los gráficos Q-Q, en los que los cuantiles de los

residuos estandarizados representados frente a los de una distribución normal deberían seguir aproximadamente una recta (línea de puntos).

Posteriormente se utilizará una prueba para contrastar la normalidad de los residuos, que será la modificación de Lilliefors de la prueba de Kolmogorov-Smirnov, donde:

- Hipótesis nula (H_0): la distribución de los residuos sigue una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_1): la distribución de los residuos no sigue una distribución normal.

Si el resultado del test de Lilliefors es no significativo ($p > 0,05$), se optará por la hipótesis nula y se considerará que los residuos siguen una distribución normal. Si es significativo, se asumirá que la distribución de los residuos no sigue una distribución normal.

Las Figuras 32-36 muestran los gráficos Q-Q, y la Tabla 43 los resultados de la prueba de Lilliefors. De ambos resultados podemos concluir que no se verifica el requisito de normalidad de los residuos, por lo que realizaremos directamente el test no paramétrico de elección: el test de Kruskal-Wallis.

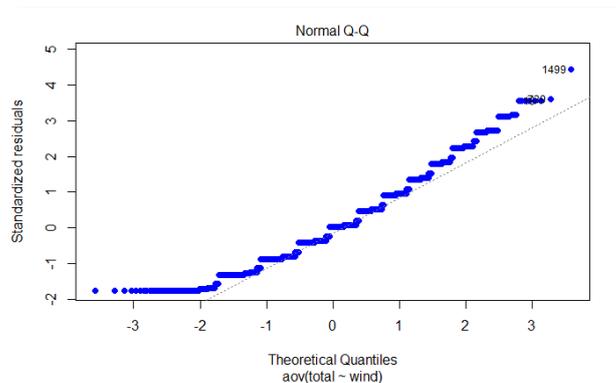


Figura 32. Gráficos Q-Q de los residuos estandarizados del número de defunciones totales diarias en la Bahía de Algeciras (total) en el periodo 2005-2013.

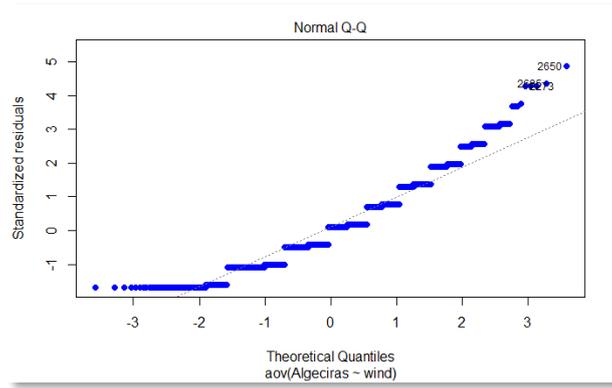


Figura 33. Gráficos Q-Q de los residuos estandarizados del número de defunciones totales diarias en Algeciras, en el periodo 2005-2013.

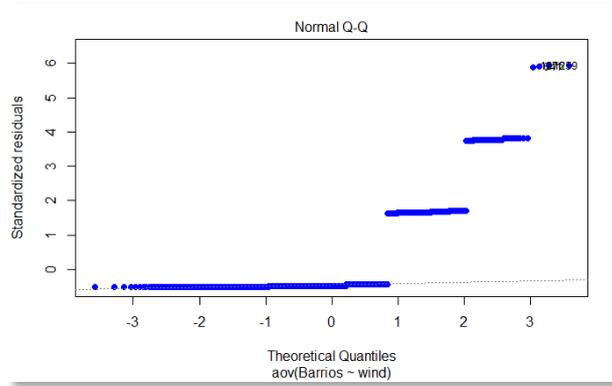


Figura 34. Gráficos Q-Q de los residuos estandarizados del número de defunciones totales diarias en Los Barrios, en el periodo 2005-2013.

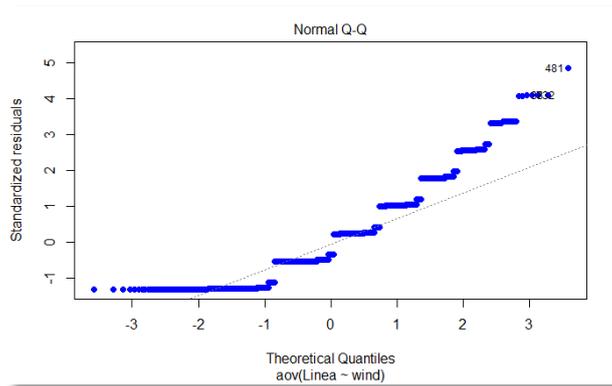


Figura 35. Gráficos Q-Q de los residuos estandarizados del número de defunciones totales diarias en La Línea de la Concepción, en el periodo 2005-2013.

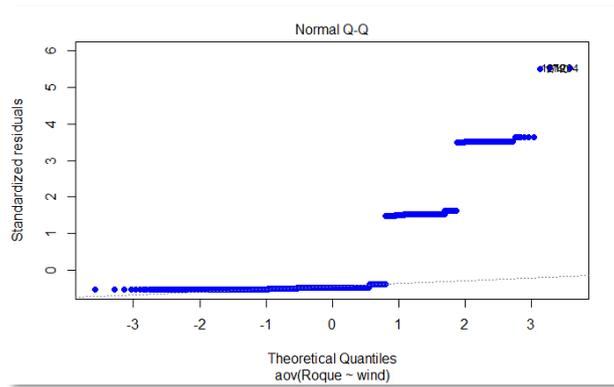


Figura 36. Gráficos Q-Q de los residuos estandarizados del número de defunciones totales diarias en San Roque, en el periodo 2005-2013.

Datos	Estadístico D	Valor P	Conclusión
<i>Bahía de Algeciras (total)</i>	0.1054	< 0,001	No distribución normal de residuos
<i>Algeciras</i>	0.14697	< 0,001	No distribución normal de residuos
<i>Los Barrios</i>	0.46617	< 0,001	No distribución normal de residuos
<i>La Línea de la Concepción</i>	0.17184	< 0,001	No distribución normal de residuos
<i>San Roque</i>	0.44171	< 0,001	No distribución normal de residuos

Tabla 43. Resultados del test de normalidad de los residuos del número de defunciones totales diarias en la Bahía de Algeciras (total) y por municipios en el periodo 2005-2013.

Test de Kruskal-Wallis

La alternativa no paramétrica al análisis de la varianza que más se ha usado en la investigación biomédica es el test de Kruskal-Wallis, que debe reemplazar al ANOVA si los datos son ordinales, o bien cuando el tamaño de muestra es pequeño, si no hay normalidad de los residuales y las varianzas de los grupos son claramente heterogéneas ¹⁷⁵.

Los resultados del test pueden observarse en la Tabla 44. Como conclusión de la segunda parte del análisis en profundidad de la EIS del PMCA, podemos afirmar, con un 95% de seguridad, que la mortalidad diaria no varía en función de la dirección del viento en ninguno de los municipios de la Bahía de Algeciras.

Datos	Estadístico χ^2	Valor P
<i>Bahía de Algeciras (total)</i>	6.4942	0.08989
<i>Algeciras</i>	1.2338	0.7449
<i>Los Barrios</i>	1.3781	0.7107
<i>La Línea de la Concepción</i>	7.7754	0.0509
<i>San Roque</i>	3.0505	0.3839

Tabla 44. Resultados del test de Kruskal-Wallis entre la mortalidad diaria (número de defunciones diarias) y las direcciones predominantes del viento en el periodo 2005-2013.

4.6.3. Estudio de la asociación entre PM10 y salud. Modificación del efecto

Pasamos ahora a la tercera parte del análisis en profundidad, con los cinco puntos que se detallaron en el capítulo 3.

1) Obtención y preparación de datos

En este apartado resumimos la estrategia de obtención y preparación de los datos. El script de R Markdown se incluye en el Anexo 9.

Variables independientes

La Tabla 45 recoge los datos de partida y las variables que se utilizarán posteriormente en el análisis.

Variable	Nombre	Tipo	Datos de partida	Datos finales para utilización en estudio
<i>Partículas menores de 10 μm</i>	pm10	Cuantitativa continua	Valor medio diario	Valor medio diario
<i>Día con intrusión sahariana</i>	naf	Cualitativa dicotómica	Día con o sin intrusión sahariana	Día con o sin intrusión sahariana
<i>Ozono</i>	ozono	Cuantitativa continua	Datos semihorarios y diezminutales	Valor diario máximo octohorario
<i>Temperatura</i>	tmed	Cuantitativa continua	Datos semihorarios y diezminutales	Valor medio diario de temperaturas
<i>Humedad relativa</i>	hr	Cuantitativa continua	Datos semihorarios y diezminutales	Valor medio diario de humedad relativa
<i>Gripe</i>	gripe	Cuantitativa discreta	Tasa de incidencia semanal en la provincia de Cádiz, por 100 000 habitantes	Indicador de incidencia diaria de gripe
<i>Festivos</i>	fst	Cualitativa dicotómica	Día festivo o no festivo	Día festivo o no festivo

Tabla 45. Tratamiento de datos para el análisis en profundidad (parte 3).

La variable “pm10”, con el valor medio diario de PM10 en La Línea de la Concepción, se calculó en la Fase 5- Valoración de la Relevancia de los Impactos. En el caso del ozono, la temperatura y la gripe, la obtención del valor diario está condicionada a que al menos el 75% de mediciones de ese día deben ser válidas.

Con todas las variables independientes obtenidas creamos a continuación el dataframe **variables**, que contiene la fecha diaria y todas las variables mencionadas anteriormente, a las que se le añaden:

- Ozono con efecto umbral (“somo”), basándonos en el criterio de la OMS para SOMO35. Este enfoque supone un efecto umbral por debajo del cual no hay efecto (70 ug/m3). Por tanto, se define como

$$\text{somo} = (\text{valor diario máximo octohorario de ozono}) - 70 \mu\text{g}/\text{m}^3.$$

- Variables indicadoras del día de la semana (“dow”), mes (“month”), año (“year”) y año/ mes/ día de la semana (“stratum”).

Mortalidad diaria en la Bahía de Algeciras

Consideraremos en principio tres causas de mortalidad: naturales o no externas, cardiovasculares y respiratorias, con los siguientes códigos CIE10 o IDC10:

- Causas no externas, TOTALES (ICD10: A00-R99). Se excluyen las causas externas, es decir, ICD10:S00-T88, V00-Y99 y Z00-Z99.
- Causas cardiovasculares (ICD10: I00-I99).
- Causas respiratorias (ICD10: J00-J99).

Para poder realizar posteriormente el análisis multivariante necesitamos preparar los datos de modo que obtengamos dos matrices:

- 1) Las matrices de datos extendidos (“dext”), que servirán de base para poder construir posteriormente las matrices case-crossover (CCO) para el estudio CCO. Las tres matrices “deaths” contendrán todas las muertes por causas naturales, cardiovasculares y respiratorias, respectivamente (una fila, una muerte).
- 2) Las matrices de datos ecológicos (“deco”) para el estudio de series temporales. Las tres matrices “deco” incluirán el número de muertes diarias por causas naturales, cardiovasculares y respiratorias (una fila, un día).

Matriz ecológica para el estudio de series temporales

La matriz **eco** la construimos sumando las columnas de la matriz **deco** y las columnas de la matriz **variables**.

Matriz CCO para el estudio de casos cruzados

Como datos de partida utilizamos:

- La matriz **deaths**, que contiene todas las muertes entre 01/01/2001 y 12/12/2013 con el sexo, la causa y edad de la muerte. Este data frame ya está “extendido”, es decir, contiene una fila por cada evento (es decir, por cada índice o período control).

- La matriz **eco**, que contiene las variables independientes y covariables, así como las frecuencias de muertes por todas las causas, causas cardiovasculares y causas respiratorias.
- La matriz **ref**, con los índices y referentes de las variables independientes. Los referentes se han obtenido siguiendo la estrategia *time-stratified* (ver metodología).

Partiendo de estas matrices, expandimos los datos para crear otra matriz con los datos expandidos en el que hay un valor índice y tres referentes por cada evento.

2) Análisis exploratorio

El orden que seguiremos para el análisis exploratorio será el siguiente:

1-. Análisis univariante

1.1-. Variables dependientes

- a) Medidas de tendencia central, dispersión y posición
- b) Análisis Gráfico

1.2-. Variables independientes cuantitativas

- a) Resumen.
- b) Análisis gráfico.

1.3. Variables independientes cualitativas

2-. Análisis bivariante

2.1. Variables cuantitativas y días con intrusión sahariana

2.2. Relación entre las pm10, ozono y la temperatura media

2.3. Relación entre la variable dependiente y el resto de variables

El sript de R Markdown para la obtención de los resultados del análisis exploratorio se incluye en el Anexo 10.

1-. Análisis univariante

1.1-. Variables dependientes

a) Medidas de tendencia central, dispersión y posición

La Tabla 46 muestra las medidas de tendencia central, dispersión y posición de las tres variables de mortalidad diaria.

	Causas naturales	Enfermedades cardiovasculares	Enfermedades respiratorias
<i>Muertes totales</i>	5418.00	1889.00	671.00
<i>Media</i>	1.65	0.57	0.20
<i>Mediana</i>	1.00	0.00	0.00
<i>Primer cuartil</i>	1.00	0.00	0.00
<i>Tercer cuartil</i>	2.00	1.00	0.00
<i>Desviación media</i>	1.31	0.78	0.46
<i>Varianza</i>	1.72	0.61	0.21

Tabla 46. Estadísticas del número de muertes en la Bahía de Algeciras (2005-2013).

Se observa que la media y la varianza son similares para las tres variables de mortalidad. Se cumple, por tanto, una de las condiciones para poder utilizar la regresión de Poisson. En cuanto a las frecuencias de muertes diarias (Tabla 47) Vemos que en las causas cardiovasculares y respiratorias hay un elevado número de ceros (57 % y 81 %, respectivamente), lo que motiva que descartemos estas dos variables para el análisis por regresión de Poisson. En causas naturales el porcentaje de ceros es también elevado (cerca al 20 %).

<i>Número de muertes diarias</i>	Naturales	Cardiovascular es	Respiratorias
0	643	1883	2690
1	1059	1019	528
2	825	303	64
3	466	67	5
4	199	13	0
5	63	1	0
6	25	1	0
7	6	0	0

8	1	0	0
---	---	---	---

Tabla 47. Tabla de frecuencias del número de muertes en la Bahía de Algeciras (2005-2013).

b) Análisis Gráfico

A continuación vamos a ver las series temporales de cada una de las tres variables dependientes y su función de densidad o curva de probabilidad, así como su diagrama de cajas para la variable “número de muertes por causas naturales” (Figuras 37-43).

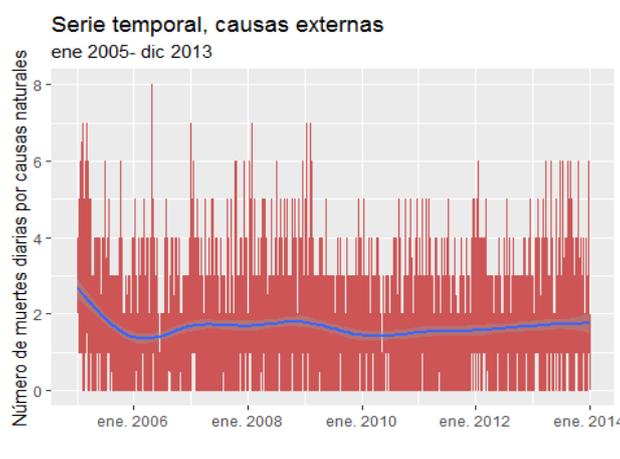


Figura 37. Serie temporal del número de muertes diarias, causas no externas.

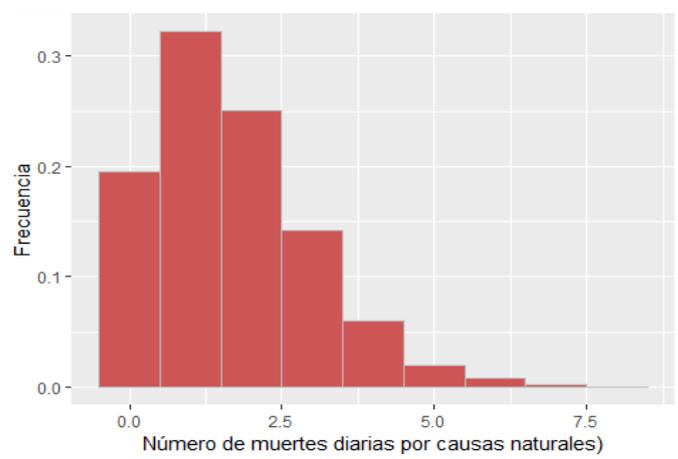


Figura 38. Función de probabilidad del número de muertes diarias, causas no externas.

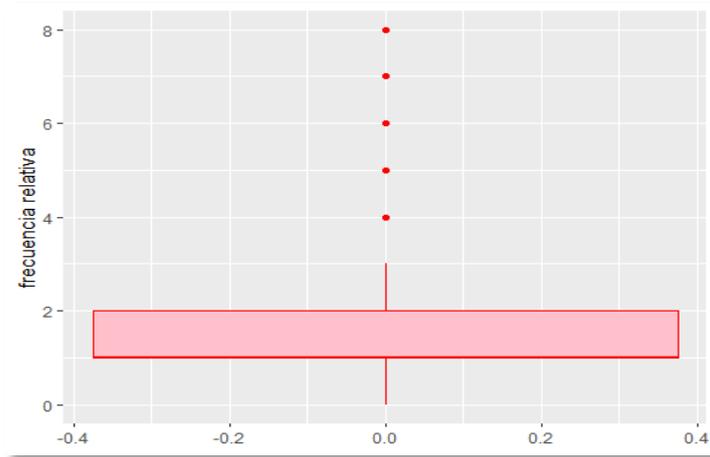


Figura 39. Diagrama de cajas del número de muertes diarias, causas no externas

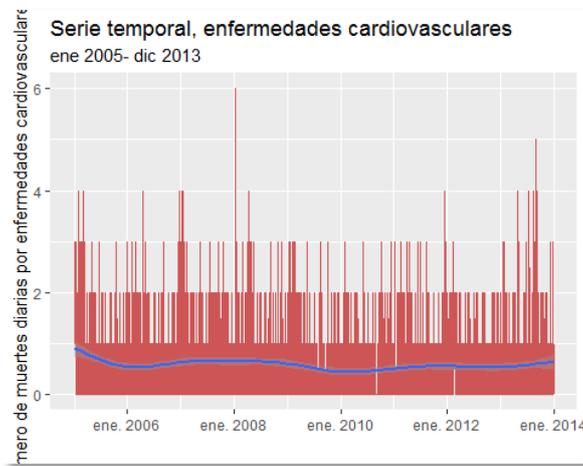


Figura 40. Serie temporal del número de muertes diarias, causas cardiovasculares

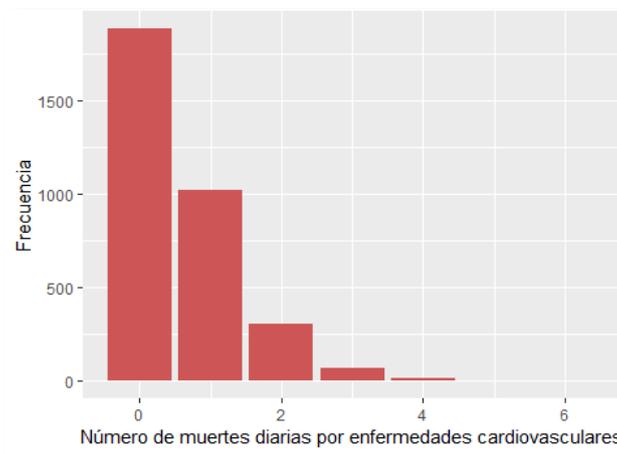


Figura 41. Función de probabilidad del número de muertes diarias, causas cardiovasculares

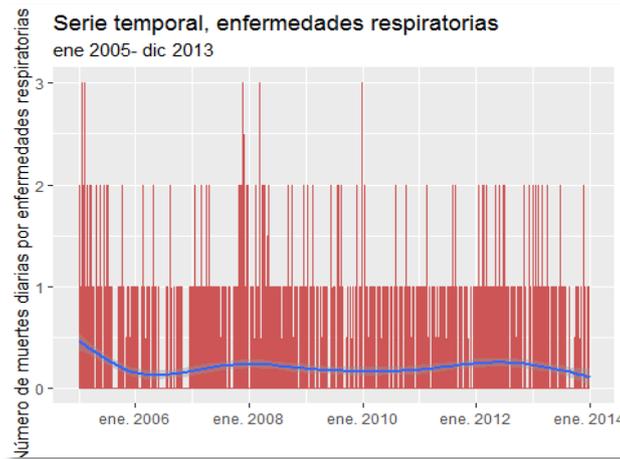


Figura 42. Serie temporal del número de muertes diarias, causas respiratorias

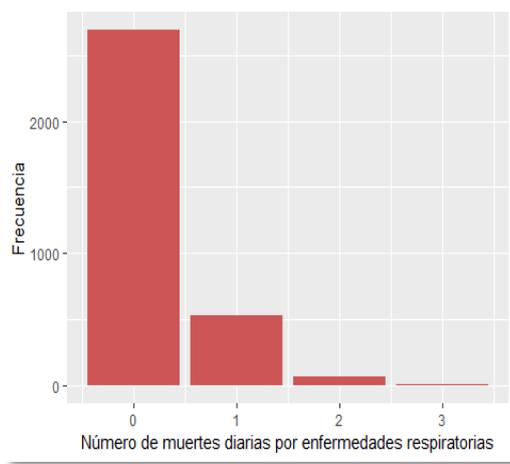


Figura 43. Función de probabilidad del número de muertes diarias, causas respiratorias

Lo más llamativo en el caso del número de muertes por causas naturales es que se observa que la función de densidad de la variable se aproxima bastante a una gráfica típica de la función de probabilidad de la distribución de Poisson.

En el caso de las otras dos causas, se observa un número importante de días sin muertes (número elevado de ceros). La ausencia de datos de mortalidad diaria por estas causas hará que nos centremos en las causas naturales para los análisis estadísticos posteriores.

1.2-. Variables independientes cuantitativas

a) Resumen.

En este apartado estudiaremos las variables independientes cuantitativas, tanto las continuas (PM10, ozono, temperatura media, humedad relativa y gripe). En la Tabla 47 se observa un porcentaje de datos válidos por encima del 90%, excepto para la humedad relativa (76%) y el ozono (88%). En el caso de las PM10 parece haber valores extremos, aspecto que comprobaremos en el análisis gráfico.

	Minimo	Primer cuartil	Mediana	Media	Tercer cuartil	Máximo	Datos válidos (%)
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2.9	24.2	32.4	34.4	41.9	287.6	96.1
ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	16.6	69.5	84.3	84.4	99.6	147.2	88.4
Tasa gripe (casos/100.000 hab.)	0.0	0.0	0.4	4.8	3.8	57.2	99.9
T medias ($^{\circ}\text{C}$)	4.5	12.5	16.0	16.7	20.5	35.5	92.6
Humedad relativa (%)	22.4	67.0	76.0	74.4	83.7	100.0	76.4

Tabla 48. Resumen estadístico de las variables cuantitativas

b) Análisis gráfico.

Vamos a ver las series temporales, funciones de densidad (curvas de probabilidad) y los diagramas de caja de las variables independientes cuantitativas. Comenzamos por la variable “pm10” (Figuras 44-46).

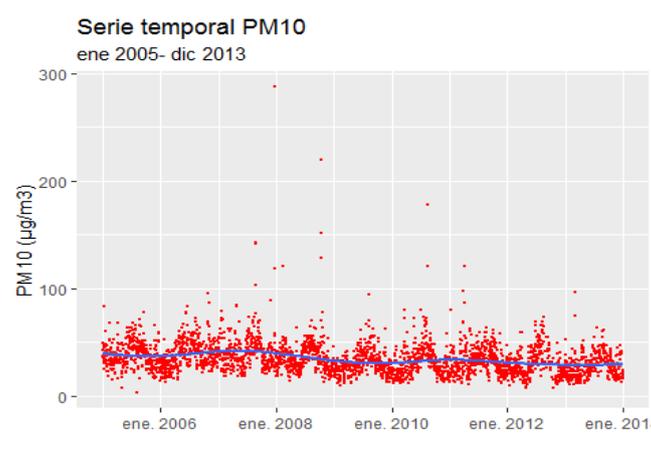


Figura 44. Serie temporal de la variable “pm10”

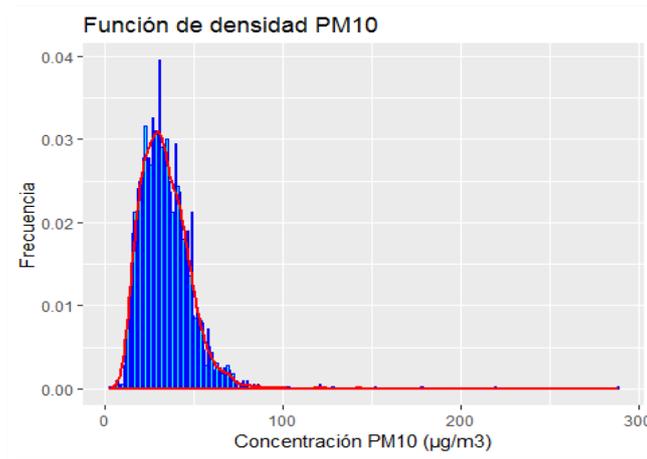


Figura 45. Función de densidad de la variable "pm10"

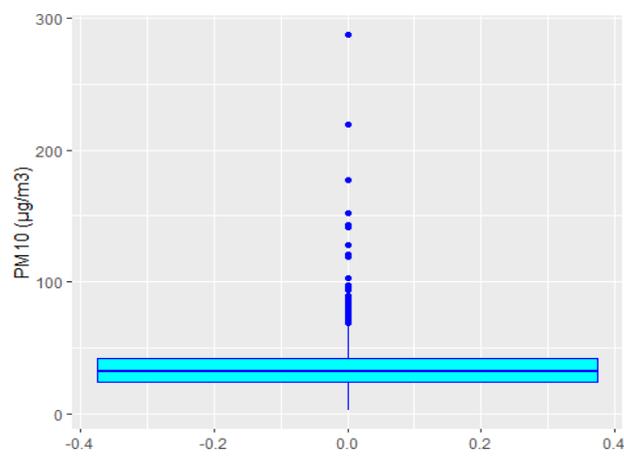


Figura 46. Diagrama de cajas de la variable "pm10"

Podemos observar que en la variable "pm10" hay varios *outliers*. El valor más alto corresponde al 27/12/2007 y es de 249,8 µg/m³. Aunque el valor parece ser correcto, pues los cuatro municipios registraron valores anormalmente altos ese día (variando desde 174,0 µg/m³ en el caso de San Roque hasta 353,1 µg/m³ en el caso de Los Barrios), habrá que tener presente posteriormente este dato y otros anormalmente altos, pues podrían distorsionar excesivamente el modelo.

En el caso del ozono, sin embargo, no hay puntos excesivamente desplazados de la media, y la función de densidad parece aproximarse bastante bien a una curva de probabilidad normal.

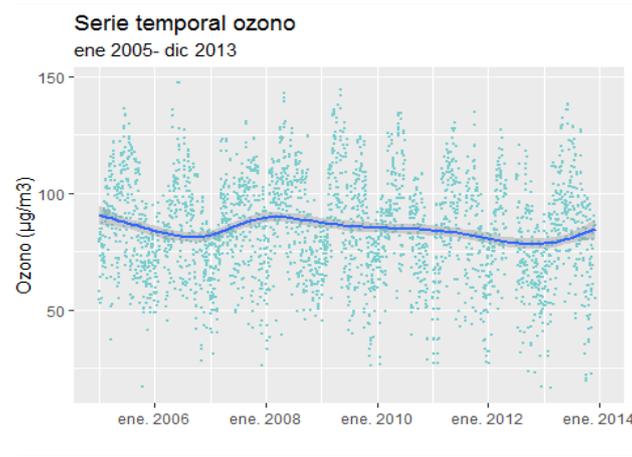


Figura 47. Serie temporal de la variable "ozono"

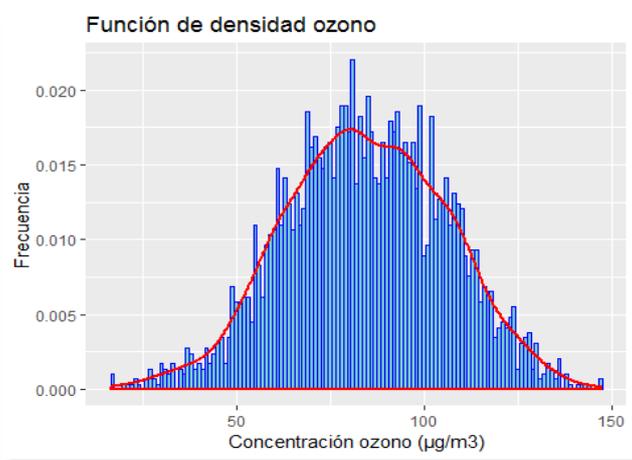


Figura 48. Función de densidad de la variable "ozono"

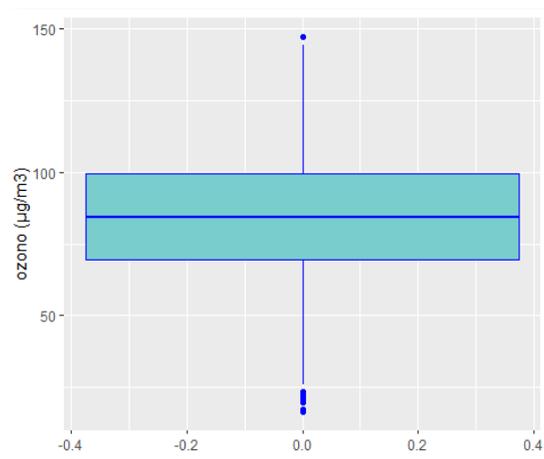


Figura 49. Figura 48. Diagrama de cajas de la variable "ozono"

En cuanto a la temperatura y la humedad (Figuras 50-54) lo más reseñable es que, en el caso de la variable "hr", los puntos anómalos están por debajo del primer cuartil. Eliminaremos aquellos puntos en los que $hr < 30\%$.

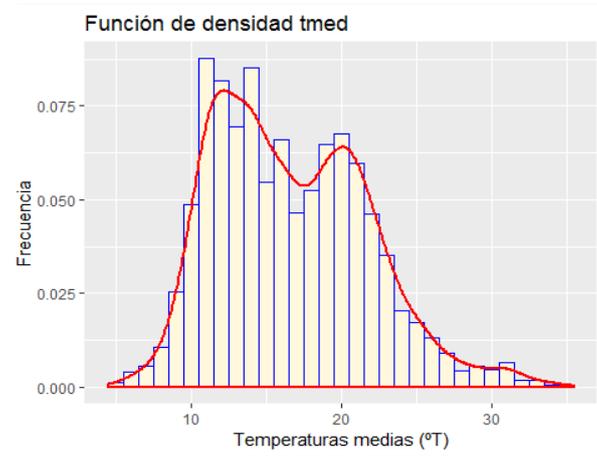


Figura 50. Función de densidad de la variable "tmed"

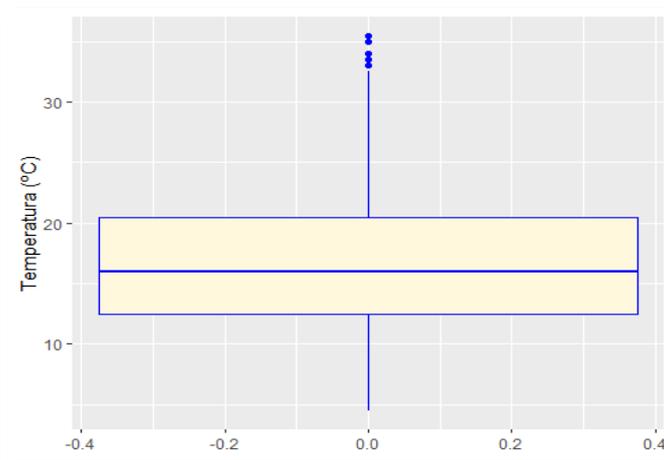


Figura 51. Diagrama de cajas de la variable "tmed"

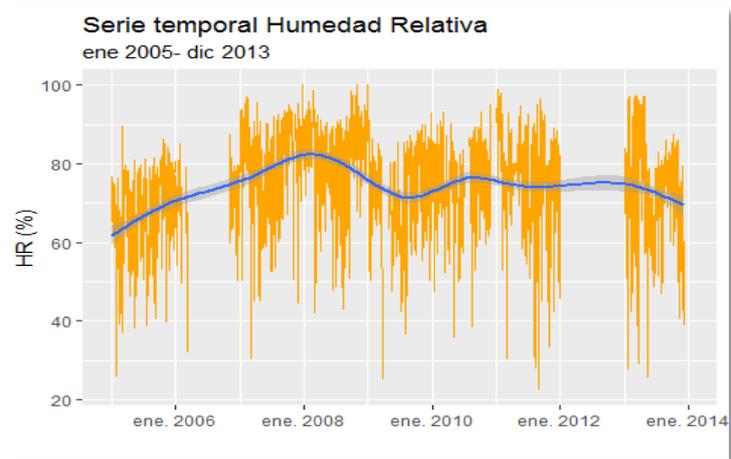


Figura 52. Serie temporal de la variable "hr"

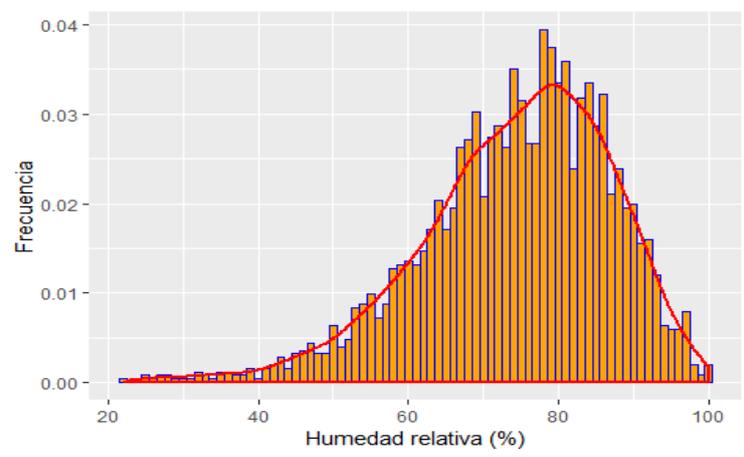


Figura 53. Función de densidad de la variable "hr"

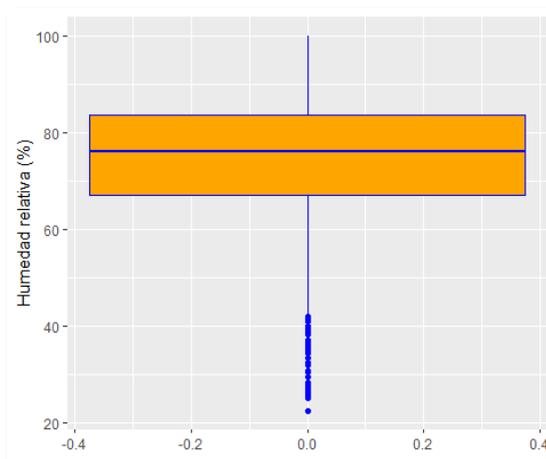


Figura 54. Diagrama de cajas de la variable "hr"

Por último, la variable "gripe" sigue una tendencia claramente estacional, con picos en las primeras semanas de cada año (Figura 55).

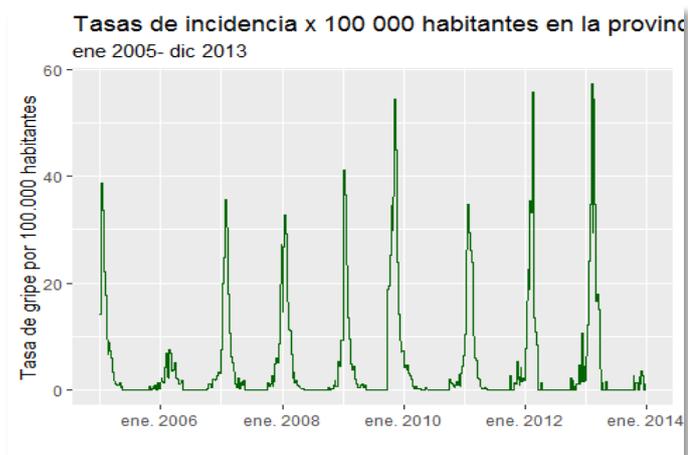


Figura 55. Serie temporal de la variable "gripe"

1.3. Variables independientes cualitativas

Nos centraremos en la principal variable cualitativa: la variable "naf". En el periodo de estudio hay 884 días con intrusión sahariana, que suponen el 26,7% del total de días.

2-. Análisis bivalente

En este apartado exploraremos las posibles relaciones entre las principales variables independientes cuantitativas (PM10, ozono y temperatura) entre sí y con la variable "naf".

2.1. Variables cuantitativas y días con intrusión sahariana

En la gráfica de la Figura 56 podemos observar una baja correlación entre las tres variables. La siguiente gráfica (Figura 57) introduce la variable "naf" como factor, y

vemos como en los días naf (en rojo) las tres variables presentan valores más altos que en los días en los que no hay intrusión (en azul).

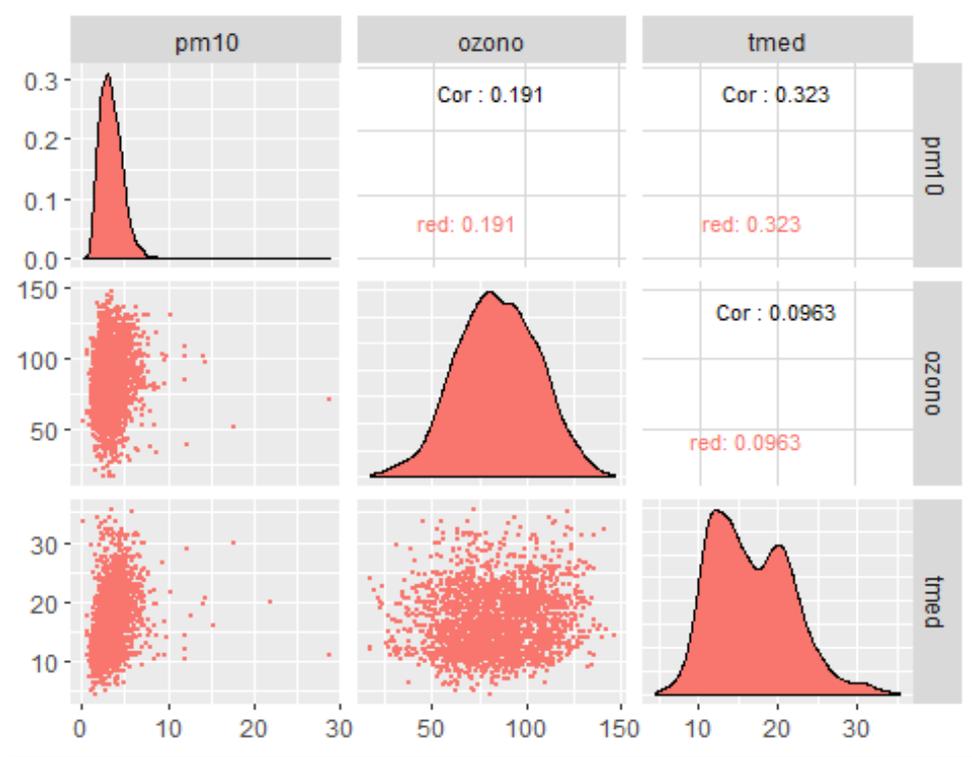


Figura 56. Relaciones entre las variables "pm10", "ozono" y "tmed"

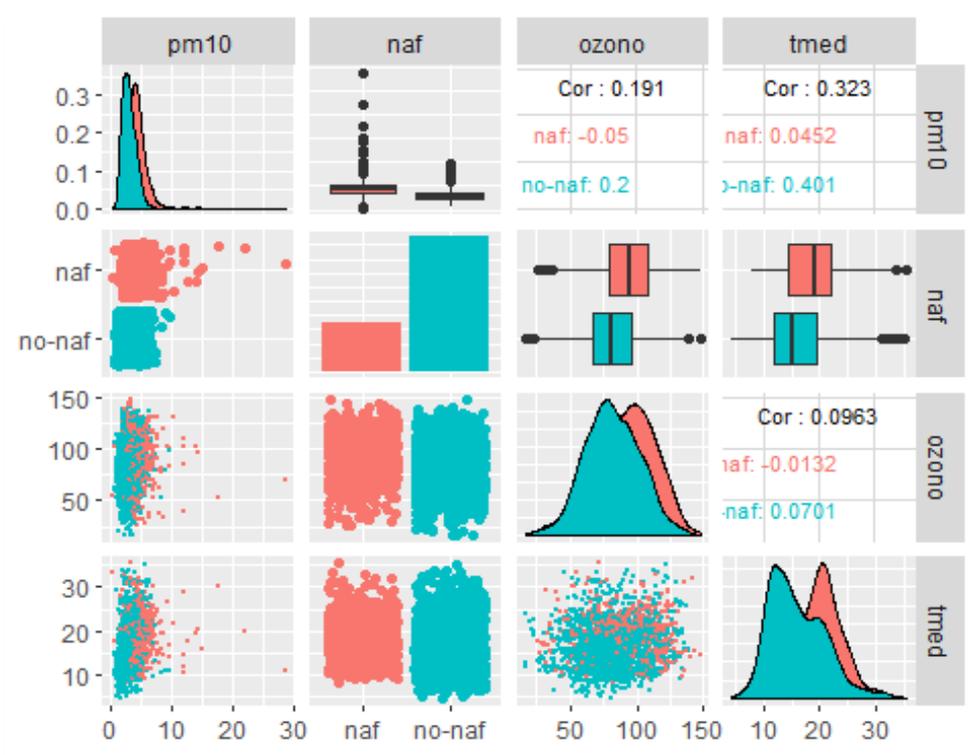


Figura 57. Figura 56. Relaciones entre las variables "pm10", "ozono" y "tmed" en los subgrupos definidos por la variable "naf"

Particularizando para las PM10, vemos que la media en días NAF es de 45,1 ug/m3, mientras que en días sin intrusión es de 30,4 ug/m3. Podemos suponer que el tamaño muestral implica que el t-test es suficientemente robusto, por lo que podemos realizar una prueba t de Student de dos grupos independientes, en la que obtenemos una diferencia entre las dos medias estadísticamente significativa.

Las diferencias en los dos grupos son significativas también en las variables "ozono" y "tmed".

2.2. Relación entre las pm10, ozono y la temperatura media

Hemos visto que las tres variables presentan una correlación lineal baja. Veremos ahora si las PM10 presentan algún tipo de relación no lineal con las otras dos variables. Para ello, desarrollaremos un modelo generalizado aditivo múltiple (GAM) y su gráfico de contorno asociado (Figuras 58-59).

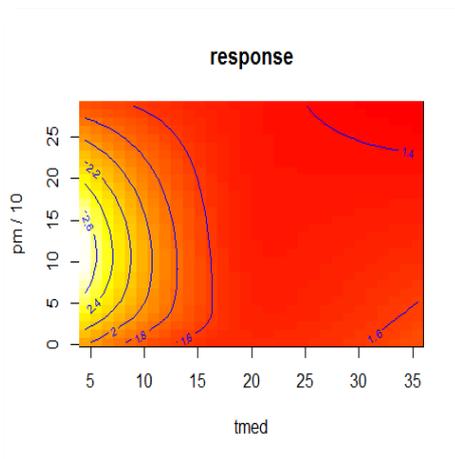


Figura 58. Relación no lineal entre las variables "tmed" y "pm10"

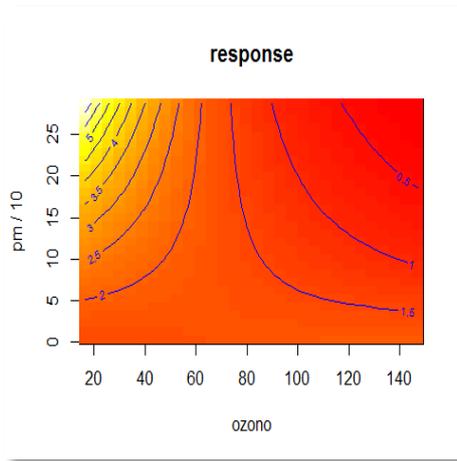


Figura 59. Relación no lineal entre las variables "ozono" y "pm10"

En las gráficas no se observa patrón uniforme entre las variables, aunque valores altos de PM10 parecen correlacionarse mejor con valores más bajos de ozono y de temperaturas.

2.3. Relación entre la variable dependiente y el resto de variables

Ahora veremos la relación entre las variables respuesta (número de muertes naturales, "nunat") y las principales variables independientes. Dado que se asume que en la regresión de Poisson la relación entre variable dependiente (Y) e independiente es $\log(\lambda) = b_0 + b_1(x_i)$, utilizaremos las variables dependientes logarítmicas.

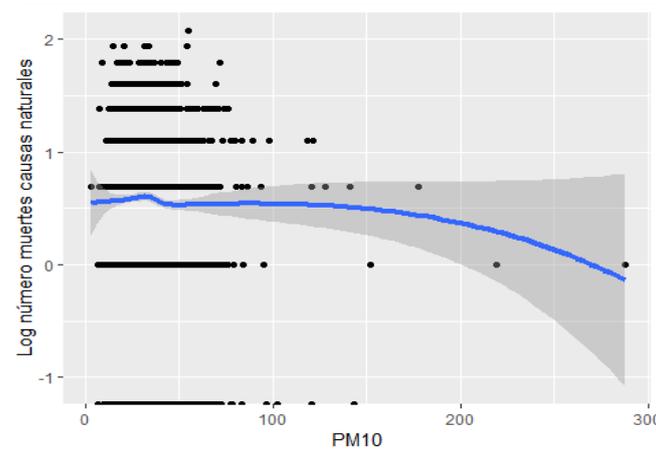


Figura 60. Relación entre "pm10" y "nunat"

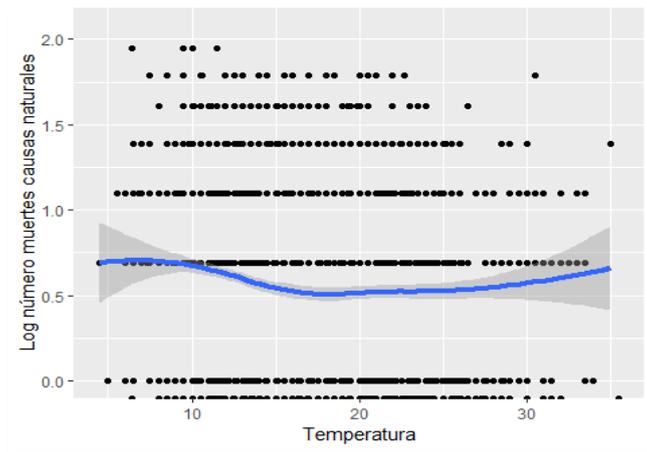


Figura 61. Relación entre "tmed" y "nunat"

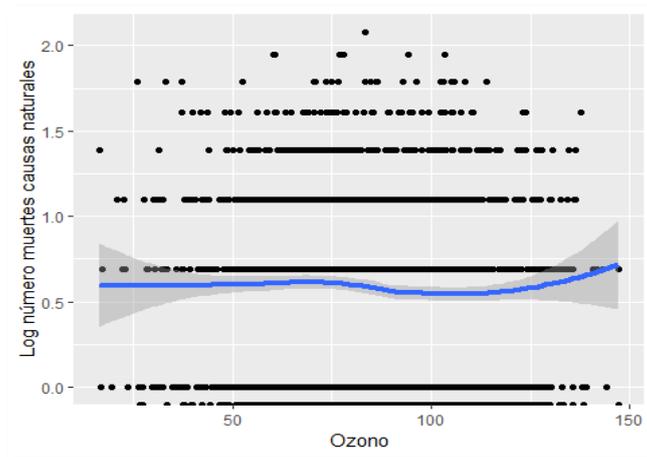


Figura 62. Relación entre "ozono" y "nunat"

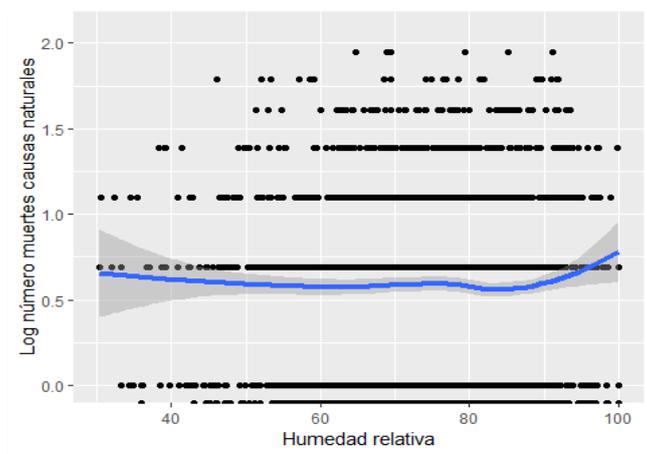


Figura 63. Relación entre "hr" y "nunat"

La relación entre las variables dependiente y no dependiente no parece ser lineal en ninguna de las variables independientes. Por tanto, habrá que aplicar retardos en el efecto para ver posibles asociaciones.

Aunque después evaluaremos cuales son los retardos más adecuados, haremos ahora el análisis gráfico para las PM10 con tres retardos: un día (lag 1), la media del día de la exposición y del siguiente (lag 0-1) y la media de los dos días siguientes (lag 1-2). En las gráficas de las Figuras 64-66 podemos observar la relación con el logaritmo neperiano de "nunat", con relaciones lineales solo para ciertos rangos de concentraciones.

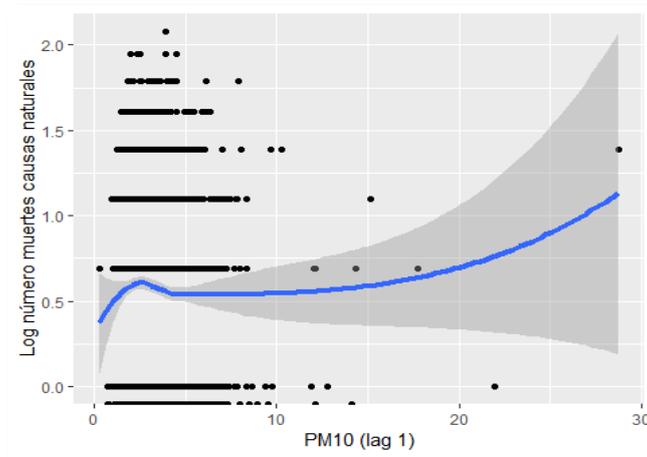


Figura 64. Relación entre "pm10" (lag 1) y "nunat"

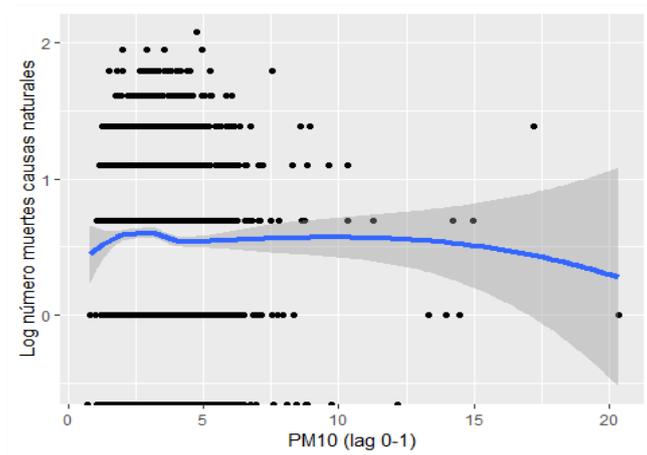


Figura 65. Relación entre "pm10" (lag 0-1) y "nunat"

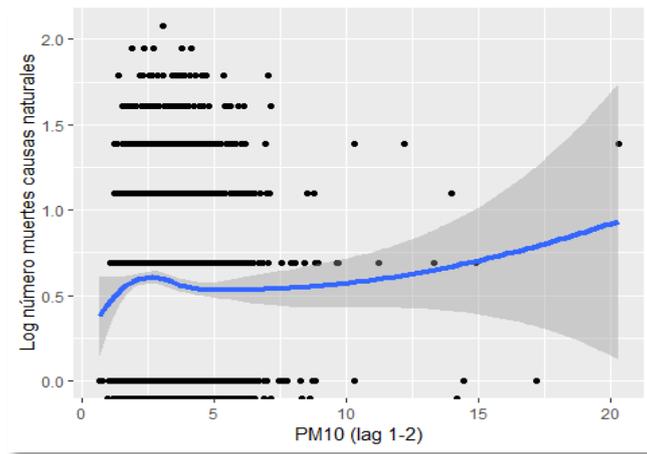


Figura 66. Relación entre "pm10" (lag 1-2) y "nunat"

3) Control de estacionalidad y tendencias a largo plazo

Vamos a ajustar un modelo de regresión de Poisson con una función de tiempo, que denominamos *modelo 0*. Es un modelo flexible spline cúbico en el que utilizamos la opción de "quasipoisson" (con objeto de que el modelo tenga en cuenta la posible sobredispersión en los datos de mortalidad) y una función *spline*.

El modelo tiene la forma:

$$\text{modelo 0: } \log(\lambda) = b_0 + bs(\text{spl}, df = 21),$$

donde *df* son los grados de libertad de la función spline. Como resultado, el parámetro de sobredispersión es de 1,0026. Al ser próximo a uno podemos asegurar que no hay una excesiva sobredispersión en los datos.

Ahora compararemos los valores reales con los valores predichos por el modelo. Para ello, primero utilizaremos los gráficos base de R para representar la serie temporal de mortalidad diaria, tras lo cual incorporaremos nuestro modelo de splines flexibles que hemos creado para modelizar las tendencias a largo plazo (Figura 67).

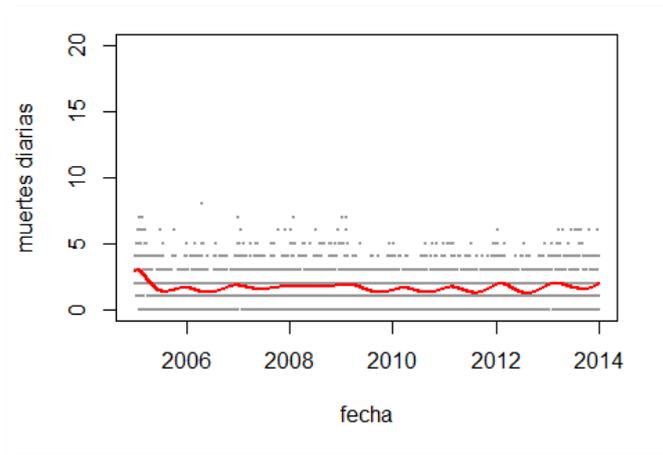


Figura 67. Comparación de los valores reales con los valores predichos por el modelo 0

Si el modelo está bien especificado, la variación residual en las tendencias a largo plazo no debería mostrar un patrón específico y los residuales deberían seguir una distribución aproximadamente normal. Para comprobarlo, representaremos la variación en los residuales de las muertes diarias tras eliminar las tendencias estacionales y a largo plazo (Figura 68), así como el gráfico QQ (Figura 69).

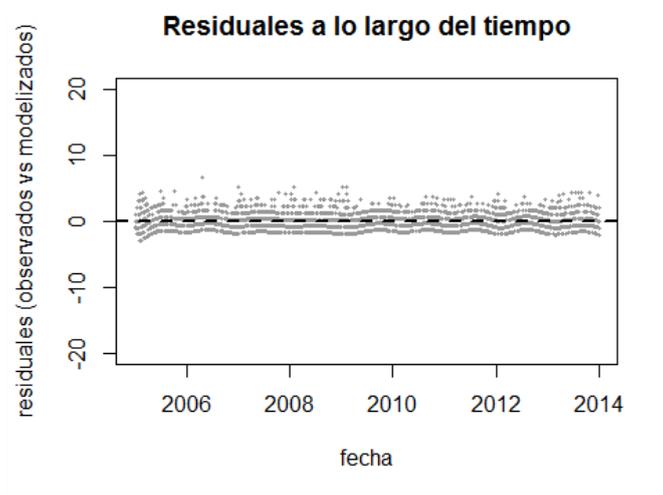


Figura. Residuales a lo largo del tiempo.

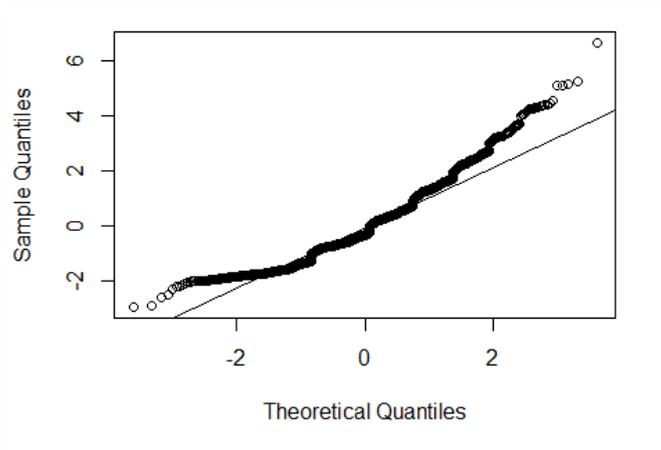


Figura. Diagrama Q-Q.

Podemos observar que hemos conseguido controlar las tendencias temporales estacionales y a largo plazo. El siguiente paso será modelizar las asociaciones entre la exposición a PM10 y la mortalidad a corto plazo, tanto las inmediatas como las asociaciones retardadas.

4) Modelos de asociación entre la exposición y el efecto

1-. Estimación de la asociación PM10-mortalidad diaria

En este apartado estimaremos las asociaciones entre PM10 y la mortalidad diaria, controlando las variables confusoras. En primer lugar estimaremos la asociación inmediata (sin retardos o lag 0) y posteriormente la asociación retardada, utilizando retardos (lags) en el efecto de 1 a 7 días.

1.1-. Asociación sin retardos

Modelo básico ajustado por tendencias temporales a largo plazo

En este *modelo 1a* utilizaremos la variable PM10 directamente, introduciéndola en el modelo ajustado por estacionalidad y tendencias a largo plazo que calculamos en el apartado anterior. Supondremos una relación lineal y sin retardos. También introduciremos una variable de día de la semana (“dow”), para controlar el efecto que puede producir esta variable a corto plazo.

De acuerdo con los resultados de este modelo (Tabla 49), el riesgo relativo (RR) por aumento de $10 \mu/m^3$ de las PM10 es de 0,995 (IC95%: 0,975, 1,015).

	Est	ES	Z	Valor P	RR	IC (inf)	IC (sup)
pm10	-0,0053	0,0102	-0,5167	0,60	0,9947	0,9749	1,0149

Tabla 49. Resultados del modelo 1a

Modelo ajustado por tendencias temporales a largo plazo y temperaturas

Vamos a introducir la variable “temperatura”. En este modelo lo haremos considerando los efectos como inmediatos, aunque posteriormente consideraremos los efectos retardados de los dos posibles efectos que se asocian a la temperatura (efectos sobre la salud por temperaturas bajas y por temperaturas altas), debido a que existen pruebas científicas de que sus efectos se producen a retardos diferentes ¹⁸⁶.

En los modelos introduciremos la temperatura media (tmed). De acuerdo con la gráfica *Mortalidad VS temperatura media* que vimos anteriormente, introduciremos la temperatura suponiendo una relación no lineal mediante la utilización de funciones spline naturales. Para ello, usaremos el paquete *splines*, version 3.5.3, de R, y concretamente su función *ns* (que genera la matriz base B-spline para un spline natural cúbico) con 6 grados de libertad. Tras introducir la temperatura en nuestro modelo, el resultado del riesgo relativo cada incremento en la exposición a PM10 de $10 \mu/m^3$ es RR = 1.00 (IC95%: 0.98, 1.02).

	Est	ES	Z	Valor P	RR	IC (inf)	IC (sup)
PM10	-0,0022	0,0108	-0,2438	0,80	0,9973	0,9765	1,0187

Tabla 50. Resultados del modelo 1b

Modelo ajustado por tendencias temporales, temperatura y ozono.

Vamos a introducir en el modelo anterior la variable “somo”, indicadora de los potenciales efectos sobre la mortalidad del ozono ¹³⁷, que es una variable de tipo umbral en la que suponemos que por debajo de $70 \mu/m^3$ no hay efectos y que, si la concentración de ozono es superior a este umbral, la relación es de tipo lineal.

De acuerdo con el modelo 1c, la exposición a PM10 tiene un RR = 1.00 (IC95%: 0.98, 1.03) por cada incremento de 10 μm^3 , mientras que para el ozono, este aumento en la exposición está asociado con un RR = 1.00 (IC95%: 0.997, 1.000). Es decir, el modelo 1c no detecta prácticamente efecto sobre la salud asociado a la exposición a PM10 ni ozono.

	Est	ES	Z	Valor P	RR	IC (inf)	IC (sup)
<i>PM10</i>	0,0016	0,0118	0,1323	0,8947	1,0016	0,9786	1,0251
<i>Ozono</i>	-0,0018	0,0010	-1,7375	0,0823	0,9982	0,9961	1,0002

Tabla 51. Resultados del modelo 1c

Modelo ajustado por tendencias temporales, temperatura, ozono y humedad.

Vamos a introducir ahora otra variable, la humedad, mediante la utilización de un spline con tres grados de libertad (modelo 1d).

Tal y como se observa en la Tabla 52, al introducir la humedad en el modelo, el riesgo relativo de las PM10 varía ligeramente: RR= 0.99 (IC95%: 0.97, 1.02).

	Est	ES	Z	Valor P	RR	IC (inf)	IC (sup)
<i>PM10</i>	-0,0020	0,0128	-0,1523	0,8789	0,9980	0,9733	1,0235
<i>Ozono</i>	-0,0017	0,0012	-1,4849	0,1376	0,9983	0,9960	1,0005

Tabla 52. Resultados del modelo 1d

Estos modelos tienen un carácter exploratorio, pues las pruebas científicas publicadas muestran que los modelos que consideran solo efectos inmediatos no recogen de manera apropiada la asociación a corto plazo entre exposición a contaminantes atmosféricos y mortalidad. Por ello, investigaremos a continuación las asociaciones retardadas.

1.2-. Asociaciones retardadas (I): Modelo con retardos únicos.

A continuación calcularemos los modelos con retardos o *lags* (por el término en inglés) “uno a uno”. Es decir, modelos con todos los retardos sin ajustar éstos entre sí.

Denominaremos a este modelo modelo *modelag*. Muy probablemente, los lags estarán correlacionados entre sí, pero eso lo resolveremos después.

Los retardos en los efectos de las exposiciones a PM, ozono, temperatura y humedad los creamos con la función $Lag(data,n)$, del paquete *tsModel*. En el caso de PM10, los mayores efectos parecen darse a los cuatro días de la exposición, mientras que para el ozono parece que se producen a los dos días (Tablas 53-54).

	RR	CI low	CI high
Lag 0	0,9978	0,9730	1,0232
Lag 1	1,0086	0,9841	1,0337
Lag 2	1,0170	0,9932	1,0414
Lag 3	0,9940	0,9685	1,0202
Lag 4	1,0182	0,9944	1,0426
Lag 5	0,9978	0,9731	1,0231
Lag 6	0,9871	0,9615	1,0134
Lag 7	0,9790	0,9526	1,0061

Tabla 53. Resultados del modelo modelag para la variable "pm10"

	RR	IC inf	IC sup
Lag 0	0,9982	0,9959	1,0005
Lag 1	0,9991	0,9968	1,0014
Lag 2	1,0002	0,9979	1,0025
Lag 3	0,9990	0,9967	1,0013
Lag 4	0,9971	0,9948	0,9994
Lag 5	0,9985	0,9963	1,0008
Lag 6	0,9978	0,9955	1,0001
Lag 7	0,9977	0,9954	1,0000

Tabla 54. Resultados del modelo modelag para la variable "somo"

Vemos ahora gráficamente la distribución de los riesgos relativos con retardos para las distintas variables (Figuras 68-69). Ninguno de los RR es significativo.

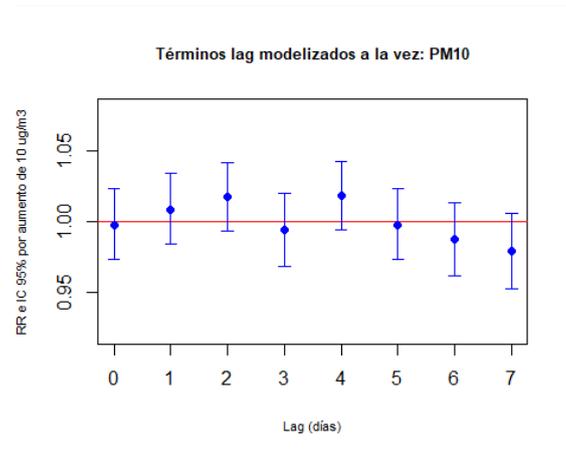


Figura 68. Términos lag modelizados a la vez para la variable "pm10"

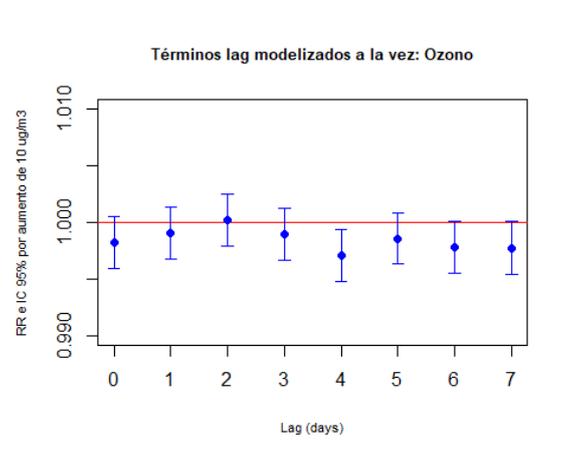


Figura 69. Términos lag modelizados a la vez para la variable "ozono"

1.3-. Asociaciones retardadas (II): Modelos con retardos distribuidos y sin restricciones

Ahora, en vez de ver los lags uno a uno los veremos ahora todos a la vez, sin restricciones en los valores de riesgos relativos, de este modo eliminemos las posibles correlaciones entre los lags.

Para ello utilizamos *modelos no lineales con retardos distribuidos* (DLMN) y la extensión a los modelos aditivos generalizados (GAMs). Creamos ahora el modelo de lag distribuidos sin restricciones (*modelo 2*), para después estimar los efectos a cada retardo.

Introduciremos en el modelo cada variable con todos los lags de 0 a 7 (sin restricciones en los retardos) y también incorporaremos el resto de las variables (día de

la semana, la gripe y días festivos) sin retardos. Para la temperatura asumiremos una relación no lineal, con una función de splines con 6 grados de libertad. Ante el riesgo de que se produzca un efecto de desplazamiento de la mortalidad (conocido como *harvesting* o efecto colateral), calcularemos también el efecto neto acumulativo de la exposición a partículas, para ver el efecto global.

En las Figura 70 y en la Tabla 55 vemos que el efecto mayor se produce con retardos de dos y cuatro días, presentando el primero de ellos un RR significativo. El efecto acumulado es no significativo (Figura 71).

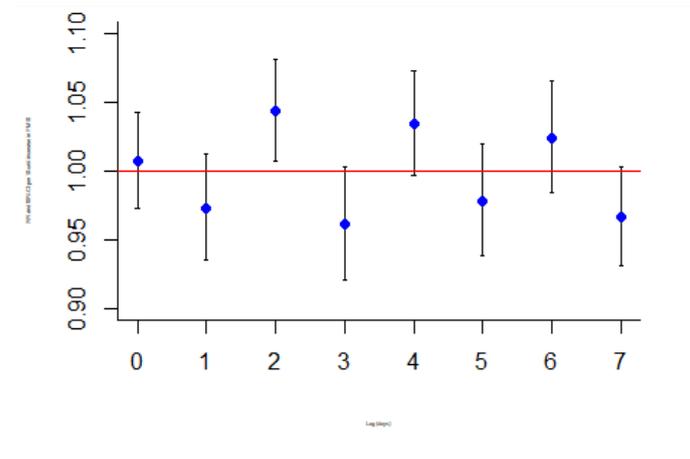


Figura 70. Resultados del modelo 2 para la variable "pm10"

	RR	IC inf	IC sup
Lag 0	1,0068	0,9723	1,0425
Lag 1	0,9731	0,9357	1,0120
Lag 2	1,0435	1,0075	1,0808
Lag 3	0,9614	0,9212	1,0033
Lag 4	1,0343	0,9972	1,0728
Lag 5	0,9783	0,9382	1,0201
Lag 2	1,0239	0,9840	1,0653
Lag 7	0,9666	0,9313	1,0033

Tabla 55. Resultados del modelo 2 para la variable "pm10"

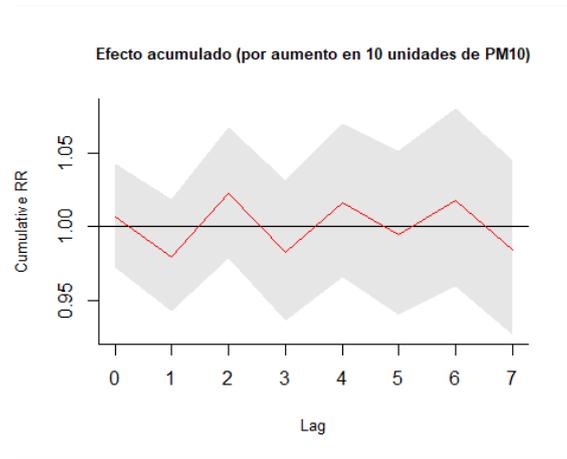


Figura 71. Efecto acumulado según el modelo 2 para la variable "pm10"

Efecto acumulado (por aumento en 10 unidades de PM10)	
RR	0.9843132
IC inf	0.9268365
IC sup	1.0453543

Tabla 56. Efecto acumulado de la variable "pm10" según el modelo 2

En el caso del ozono, los efectos mayores aparecen a los dos días de la exposición, aunque el efecto no es estadísticamente significativo (Figura 72).

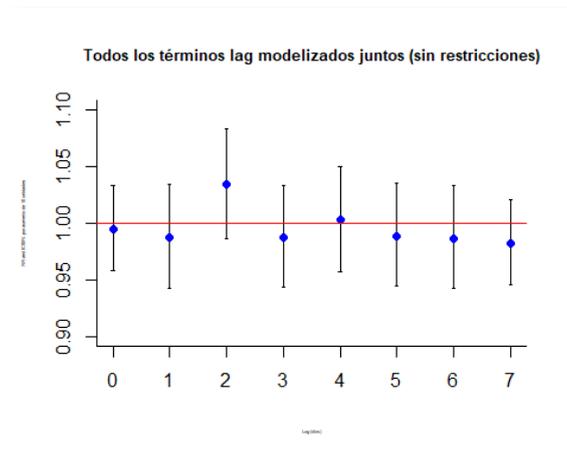


Figura 72. Resultados del modelo 2 para la variable "ozono"

En cuanto a la temperatura, según diversos autores la asociación dosis-respuesta es inherentemente no lineal, y suele tener efectos a retardos distintos en función de si la exposición es a temperaturas altas o bajas. Así, las temperaturas altas causan un

exceso de riesgo a lags pequeños (de unos pocos días), mientras que los efectos de las temperaturas bajas pueden producirse a las tres o cuatro semanas.

Para estudiar este hecho en nuestro caso, vamos a realizar de nuevo el modelo 2 pero extendiendo el retardo a 21 días. Lo denominamos *modelo 2t*, y sus resultados se muestran en las Figuras 73 y 74. Podemos observar que hay mucha variabilidad en los riesgos relativos. Para un retardo de 5 días, el RR es significativo.

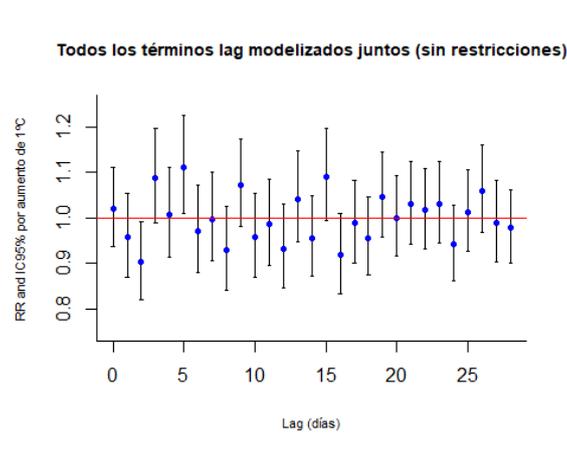


Figura 73. Resultados del modelo 2t para la variable "tmed"

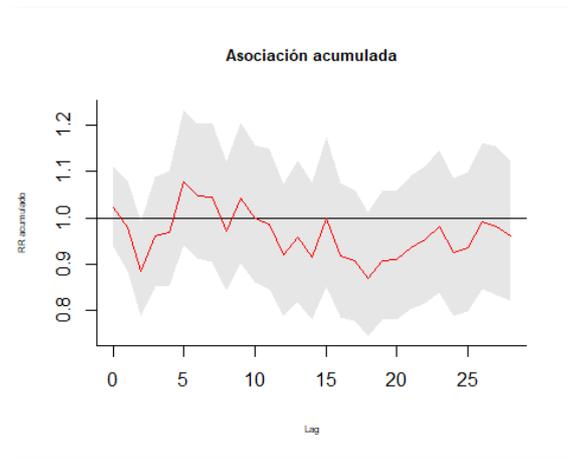


Figura 74. Efecto acumulado según el modelo 2t para la variable "tmed"

La colinearidad entre los términos del modelo (i.e., entre los lags) puede resultar en estimaciones poco precisas. Para tratar de superar este problema vamos a hacer restricciones en los modelos, comprobando de camino si alguna combinación de retardos proporciona resultados interesantes.

1.4-. Asociaciones retardadas (III): Modelos con retardos distribuidos y con restricciones

Para reducir la colinearidad entre los retardos en los modelos anteriores y ver qué retardos combinados pudieran interesarnos, plantearemos ahora restricciones a dichos retardos. Vamos a seguir utilizando modelos DLNM, pero ahora imponiendo restricciones en los RR de los lags.

Para las PM10, exploramos los lags 0:1, 0:2 y 2:5 (figuras 75-76) y vemos que ninguno de los retardos con restricciones que hemos considerado presenta RR significativos.

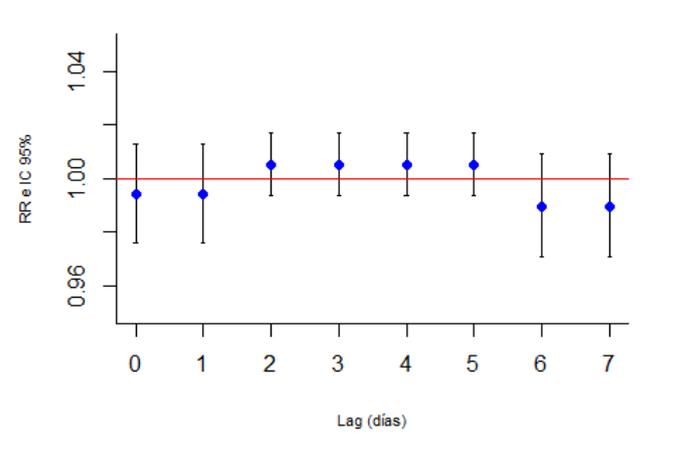


Figura 75. Resultados del modelo con retardos 0:1 y 2:5 para la variable “pm10”

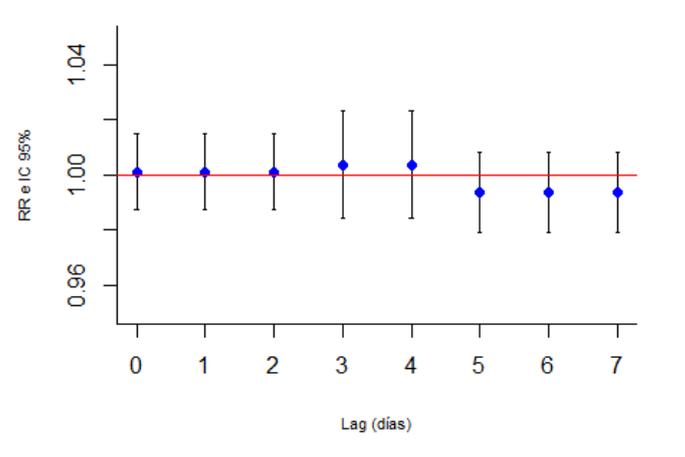


Figura 76. Resultados del modelo con retardos 0:2 para la variable “pm10”

1.5-. Elección de los retardos a incluir en el modelo

El objetivo ahora será definir el modelo que se ajusta mejor a los datos, utilizando unos retardos concretos para las PM10, el ozono y la temperatura. Para ello vamos a utilizar el criterio de menor GCV (*Generalized cross validation score*, o validación cruzada generalizada).

Partículas PM10

Basándonos en estudios previos, los modelos con los retardos que estudiamos para las PM10 son:

- pm0: Lag 0 (exposición sin retardos).
- pm1: Lag 1 (exposición el día antes del efecto).
- pm2: Lag 2 (exposición dos días antes del efecto)
- pm3: Lag 0-1 (media móvil de dos días: del día del efecto y del anterior).
- pm4: lag 0-2 (media móvil de tres días: del día del efecto y de los dos días anteriores).
- pm5: lag 0-5 (media móvil de seis días: del día del efecto y de los cinco días anteriores).
- pm6: lag 2-5 (lags de efectos retardados media móvil de cuatro días: desde dos hasta cinco días anteriores al día del efecto).

El modelo que mejor se ajusta a los datos es el modelo pm2, con lag 2 (Tabla 58).

Modelo	RR	CI low	CI high	GCV
<i>Lag 0</i>	0,9910	0,9614	1,0214	1,2036
<i>Lag 1</i>	0,9891	0,9601	1,0190	1,2124
<i>Lag 2</i>	1,0201	0,9927	1,0483	1,2004
<i>Lag 0-1</i>	0,9861	0,9518	1,0217	1,2116
<i>Lag 0-2</i>	1,0064	0,9684	1,0459	1,2127
<i>Lag 0-5</i>	1,0095	0,9593	1,0623	1,2203
<i>Lag 2-5</i>	1,0143	0,9714	1,0592	1,2079

Tabla 57. Resultados de los modelos "pm"

Ozono

Para el ozono comprobamos los mismos retardos que para partículas. En el caso del ozono, es el modelo oz6, con un retardo del efecto tras la exposición de dos a cinco días, el que tiene menor GCV (Tabla 59).

<i>Modelo</i>	<i>RR</i>	<i>CI low</i>	<i>CI high</i>	<i>GCV</i>
<i>Lag 0</i>	0,9988	0,9960	1,0016	1,2100
<i>Lag 1</i>	0,9993	0,9965	1,0022	1,2156
<i>Lag 2</i>	1,0010	0,9982	1,0039	1,2107
<i>Lag 0-1</i>	0,9989	0,9958	1,0021	1,2130
<i>Lag 0-2</i>	1,0001	0,9966	1,0036	1,2149
<i>Lag 0-5</i>	0,9985	0,9941	1,0029	1,2106
<i>Lag 2-5</i>	0,9984	0,9946	1,0023	1,2064

Tabla 58. Resultados de los modelos "oz"

Temperatura

El caso de las temperaturas el tratamiento es distinto, pues los efectos pueden darse incluso tres semanas después de la exposición. Por tanto, la estructura de los retardos a estudiar será también distinta.

Concretamente, creamos un *modelo 2t* donde incluimos el efecto acumulado de la temperatura en 21 días, para controlar su efecto sobre la mortalidad.

En la Figura 77 vemos los resultados del modelo, y observamos que el efecto de las temperaturas bajas parece ser superior al de las temperaturas altas

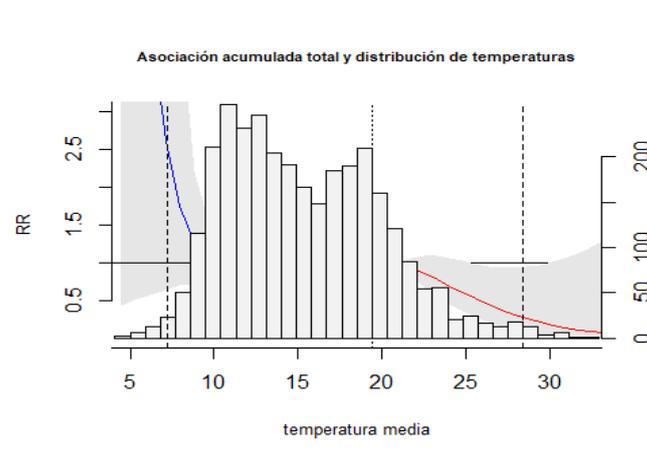


Figura 77. Resultados del modelo 2t

Utilizar este modelo, no obstante, supondría también introducir un elevado número de términos, lo que perjudicaría el ajuste a los datos. Como el objetivo para la

temperatura es controlar su efecto, más que describirlo, vamos a estimar el retardo que mejor se ajusta a los datos, suponiendo una relación no lineal con 6 grados de libertad.

Los modelos que ajustaremos con sus correspondientes retardos (en su caso) son:

- t0: Lag 0 (exposición sin retardos).
- t1: Lag 0-1 (media móvil de dos días: del día del efecto y del anterior).
- t2: lag 0-3 (media móvil de tres días: del día del efecto y de los tres días anteriores).
- t3: lag 0 y lag 1-3 (términos separados del día actual y de la media de los tres días anteriores).
- t4: lag 0-7 (media móvil de seis días: del día del efecto y de los siete días anteriores).
- t5: lag 0-14 (lags de efectos retardados media móvil de cuatro días: desde dos hasta cinco días anteriores al día del efecto).
- t6: lag 0-21 (lags de efectos retardados media móvil de cuatro días: desde dos hasta cinco días anteriores al día del efecto).

En la Tabla 60 podemos observar que el modelo con menor GCV es el modelo *t1* (media entre el día de la exposición y el siguiente).

<i>Modelo</i>	<i>GCV</i>
<i>Lag 0</i>	1,1988
<i>Lag 0-1</i>	1,1966
<i>Lag 0-3</i>	1,1975
<i>Lag 1-3</i>	1,1966
<i>Lag 0-7</i>	1,1995
<i>Lag 0-14</i>	1,2214
<i>Lag 0-21</i>	1,2608

Tabla 59. Resultados de los modelos "t"

Humedad

Por último, comprobamos para la humedad los mismos retardos fijos que para las partículas y el ozono (Tabla 61). Para controlar el posible efecto de la humedad, introduciremos posteriormente en el modelo la variable sin retardos.

Modelo	GCV
<i>Lag 0</i>	1,1963
<i>Lag 1</i>	1,1965
<i>Lag 2</i>	1,1996
<i>Lag 0-1</i>	1,1976
<i>Lag 0-2</i>	1,2004
<i>Lag 0-5</i>	1,2078
<i>Lag 2-5</i>	1,2062

Tabla 60. Resultados de los modelos "hr"

Días con intrusión sahariana

Los días con intrusión sahariana (tanto la variable categórica como la continua) se introducirán con los mismos retardos que las PM10.

2-. Modelo de efectos de la exposición a PM10

En este apartado vamos a considerar modelos en los utilizaremos las variables con los retardos especificados para cada variable en el apartado anterior. Para comparar los modelos, utilizamos de nuevo el criterio del valor de GCV. Introducimos la temperatura mediante una relación no lineal y sin retardos y el ozono utilizando la variable como.

En este modelo completo (*Mp8*), el RR para un aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 es de 1,025 (IC95%: 0,999;1,051), con un valor p de 0,058, por lo que lo consideramos como un efecto no significativo. El efecto sobre la mortalidad diaria tampoco es significativo en el resto de las variables (Tabla 62).

	Est	Error std	Valor p	RR	IC (inf)	IC (sup)
<i>PM10</i>	0,0243	0,0128	0,0579	1,0246	0,9992	1,0507
<i>NAF</i>	0,0334	0,0471	0,4790	1,0339	0,9427	1,1340
<i>ozono</i>	-0,0018	0,0017	0,2840	0,9982	0,9950	1,0015
<i>gripe</i>	0,0026	0,0022	0,2324	1,0026	0,9983	1,0070
<i>festivos</i>	-0,0449	0,0961	0,6409	0,9561	0,7919	1,1544

Tabla 61. Resultados del modelo Mp8

Creamos ahora los modelos Mp7 a partir del Mp8. La variable que eliminaremos de cada modelo dará nombre al mismo. De todos los modelos, nos quedamos con el modelo *Mp7_hr*, que descarta la variable humedad relativa (Tabla 63).

<i>Modelo</i>	GCV
<i>Sin variable ozono</i>	1.162497
<i>Sin variable tm</i>	1.170924
<i>Sin variable hr</i>	1.143444
<i>Sin variable gripe</i>	1.161155
<i>Sin variable festivos</i>	1.160032

Tabla 62. Resultados de los modelos Mp7

Los resultados de este modelo se muestran en la Tabla 64. Vemos que, tras eliminar la variable de la humedad relativa, el RR del aumento de la exposición a PM10 de 10 µg/m³ es significativo, con un RR= 1,029 (IC95%: 1,005; 1,053).

	Est	Error std	Valor p	RR	IC (inf)	IC (sup)
<i>PM10</i>	0,0284	0,0120	0,0174	1,0289	1,0050	1,0533
<i>NAF</i>	0,0386	0,0423	0,3605	1,0394	0,9568	1,1291
<i>ozono</i>	-0,0023	0,0015	0,1173	0,9977	0,9949	1,0006
<i>gripe</i>	0,0033	0,0019	0,0920	1,0033	0,9995	1,0071
<i>festivos</i>	-0,0306	0,0855	0,7201	0,9698	0,8201	1,1468

Tabla 63. Resultados del modelo Mp7_hr

Repetimos el mismo procedimiento para los modelos con seis predictores. Haciendo un razonamiento análogo al de antes, el modelo que elegiremos será el modelo sin la variable de días festivos: *Mp6_fst* (Tabla 65).

<i>Modelo</i>	GCV
<i>Sin variable ozono</i>	1.142878
<i>Sin variable tm</i>	1.149487
<i>Sin variable gripe</i>	1.143653
<i>Sin variable festivos</i>	1.142121

Tabla 64. Resultados de los modelos Mp6

Los resultados de este modelo se muestran en la Tabla 66. El RR del aumento de la exposición a PM10 de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sigue siendo significativo: RR= 1,029 (IC95%: 1.005; 1.053). El resto de las variables tienen valores p por encima del criterio de significancia estadística.

	Est	Error std	Valor p	RR	IC (inf)	IC (sup)
<i>PM10</i>	0,0285	0,0119	0,0169	1,0289	1,0051	1,0533
<i>NAF</i>	0,0391	0,0422	0,3541	1,0399	0,9573	1,1296
<i>ozono</i>	-0,0023	0,0015	0,1166	0,9977	0,9949	1,0006
<i>gripe</i>	0,0285	0,0119	0,0169	1,0289	1,0051	1,0533

Tabla 65. Resultados del modelo Mp6_fst

Continuamos con los modelos de cinco variables. En la Tabla 67 vemos que el modelo Mp5 sin la variable “ozono” es el de menor GCV.

<i>Modelo</i>	GCV
<i>Sin variable ozono</i>	1,1418
<i>Sin variable tm</i>	1,1482
<i>Sin variable gripe</i>	1,1423

Tabla 66. Resultados de los modelos Mp5

De acuerdo con los resultados de este modelo (Tabla 68), el RR del aumento de la exposición a PM10 de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ es significativo ($p < 0,05$), siendo la estimación RR= 1,023 (IC95%: 1,002; 1,044). La variable gripe es también significativa, mientras que los días con intrusión sahariana tienen un riesgo relativo asociado de 1,062, pero no es estadísticamente significativo ($p = 0,10$).

	Coef	Error std	Valor p	RR	IC (inf)	IC (sup)
<i>PM10</i>	0,0228	0,0106	0,0316	1,0230	1,0020	1,0445
<i>NAF</i>	0,0605	0,0373	0,1047	1,0624	0,9875	1,1430
<i>gripe</i>	0,0046	0,0018	0,0090	1,0046	1,0012	1,0081

Tabla 67. Resultados del modelo Mp5_o3

A partir del modelo con cinco predictores, construiremos los dos posibles modelos con cuatro variables (Tabla 69). Ambos modelos tienen un GCV mayor que el modelo Mp5_o3 (GCV = 1.142).

<i>Modelo</i>	<i>GCV</i>
<i>Sin variable tm</i>	1,149
<i>Sin variable gripe</i>	1,144

Tabla 68. Resultados de los modelos Mp4

Por tanto, nos quedamos con el modelo con cinco predictores Mp5_o3, que denominaremos modelo *Mp5*. Los resultados de este modelo se mostraron en la Tabla 68.

3-. Modelo de interacción entre PM10 y los días con intrusión sahariana

Finalmente, vamos a estudiar si los días de intrusión sahariana son un factor modificador del efecto de las PM10, que es realmente el objetivo de este estudio. Lo haremos introduciendo un término de interacción, pm10:naf. Esto implicaría la existencia de dos grupos distintos en la muestra, definidos por la presencia o ausencia del día de intrusión sahariana.

Para construir este modelo, que denominaremos *Mp5int*, utilizamos el mejor modelo posible de acuerdo con los criterios establecidos en el apartado anterior: el modelo *Mp5*. Losm resultados se muestran en la Tabla 70.

	<i>Coef</i>	<i>Error std</i>	<i>Z</i>	<i>Valor p</i>	<i>RR</i>	<i>IC (inf)</i>	<i>IC (sup)</i>
<i>(Intercept)</i>	0,773	0,238	3,247	0,001	2,166	1,358	3,453
<i>Lag(pm10, 2)</i>	0,016	0,031	0,530	0,596	1,016	0,957	1,080
<i>Lag(pm10, 2):Lag(naf, 2)</i>	0,005	0,021	0,223	0,824	1,005	0,964	1,047
<i>Lag(naf, 2)</i>	0,043	0,089	0,479	0,632	1,044	0,877	1,242
<i>gripe</i>	0,005	0,002	2,603	0,009	1,005	1,001	1,008

Tabla 69. Resultados del modelo Mp5int

Los resultados muestran que en días sin intrusión sahariana el RR del incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración de PM10 es de 1,016. En días con intrusión, realizando los cálculos pertinentes, obtenemos que RR = 1,021. El riesgo relativo por tanto aumenta en los días con intrusión sahariana. Sin embargo, vemos que la interacción no es

significativa. Efectivamente, si comparamos ambos modelos, podemos observar que no hay diferencias estadísticamente significativas entre ambos:

<i>Resid. Df</i>	<i>Resid. Dev</i>	<i>Df</i>	<i>Deviance</i>	<i>Pr(>Chi)</i>
2845	3207.706	NA	NA	NA
2844	3207.657	1	0.048612	0.8236972

Tabla 70. Resultados de la prueba ANOVA de los modelos Mp5_o3 y Mp5int

5) Validación del modelo

La última parte de la modelización consiste en comprobar el modelo, es decir, evaluar su validez. Para ello se puede hacer un diagrama de dispersión de los residuales de la deviance frente al tiempo los gráficos de los residuales, así como un análisis de sensibilidad, por ejemplo con cambiando los términos para el control de la estacionalidad y de las tendencias o especificando las exposiciones de manera diferente.

Optamos por la primera opción. Para ver el gráfico con los residuales partimos del modelo final, *Mp5* y generamos los residuales de la deviance. En la Figura XX observamos que la mayoría de los valores está entre +1.96 y -1.96 y no parece haber ningún patrón particular a lo largo del tiempo.

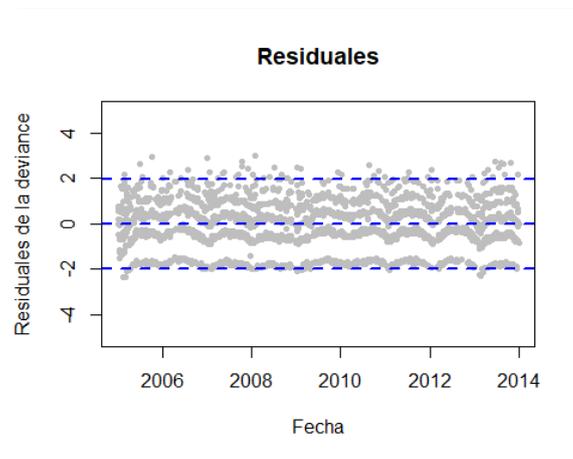


Figura 78. Residuales de la deviance VS tiempo

Por último comprobamos la autocorrelación parcial del modelo, y observamos (Figura 79) que la autocorrelación en los residuos de la deviance es asumible, con una confianza del 95%, lo que significa que las variables en el modelo explican la mayor parte de la autocorrelación en la serie temporal. Damos por bueno, por tanto, el modelo *Mp5*.

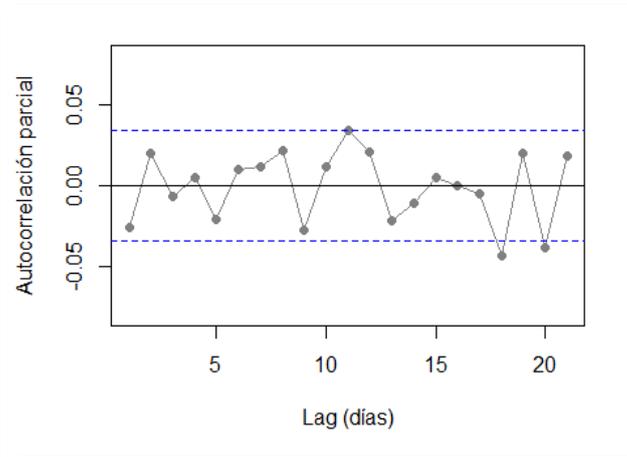


Figura 79. Autocorrelación parcial en el modelo Mp5

4.7. Discusión e incertidumbres

Discusión “a colocar”:

De acuerdo con nuestro conocimiento, este tipo de evaluaciones de impacto en salud de planes, programas o políticas no se ha realizado aún en España, contándose tan solo con experiencias puntuales proyectos de regeneración urbana ²¹¹. Sí que se han hecho algún estudio de coste-beneficio, como el del carril-bici de Sevilla ²¹², o de los costes económicos por los efectos en la salud de la contaminación atmosférica, como en el marco del proyecto Aphekom ⁵⁵ o en un estudio de la contaminación en Barcelona ²¹³, si bien no se ha hecho de modo integral, en el marco de un plan o programa.

Se estima que realizar este tipo de evaluaciones con carácter previo o simultánea a la elaboración de los planes tendrían numerosas ventajas, pues las predicciones de los impactos se realizan de acuerdo con el estado actual de las pruebas científicas, lo que confiere fiabilidad a las estimaciones, y se realizan de una manera transparente.

En primer lugar, se mostraría el grado de cumplimiento de la finalidad principal de las normas sobre evaluación y gestión de la calidad del aire: proteger la salud humana. Y, más allá de la justificación habitual de los planes (cumplimiento de las normas que *obligan* a elaborar un plan de calidad del aire cuando hay superaciones), se proporcionarían argumentos de peso para la elaboración del plan y la ejecución de medidas que implicasen la reducción de la contaminación (con un *ahorro* cuantificable, tanto en unidades de salud como unidades monetarias).

Esto podría apoyar su implantación efectiva, ya que se facilitaría la comprensión de personas con responsabilidad gestora y/o política de las ventajas de la ejecución de los planes de mejora. También podría, asimismo, ayudar a la comprensión de las ventajas de los planes a la ciudadanía, pues las EIS pueden predecir las consecuencias que tendrían para la salud las medidas propuestas de un modo que resulte inteligible. Esto además facilitaría que se realizasen procesos participativos en la población más allá de la participación *pasiva* (desde el punto de vista de la administración) que supone el periodo de información pública.

Por último, al tener especialmente en cuenta la población vulnerable (y, especialmente, la población desfavorecida) de la zona, la EIS podría apoyar a que el plan contribuyese a disminuir las desigualdades en salud (o, al menos, a que no aumenten). Por tanto, la EIS apoyaría que los planes contasen con una *mirada desde la salud* que promoviese una mejor salud no solo mediante la reducción de la contaminación, sino desde la disminución de las inequidades.

Las estimaciones están sujetas a diversas incertidumbres:

- 1) *Cumplimiento del objetivo del PMCA por ejecución de las medidas*. Es la principal asunción en el estudio de cuantificación de los impactos en salud. Para las partículas PM10 se dice, concretamente, que “el valor medio anual considerado de seguridad para evitar

superaciones diarias se sitúa en $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, por lo que el objetivo de reducción se fija en esa cantidad”.

- 2) *Relación PM_{2,5}/PM₁₀ en la zona de estudio.* Asumimos que dicha relación es 0.58, valor obtenido de un estudio en el que se caracterizó el MPA en la zona de estudio en una campaña de medición mucho menos representativa tanto en lo que respecta a la duración de la misma como al número de estaciones de medida utilizadas, lo que introduce un alto grado de incertidumbre. El uso de este factor implica además que el valor de contraste en el escenario 1 que se ha utilizado en el análisis en profundidad haya sido $18.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En cualquier caso, debido a que este factor se ha utilizado para las concentraciones de exposición no se espera que la diferencia en los resultados finales por usar un factor u otro (como el valor por defecto de AirQ+, 0.65) sea significativa.
- 3) *Validez y representatividad de las mediciones de contaminantes.* De forma general, hemos asumido la validez de los equipos y/o laboratorios que han realizado las mediciones, que éstos son representativos, entendiendo que la ubicación de los puntos de muestreo proporcionan las concentraciones a las que las poblaciones pueden estar expuestas durante un periodo de tiempo significativo. Es decir, que miden realmente la exposición de la población y además que los datos son representativos de la exposición media de la población en su conjunto.
- 4) *Exposición idéntica para toda la población de cada municipio.* Se ha realizado un *pretratamiento* de los datos de exposición a partículas con objeto de obtener la exposición a nivel municipal de un modo lo más realista posible, para lo que se ha supuesto que las estaciones miden la exposición de una población similar, siendo la exposición “compartida” (como media de dos o más estaciones) representativa de la exposición media de los habitantes de cada municipio. En todo caso, los posibles errores derivados de asumir estos hechos podrían originar ciertas variaciones en los cálculos numéricos de la ERS-CA, aunque se estima que el resultado final no diferiría esencialmente.
- 5) *Exposición ocupacional no relevante.* No se ha tenido en cuenta la exposición ocupacional, lo que podría llevar a una infraestimación del impacto, si asumimos que que la exposición ocupacional podría ser mayor que la ambiental.
- 6) *Composición del MPA constante en la zona y periodo de estudio.* Se han obviado posibles singularidades locales en la composición del material particulado atmosférico (elementos traza) que pudieran suponer una mayor o menor toxicidad.
- 7) *Validez de las CRF para las condiciones de la zona de estudio.* Teniendo en cuenta que las CRF para las PM_{2,5} se han obtenido a partir de estudios de diversas localizaciones, podría haber pequeñas diferencias en el ámbito local. En todo caso, se asume que estas posibles singularidades están consideradas dentro del intervalo de confianza al 95% de las funciones de CRF.

- 8) *Uso de las CRF en las estimaciones.* La principal incertidumbre de la ERS-CA está relacionada con las funciones de concentración-respuesta utilizadas en la evaluación. Estas incertidumbres se derivan de las asunciones realizadas en los estudios epidemiológicos de los que se obtienen dichas funciones y de su metaanálisis de los que derivan las CRF. Los modelos aleatorios usados en muchos de los metaanálisis no realizan asunciones de la homogeneidad en la distribución alrededor de la media. Los intervalos de confianza asociados con las CRF recomendadas cuantifican el error aleatorio y la variabilidad atribuida a la heterogeneidad en las estimaciones de los efectos epidemiológicos utilizadas para las evaluaciones.
- 9) *Efectos agudos incluidos en efectos a largo plazo.* La metodología considera todos los efectos agudos por exposición a partículas ya incluidos dentro de los efectos a largo plazo, aunque podría existir cierta infraestimación del efecto.
- 10) *No consideración de las poblaciones vulnerables por razón de edad.* En el estudio no se ha tenido en cuenta la posible agravación de los efectos en la exposición de poblaciones infantiles. A todos los efectos se han usado funciones que se aplican a la población en general mayor de 30 años, con lo que se excluyen de forma expresa a los niños, por lo que se produce una infraestimación del impacto real.
- 11) *Datos de mortalidad.* Las estimaciones de los valores de las tasas de mortalidad es otra de las incertidumbres, pues se ha asumido que los datos del registro de mortalidad son correctos (lo que implica una correcta codificación de la causa de la muerte y registro de datos).
- 12) *Datos de población.* Con los datos de población se han realizado asunciones similares y, además, se ha realizado una simplificación en la que se asume que la población es suficientemente estable, de modo que la mortalidad a mitad de periodo sea igual a la población media a principio de un año y a principio del año siguiente.
- 13) *PM_{2,5}, único contaminante evaluado.* La elección de un solo contaminante (PM_{2,5}) puede no ser totalmente representativo de la mezcla compleja de contaminantes presentes en el aire. Esto podría llevar a una infraestimación de los impactos en la salud por la contaminación del aire ambiente, aunque también es cierto que la mayoría de los impactos cuantificados en salud por factores ambientales son debidos a la exposición a PM_{2,5}^{89,214} y que la contaminación por partículas era el principal problema identificado en la zona, por lo que se espera que esta infraestimación no sea excesivamente importante. No obstante, la utilización de esta metodología, con un solo contaminante, implica además que no se han considerado los posibles efectos de potenciación, de sinergia o de antagonismo que puedan producirse entre diferentes sustancias, ni los efectos aditivos por la absorción de una misma sustancia por diferentes vías.
- 14) *Valor de vida estadística y estimación de los costes de la morbilidad.* La valoración económica de los impactos en salud también introduce incertidumbres, sobre todo

debidas al cálculo del valor de una vida estadística, que se realiza principalmente a partir de encuestas. Los valores propuestos de partida por la OECD y el valor de la elasticidad para el VSL son estimaciones sujetas también a incertidumbres, así como el coste de la morbilidad (coste adicional de un 10% del valor de la mortalidad), propuesto por la OMS. Además, la corrección del valor de VLS se hace por año y país, sin considerar las variaciones en la VSL dentro del territorio español. Esta circunstancia se ha intentado corregir, al menos en parte, utilizando el dato provincial en el incremento del valor del índice de precios al consumo.

A pesar de todas las limitaciones anteriores, consideramos que los resultados obtenidos en la ERS-CA y en la valoración económica de los impactos en salud son coherentes con el estado actual de conocimientos.

5. CONCLUSIONES

1. La conclusión principal de la valoración del impacto en salud del Plan de Mejora de la Calidad del Aire de la Zona Industrial Bahía de Algeciras es que la ejecución de las medidas tendrá un impacto muy positivo en la ciudadanía. La mejora principal en salud sería la reducción de la mortalidad, principalmente por causas pulmonares y cardiovasculares asociada a la exposición a largo plazo a partículas, y esta mejora en salud implicaría un beneficio económico considerable, muy superior a los costes de la ejecución de las medidas.
2. Se ha estimado que la ejecución de las medidas del plan en la zona de estudio supondría que se evitasen una media de veintitrés muertes prematuras al año, con un beneficio económico total por reducción de la morbimortalidad de 54,6 millones de euros anuales.
3. Si los objetivos del PMCA hubieran sido más ambiciosos y los niveles de partículas alcanzasen los valores guía de la OMS, se evitarían unas 148 muertes anuales prematuras y tendríamos unos beneficios en salud por reducción de la morbimortalidad que alcanzarían los 365,8 millones de euros anuales.
4. Se recomienda que todos los futuros planes de mejora de calidad del aire:
 - 1) Caractericen correctamente la población afectada y, dentro de ella, la población vulnerable. Dentro de la población vulnerable tiene especial interés identificar y caracterizar la población desfavorecida por razón socioeconómica, ya que se ubica en una zona delimitada que pudiera implicar la existencia de inequidades potenciales en salud.
 - 2) Orienten todas las medidas que sean posibles a la población vulnerable, especialmente aquellas que padezcan enfermedades respiratorias y a poblaciones desfavorecidas. Por ejemplo, si se ha identificado y caracterizado ésta última, se pueden priorizar la implementación de medidas relacionadas con el tráfico, con la accesibilidad a servicios o con el transporte en las áreas donde se localice población desfavorecida. También las medidas de sensibilización podrían tener en cuenta en primer lugar estas poblaciones.
 - 3) Incluyan medidas para aumentar la concienciación efectiva entre la ciudadanía sobre la importancia de los sectores institucional, comercial y doméstico. Para ello, se recomienda el uso de procesos participativos desde el principio del proceso de elaboración del Plan. El Manual de proyectos incluye un anexo en el que se indican algunas técnicas que podrían resultar de utilidad.
 - 4) Realicen un análisis coste-beneficio, incluyendo en la parte de beneficios los resultantes de las ganancias en salud por la mejora de la calidad del aire.
5. La evaluación de impacto en salud puede ser una herramienta muy útil para evaluar políticas públicas.

Bibliografía

1. IAAP. *Evaluación de Políticas Públicas*. Seville (Spain): Instituto Andaluz de Administración Pública. Consejería de Hacienda y Administración Pública. Junta de Andalucía.; 2016.
<http://www.juntadeandalucia.es/institutodeadministracionpublica/publico/anexos/evaluacion/EvaluacionPoliticasyPublicas.pdf>. Accessed July 22, 2020.
2. Fehr R, Viliani F, Nowacki J, Martuzzi M. *Health in Impact Assessments. Opportunities Not to Be Missed*. Copenhagen Ø, Denmark; 2014. doi:10.1038/sj.jcbfm.9600109
3. Birley M. *Health Impact Assessment: Principles and Practice*. London: Roudledge; 2011.
4. Quigley R, den Broeder L, Furu P, Bond A, Cave B, Bos R. *Health Impact Assessment. International Best Practice Principles.S International Association for Impact Assessment 2*. Fargo, USA; 2006. <https://www.iaia.org/pdf/special-publications/SP5.pdf>. Accessed May 3, 2019.
5. NAS. *Improving Health in the United States The Role of Health Impact Assessment*. Washington, D.C; 2011. <https://www.nap.edu/resource/13229/Health-Impact-Assessment-Report-Brief-Final.pdf>. Accessed May 3, 2019.
6. WHO- Regional Office for Europe. *Documento de Consenso de Gotenburgo. Evaluación Del Impacto En La Salud*.; 1999.
7. Lock K. Health impact assessment. *BMJ*. 2000;320:1395-1403.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1118057/pdf/1395.pdf>. Accessed May 8, 2019.
8. WHO Regional Office for Europe. *Environmental Health Inequalities in Europe. Second Assessment Report (2019)*.; 2019.
<https://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-health-inequalities-in-europe.-second-assessment-report-2019>. Accessed June 15, 2020.
9. WHO. Health in all policies: Helsinki statement. Framework for country action. *Health Promot Int*. 2014;29:i19-i28. doi:10.1093/heapro/dau035
10. GBD Collaborative Network. Global Burden of Disease Study 2015. Life Expectancy; All-Cause and Cause-Specific Mortality 1980-2015. *Lancet*. 2016;388.
doi:[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)31012-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31012-1)
11. Whitehead M, Dahlgren G. What can be done about inequalities in health? *Lancet*. 1991;338(8774):1059-1063. doi:10.1016/0140-6736(91)91911-D
12. WHO. WHO | Social determinants of health. WHO.
https://www.who.int/social_determinants/en/. Published 2018. Accessed May 9, 2019.
13. Palomino-Moral PA, Grande-Gascón ML, Linares-Abad M. La salud y sus determinantes sociales. Desigualdades y exclusión en la sociedad del siglo XXI. *Rev Int Sociol*. 2014;72(Extra_1):45-70. doi:10.3989/ris.2013.02.16
14. Rivadeneyra Sicilia A, Artundo Purroy C. La evaluación del impacto en salud: el estado de la cuestión. *Gac Sanit*. 2008;22(4):348-353. doi:10.1157/13125357
15. Harris-Roxas B, Harris E. Differing forms, differing purposes: A typology of health impact assessment. *Environ Impact Assess Rev*. 2011;31:396-403.
doi:10.1016/j.eiar.2010.03.003
16. Fehr R. Environmental health impact assessment: Evaluation of a ten-step model. *Epidemiology*. 1999;10(5):618-625. doi:10.1097/00001648-199909000-00031

17. Davies K, Phil D, Sadler B. *Environmental Assessment and Human Health: Perspectives, Approaches and Future Directions.*; 1997.
<http://siteresources.worldbank.org/INTRANETENVIRONMENT/1705736-1127758054592/20677752/Sadler-HealthAspectsOfEnvAssessment.pdf>. Accessed May 9, 2019.
18. Iglesias-Merchan C, Domínguez-Ares E. Challenges to integrate health impact assessment into environmental assessment procedures: the pending debate. *Impact Assess Proj Apprais*. 2020. doi:10.1080/14615517.2020.1716161
19. Krieger N, Northridge M, Gruskin S, et al. Assessing health impact assessment: multidisciplinary and international perspectives. *J Epidemiol Community Heal*. 2003;57:659-662. doi:10.1136/jech.57.9.659
20. Mahoney ME, Potter J-LL, Marsh RS. Community participation in HIA: Discords in teleology and terminology. *Crit Public Health*. 2007;17(3):229-241. doi:10.1080/09581590601080953
21. MOHTC-Ontario. Health Equity Impact Assessment (HEIA). HEIA- Ministry of Health Ministry of Long-Term Care. government of Ontario (Canada).
<http://www.health.gov.on.ca/en/pro/programs/heia/>. Published 2013. Accessed July 17, 2019.
22. Comisión sobre Determinantes Sociales de la Salud. *Subsanar Las Desigualdades En Una Generación.*; 2009.
http://www.who.int/social_determinants/thecommission/finalreport/es/.
23. Harris-Roxas B, Viliani F, Bond A, et al. Health impact assessment: the state of the art. *Impact Assess Proj Apprais*. 2012;30(1):43-52. doi:10.1080/14615517.2012.666035
24. Hübel M, Hedin A. Developing health impact assessment in the European Union. *Bull World Health Organ*. 2003;81(6):463-464.
<https://apps.who.int/iris/handle/10665/268955>.
25. Ross CL, Orenstein M, Botchwey N. International Case Studies. In: *Health Impact Assessment in the United States*. New York, NY: Springer New York; 2014:71-82. doi:10.1007/978-1-4614-7303-9_6
26. WHO- Regional Office for Europe. WHO/Europe | Health impact assessment.
<https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/health-impact-assessment>. Accessed June 15, 2020.
27. Ross CL, Orenstein M, Botchwey N. *Health Impact Assessment in the United States.*; 2014. doi:10.1007/978-1-4614-7303-9
28. EU Commission. *Communication from the Commission on Impact Assessment.*; 2002.
29. Abrahams D, Pennington A, Scott-Samuel A, et al. *European Policy Health Impact Assessment (EPHIA) – A Guide.*; 2004.
https://ec.europa.eu/health/ph_projects/2001/monitoring/fp_monitoring_2001_a6_fr_ep_11_en.pdf. Accessed August 14, 2019.
30. EU Commission. *White Paper. Together for Health: A Strategic Approach for the EU 2008-2013*. Vol COM(2007). Brussels, 23.10.2007; 2007.
http://ec.europa.eu/health/ph_overview/strategy/reflection_process_en.htm. Accessed June 16, 2020.
31. European Union. *DIRECTIVE 2011/92/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 13 December 2011 on the Assessment of the Effects of Certain Public and*

- Private Projects on the Environment.*; 2011. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011L0092&from=EN>. Accessed June 16, 2020.
32. European Union. *DIRECTIVE 2014/52/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 April 2014 Amending Directive 2011/92 EU on the Assessment of the Effects of Certain Public and Private Projects on the Environment*. Vol L 269.; 2014:1-15. doi:2004R0726 - v.7 of 05.06.2013
 33. Abrahams D, Pennington A, Scott-Samuel A, et al. *European Policy Health Impact Assessment (EPHIA) – A Guide.*; 2004.
 34. Salay R, Lincoln P. Health impact assessments in the European Union. *Lancet*. 2008;372(9641):860-861. doi:10.1016/S0140-6736(08)61337-9
 35. Lee J, Röbbel N, Dora C. *Cross-Country Analysis of the Institutionalization of Health Impact Assessment. Social Determinants of Health Discussion Paper Series 8 (Policy & Practice)*. Geneva; 2013. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/83299/9789241505437_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
 36. Osofsky SA, Pongsiri MJ. Operationalising planetary health as a game-changing paradigm: health impact assessments are key. *Lancet Planet Heal*. 2018;2(2):e54-e55. doi:10.1016/S2542-5196(17)30183-3
 37. Whitmee S, Haines A, Beyrer C, et al. Safeguarding human health in the Anthropocene epoch: Report of the Rockefeller Foundation-Lancet Commission on planetary health. *Lancet*. 2015;386(10007):1973-2028. doi:10.1016/S0140-6736(15)60901-1
 38. Jefatura del Estado. *Ley 33/2011, de 4 de Octubre, General de Salud Pública.*; 2011. <https://www.boe.es/eli/es/l/2011/10/04/33/con>. Accessed June 16, 2020.
 39. MSSSI. *Desarrollo de Una Herramienta de Cribado Para La Evaluación de Impacto En Salud (EIS) de Políticas Nacionales.*; 2014.
 40. WHO Regional Office for Europe. *The Versatility of Health Impact Assessment: Experiences in Andalusia and Other European Settings.*; 2019. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/329896>. Accessed June 16, 2020.
 41. Fehr R, Alexanderson K, Favaretti C, et al. Health assessments for health governance—concepts and methodologies. *Eur J Public Health*. 2017;27(4):609-616. doi:10.1093/eurpub/ckx062
 42. Dannenberg AL, Bhatia R, Cole BL, et al. Growing the field of health impact assessment in the United States: An agenda for research and practice. *Am J Public Health*. 2006;96(2):262-270. doi:10.2105/AJPH.2005.069880
 43. Mannheimer LN, Gulis G, Lehto J, Östlin P. Introducing Health Impact Assessment: An analysis of political and administrative intersectoral working methods. *Eur J Public Health*. 2007;17(5):526-531. doi:10.1093/eurpub/ckl267
 44. Comunidad Autónoma de Andalucía. *Ley 16/2011, de 23 de diciembre, de Salud Pública de Andalucía. Versión consolidada*. BOJA núm. 255. <https://www.boe.es/eli/es-an/l/2011/12/23/16/con>. Published 31 December 2011. Accessed June 16, 2020.
 45. Consejería de Salud. Junta de Andalucía. *Decreto 169/2014, de 9 de Diciembre, Por El Que Se Establece El Procedimiento de La Evaluación Del Impacto En La Salud de La Comunidad Autónoma de Andalucía. Versión Consolidada.*; 2014.
 46. Moya-Ruano L, Candau-Bejarano A, Vela-Ríos J, Rodríguez-Rasero FJ. *Manual Para La Evaluación Del Impacto En Salud de Los Instrumentos de Planeamiento Urbanístico En*

- Andalucía. Consejería de Igualdad, Salud y Políticas Sociales. Junta de Andalucía.; 2015. <http://hdl.handle.net/10668/1909>.
47. Rodríguez-Rasero FJ, Moya-Ruano LÁ, Vela-Ríos J, Candau-Bejarano A. *Manual Para La Evaluación de Impacto En Salud de Proyectos Sometidos a Prevención y Control Ambiental En Andalucía*. Consejería de Igualdad, Salud y Políticas Sociales. Junta de Andalucía.; 2015. <http://hdl.handle.net/10668/1910>.
 48. Moya-Ruano LA, Candau-Bejarano A, Rodríguez-Rasero FJ, Ruiz-Fernández J, Vela-Ríos J. Metodología de la valoración del impacto en salud de instrumentos de planeamiento urbanístico en Andalucía. *Gac Sanit*. 2017;31(5):382-389. doi:10.1016/j.gaceta.2017.03.007
 49. Sierra López A, Álvarez Marante R, Zafra Mezcuca J, Burgos Ojeda A. Contaminación Atmosférica. In: Elsevier, ed. *Medicina Preventiva y Salud Pública*. 11ª. Piedrola Gil; 2008:1390.
 50. EEA. *Air Quality in Europe — 2018 Report*. EEA Report No 12/2018.; 2018. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2018>.
 51. Ballester-Díez F, Boldo-Pascua E, Jiménez-Díaz J, Gil-Linares C, Querol-Carceller X. *Contaminación Atmosférica y Salud*.; 2010. doi:10.1002/jsfa.1921
 52. EEA. *Air Quality in Europe*. European Environment Agency; 2015. doi:10.2800/62459
 53. Ministerio de Medio Ambiente. Gobierno de Colombia. Aire - IDEAM. <http://www.siac.gov.co/aire>. Accessed August 10, 2020.
 54. Katsouyanni K. Apeha Project: Air Pollution and Health: A European Approach. *Epidemiology*. 2006;17(Suppl):S19. doi:10.1097/00001648-200611001-00003
 55. Pascal M, Corso M, Chanel O, et al. Assessing the public health impacts of urban air pollution in 25 European cities: Results of the Apekom project. *Sci Total Environ*. 2013;449(2007105):390-400. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.01.077
 56. EPA United States Environmental Protection Agency. Final Report | The National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study: Morbidity and Mortality from Air Pollution in the United States | Research Project Database | Grantee Research Project | ORD | US EPA. https://cfpub.epa.gov/ncer_abstracts/index.cfm/fuseaction/display.abstractDetail/abstract/2399/report/F. Accessed June 24, 2020.
 57. Ballester F, Iñíguez C, Sáez M, et al. Relación a corto plazo de la contaminación atmosférica y la mortalidad en 13 ciudades españolas. *Med Clin (Barc)*. 2003;121(18):684-689. doi:10.1016/s0025-7753(03)74063-9
 58. WHO. Air quality guidelines for particulate matter,ozon, nitrogen dioxide and sulfure dioxide: summary of risk assessment. *World Heal Organ*. 2005;(October). http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/004698188901096.
 59. Ballester F. Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Rev Esp Salud Publica*. 2005;79(2):159-175. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272005000200005. Accessed May 14, 2019.
 60. WHO. *Health and the Environment: Addressing the Health Impact of Air Pollution*. Vol 1. Geneva; 2015. http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA68/A68_18-en.pdf.
 61. Sava F, Carlsten C. Respiratory Health Effects of Ambient Air Pollution: An Update. *Clin Chest Med*. 2012;33(4):759-769. doi:10.1016/j.ccm.2012.07.003

62. Xing YF, Xu YH, Shi MH, Lian YX. The impact of PM_{2.5} on the human respiratory system. *J Thorac Dis*. 2016;8(1). doi:10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19
63. WHO Regional Office for Europe. *Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution - REVIHAAP Project. Technical Report*. Copenhagen; 2013. doi:0-19-914818-X
64. Brauer M, Freedman G, Frostad J, et al. Ambient Air Pollution Exposure Estimation for the Global Burden of Disease 2013. *Environ Sci Technol*. 2016;50(1). doi:10.1021/acs.est.5b03709
65. Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, et al. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: An analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *Lancet*. 2014;383(9919):785-795. doi:10.1016/S0140-6736(13)62158-3
66. WHO. *WHO Expert Meeting: Methods and Tools for Assessing the Health Risks of Air Pollution at Local, National and International Level. Meeting Report*. Bonn; 2014. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0010/263629/WHO-Expert-Meeting-Methods-and-tools-for-assessing-the-health-risks-of-air-pollution-at-local,-national-and-international-level.pdf.
67. Samoli E, Stafoggia M, Rodopoulou S, et al. Which specific causes of death are associated with short term exposure to fine and coarse particles in Southern Europe ? Results from the MED-PARTICLES project. *Environ Int*. 2014;67:54-61. doi:10.1016/j.envint.2014.02.013
68. Feng S, Gao D, Liao F, Zhou F, Wang X. The health effects of ambient PM_{2.5} and potential mechanisms. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2016;128. doi:10.1016/j.ecoenv.2016.01.030
69. Weinmayr G, Hennig F, Fuks K, et al. Long-term exposure to fine particulate matter and incidence of type 2 diabetes mellitus in a cohort study: Effects of total and traffic-specific air pollution. *Environ Heal A Glob Access Sci Source*. 2015;14(1):1-8. doi:10.1186/s12940-015-0031-x
70. Sentís A, Sunyer J, Dalmau-Bueno A, et al. Prenatal and postnatal exposure to NO₂ and child attentional function at 4–5 years of age. *Environ Int*. 2017;106:170-177. doi:10.1016/j.envint.2017.05.021
71. Sunyer J, Esnaola M, Alvarez-Pedrerol M, et al. Association between Traffic-Related Air Pollution in Schools and Cognitive Development in Primary School Children: A Prospective Cohort Study. *PLoS Med*. 2015;12(3). doi:10.1371/journal.pmed.1001792
72. Klepac P, Locatelli I, Korošec S, Künzli N, Kucek A. Ambient air pollution and pregnancy outcomes: A comprehensive review and identification of environmental public health challenges. *Environ Res*. 2018;167. doi:10.1016/j.envres.2018.07.008
73. Loomis D, Grosse Y, Lauby-Secretan B, et al. The carcinogenicity of outdoor air pollution. *Lancet Oncol*. 2013;14(13):1262-1263. doi:10.1016/S1470-2045(13)70487-X
74. Hamra GB, Guha N, Cohen A, et al. Outdoor particulate matter exposure and lung cancer: A systematic review and meta-analysis. *Environ Health Perspect*. 2014. doi:10.1289/ehp.1408092
75. Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Beelen R, et al. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: Prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *Lancet Oncol*. 2013. doi:10.1016/S1470-2045(13)70279-1

76. Prüss-Ustün A, van Deventer E, Mudu P, et al. Environmental risks and non-communicable diseases. *BMJ*. 2019;364:l265. doi:10.1136/bmj.l265
77. Neira M, Prüss-Ustün A, Mudu P. Reduce air pollution to beat NCDs: from recognition to action. *Lancet*. 2018;392(10154):1178-1179. doi:10.1016/S0140-6736(18)32391-2
78. WHO. Ambient (outdoor) air quality and health. Fact sheet. [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). Published 2018. Accessed May 14, 2019.
79. WHO. *Don't Pollute My Future! The Impact of the Environment on Children's Health*. Geneva; 2017. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254678/WHO-FWC-IHE-17.01-eng.pdf?sequence=1&ua=1>. Accessed May 14, 2019.
80. Landrigan PJ, Fuller R, Acosta NJR, et al. The Lancet Commission on pollution and health. *Lancet*. 2018;391(10119):462-512. doi:10.1016/S0140-6736(17)32345-0
81. Jiménez JD, Gil CL. Impacto de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad diaria a corto plazo en España. *Rev Salud Ambient*. 2018;18(2):120-136.
82. WHO. *Ambient Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease*. Geneva; 2016. <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/250141/9789241511353-eng.pdf?sequence=1>. Accessed January 9, 2019.
83. Martín-Olmedo P, Sánchez-Villegas P, Daponte A. *Aphekóm Local City Report SEVILLE*.; 2012. www.aphekóm.org.
84. Martín-Olmedo P, Sánchez-Villegas P, Daponte A. *Aphekóm Local City Report GRANADA*.; 2012. doi:<http://aphekóm.org/web/aphekóm.org/publications>
85. WHO. *Air Pollution and Child Health: Prescribing Clean Air*. Geneva: World Health Organization; 2018. <https://www.who.int/ceh/publications/air-pollution-child-health/en/>. Accessed May 14, 2019.
86. Wang L, Zhong B, Vardoulakis S, et al. Air quality strategies on public health and health equity in Europe—A systematic review. 2016;13(12). doi:10.3390/ijerph13121196
87. EEA-JRC. *Environment and Human Health — Joint EEA-JRC Report (EEA Report No 5/2013)*.; 2013. doi:10.2800/9092
88. WHO Regional Office for Europe. *Environmental Health Inequalities in Europe. Assessment Report*. Copenhagen; 2012. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0010/157969/e96194.pdf. Accessed January 28, 2019.
89. Hänninen O, Knol AB, Jantunen M, et al. Environmental Burden of Disease in Europe: Assessing Nine Risk Factors in Six Countries. *Environ Health Perspect*. 2014;122(5):439-446. doi:10.1289/ehp.1206154
90. Raaschou-Nielsen O, Beelen R, Wang M, et al. Particulate matter air pollution components and risk for lung cancer. *Environ Int*. 2016;87:66-73. doi:10.1016/j.envint.2015.11.007
91. Achakulwisut P, Brauer M, Hystad P, Anenberg SC. Global, national, and urban burdens of paediatric asthma incidence attributable to ambient NO₂ pollution: estimates from global datasets. *Lancet Planet Heal*. 2019;3(4):e166-e178. doi:10.1016/S2542-5196(19)30046-4
92. Ministerio de la Presidencia. *Real Decreto 102/2011, de 28 de Enero, Relativo a La*

- Mejora de La Calidad Del Aire (Texto Consolidado).*; 2011.
<https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-1645-consolidado.pdf>.
93. European Union. *Versiones Consolidadas Del Tratado de La UE y Del Tratado de Funcionamiento de La UE (2016/C 202/01).*; 2016. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:12016ME/TXT&from=ES#d1e5052-47-1>. Accessed June 16, 2020.
 94. European Environmental Agency. EEA. <https://www.eea.europa.eu/>. Published 2020.
 95. EU Commission. *Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the Sixth Environment Action Programme of the European Community, 'Environment 2010: Our Future, Our Choice'.*; 2001. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:I28027&from=ES>. Accessed June 16, 2020.
 96. Comisión Europea. Estrategia temática sobre la contaminación atmosférica. *Bruselas, 2192005 COM(2005) 446 Final.* 2005:1-16. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52005DC0446&from=EN>.
 97. EC. *Annex to the Communication on Thematic Strategy on Air Pollution and the Directive on "Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe"*. Brussels; 2005.
 98. EU Commission. *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A Clean Air Programme for Europe.*; 2013. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0918:FIN:EN:PDF>.
 99. EU Commission. *Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A Europe That Protects: Clean Air for All.*; 2018.
<https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2018/EN/COM-2018-330-F1-EN-MAIN-PART-1.PDF>.
 100. CMAOT. *Estrategia Andaluza de Calidad Del Aire (Borrador).* Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía; 2018.
<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.7e1cf46ddf59bb227a9ebe205510e1ca/?vgnnextoid=bec156fca641610VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnnextchannel=3d4a1152f4441610VgnVCM1000001325e50aRCRD>.
 101. Jefatura del Estado. *Ley 34/2007, de 15 de Noviembre, de Calidad Del Aire y Protección de La Atmósfera (Texto Consolidado).*; 2007.
<https://www.boe.es/buscar/pdf/2007/BOE-A-2007-19744-consolidado.pdf>.
 102. Comunidad Autónoma de Andalucía. *Ley 7/2007, de 9 de Julio de Gestión Integrada de La Calidad Ambiental (Texto Consolidado).*; 2007.
<https://www.boe.es/buscar/pdf/2007/BOE-A-2007-15158-consolidado.pdf>.
 103. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Decreto 239/2011, de 12 de julio, por el que se regula la calidad del medio ambiente atmosférico y se crea el Registro de Sistemas de Evaluación de la Calidad del Aire en Andalucía. *Boja.* 2011:1-29.
<http://www.juntadeandalucia.es/boja/2011/152/5>.
 104. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. *Decreto 231/2013, de 3 de Diciembre, Por El Que Se Aprueban Planes de Mejora de La Calidad Del Aire En Determinadas Zonas de Andalucía.*; 2013.
<https://www.juntadeandalucia.es/boja/2014/46/1>.
 105. Comunidad Autónoma de Andalucía. *Ley 2/1998, de 15 de Junio, de Salud de Andalucía*

- (*Texto Consolidado*).; 1998. <https://www.boe.es/buscar/pdf/1998/BOE-A-1998-18720-consolidado.pdf>.
106. Ministerio para la Transición Ecológica. *Orden TEC/351/2019, de 18 de Marzo, Por La Que Se Aprueba El Índice Nacional de Calidad Del Aire (Texto Consolidado)*.; 2019. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2019/BOE-A-2019-4494-consolidado.pdf>.
 107. EU Commission. *COMMISSION STAFF WORKING PAPER Establishing Guidelines for Demonstration and Subtraction of Exceedances Attributable to Natural Sources under the Directive 2008/50/EC on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe*.; 2011. https://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/pdf/sec_2011_0208.pdf.
 108. Ministerio de la Presidencia. *Real Decreto 1073/2002, de 18 de Octubre, Sobre Evaluación y Gestión de La Calidad Del Aire Ambiente En Relación Con El Dióxido de Azufre, Dióxido de Nitrógeno, Óxidos de Nitrógeno, Partículas, Plomo, Benceno y Monóxido de Carbono (Disposición Derogada)*.; 2002. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2002/10/18/1073>.
 109. Consejería de Medio Ambiente. *Decreto 74/1996, de 20 de Febrero, Por El Que Se Aprueba El Reglamento de La Calidad Del Aire (Disposición Derogada)*.; 1996. <https://www.juntadeandalucia.es/boja/1996/30/19>.
 110. Consejería de Medio Ambiente. *Orden de 23 de Enero de 2003, Por La Que Se Acuerda La Formulación Del Plan de Mejora de La Calidad Del Aire Del Municipio de Bailén*.; 2003. <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2003/31/45>.
 111. Consejería de Medio Ambiente. *Orden de 27 de Julio de 2007, Por La Que Se Acuerda La Formulación Del Plan de Mejora de La Calidad Del Aire En El Municipio de Villanueva Del Arzobispo (Jaén), y Se Aprueban Medidas Provisionales En Dicho Municipio*.; 2007. <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2007/156/32>.
 112. Consejería de Medio Ambiente. *Orden de 9 de Septiembre de 2008, Por La Que Se Acuerda La Formulación de Planes de Mejora de La Calidad Del Aire En Determinadas Zonas de Andalucía*.; 2008. <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2008/203/32>.
 113. Consejería de Medio Ambiente. *Decreto 31/2006, de 14 de Febrero, Por El Que Se Aprueba El Plan de Mejora de La Calidad Del Aire En El Municipio de Bailén*.; 2006. <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2006/56/32>.
 114. Consejería de Medio Ambiente. *Decreto 334/2010, de 13 de Julio, Por El Que Se Aprueba El Plan de Mejora, Control y Seguimiento de La Calidad Del Aire En El Municipio de Villanueva Del Arzobispo (Jaén)*.; 2010. <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2010/147/31>.
 115. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. *Decreto 231/2013, de 3 de Diciembre, Por El Que Se Aprueban Planes de Mejora de La Calidad Del Aire En Determinadas Zonas de Andalucía*.; 2013.
 116. Jones AM, Harrison RM, Baker J. The wind speed dependence of the concentrations of airborne particulate matter and NOx. *Atmos Environ*. 2010;44(13):1682-1690. doi:10.1016/J.ATMOENV.2010.01.007
 117. Perez L, Tobias A, Querol X, et al. Coarse particles from Saharan dust and daily mortality. *Epidemiology*. 2008;19(6):800-807. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18938653>. Accessed February 13, 2019.
 118. Perez L, Tobías A, Querol X, et al. Saharan dust, particulate matter and cause-specific mortality: A case–crossover study in Barcelona (Spain). *Environ Int*. 2012;48:150-155. doi:10.1016/j.envint.2012.07.001

119. Mallone S, Stafoggia M, Faustini A, Gobbi GP, Marconi A, Forastiere F. Saharan Dust and Associations between Particulate Matter and Daily Mortality in Rome, Italy. *Environ Health Perspect*. 2011;119(10):1409-1414. doi:10.1289/ehp.1003026
120. Tobías A, Pérez L, Díaz J, et al. Short-term effects of particulate matter on total mortality during Saharan dust outbreaks: A case-crossover analysis in Madrid (Spain). *Sci Total Environ*. 2011;412-413:386-389. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.10.027
121. Díaz J, Tobías A, Linares C. Saharan dust and association between particulate matter and case-specific mortality: a case-crossover analysis in Madrid (Spain). *Environ Health*. 2012;11:11. doi:10.1186/1476-069X-11-11
122. Karanasiou A, Moreno N, Moreno T, Viana M, de Leeuw F, Querol X. Health effects from Sahara dust episodes in Europe: Literature review and research gaps. *Environ Int*. 2012;47:107-114. doi:10.1016/J.ENVINT.2012.06.012
123. Samoli E, Kougea E, Kassomenos P, Analitis A, Katsouyanni K. Does the presence of desert dust modify the effect of PM10 on mortality in Athens, Greece? *Sci Total Environ*. 2011;409(11):2049-2054. doi:10.1016/J.SCITOTENV.2011.02.031
124. Jiménez E, Linares C, Martínez D, Díaz J. Role of Saharan dust in the relationship between particulate matter and short-term daily mortality among the elderly in Madrid (Spain). *Sci Total Environ*. 2010;408(23):5729-5736. doi:10.1016/j.scitotenv.2010.08.049
125. Sajani SZ, Miglio R, Bonasoni P, et al. Saharan dust and daily mortality in Emilia-Romagna (Italy). *Occup Environ Med*. 2011;68(6):446-451. doi:10.1136/oem.2010.058156
126. Pandolfi M, Tobias A, Alastuey A, et al. Effect of atmospheric mixing layer depth variations on urban air quality and daily mortality during Saharan dust outbreaks. *Sci Total Environ*. 2014;494-495:283-289. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.07.004
127. De Irala J, Ángel Martínez-González M, Guillén Grima F, De IJ. *¿Qué Es Una Variable Modificadora Del Efecto?* Vol 117.; 2001.
128. CSIC-CMAOT. *Diagnóstico de La Situación Ambiental Del Entorno Del Campo de Gibraltar*. <https://www2.eez.csic.es/?q=es/node/1118>.
129. Pandolfi M, Gonzalez-Castanedo Y, Alastuey A, et al. Source apportionment of PM10 and PM2.5 at multiple sites in the strait of Gibraltar by PMF: impact of shipping emissions. *Environ Sci Pollut Res*. 2011;18(2):260-269. doi:10.1007/s11356-010-0373-4
130. Li J, Chen B, de la Campa AMS, Alastuey A, Querol X, de la Rosa JD. 2005–2014 trends of PM10 source contributions in an industrialized area of southern Spain. *Environ Pollut*. 2018;236:570-579. doi:10.1016/j.envpol.2018.01.101
131. González-Castanedo Y. Caracterización físico-química del material particulado atmosférico de origen industrial en Andalucía. 2012. <http://hdl.handle.net/10272/5439>.
132. Rodríguez-Artalejo F, Alguacil J, Ballester F, Escolar A, Mayoral JM, Pollán M. *Dictamen Realizado Por Encargo Del Defensor Del Pueblo Andaluz Sobre El Exceso de Mortalidad y Morbilidad Detectado En Varias Investigaciones En El Campo de Gibraltar.*; 2013.
133. Consejería de Igualdad S y PS. *Documento de Apoyo DAP-3 : Indicadores*. Sevilla: Consejería de Igualdad Salud y Políticas Sociales. Junta de Andalucía; 2015. https://juntadeandalucia.es/export/drupaljda/DAP_3_indicadores.pdf.
134. WHO Regional Office for Europe. *Health Risk Assessment of Air Pollution. General Principles*. Copenhagen Ø, Denmark; 2016.

- http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/298482/Health-risk-assessment-air-pollution-General-principles-en.pdf?ua=1.
135. Landrigan P. Air Pollution and Health. *Lancet*. 2017;2(1):4-5. doi:10.1016/S2468-2667(16)30023-8
 136. Héroux M-E, Anderson HR, Atkinson R, et al. Quantifying the health impacts of ambient air pollutants: recommendations of a WHO/Europe project. *Int J Public Health*. 2015;60(5):619-627. doi:10.1007/s00038-015-0690-y
 137. Mudu P, Gapp C, Dunbar M. *AirQ+ Example of Calculations.*; 2018. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/371551/AirQ-Examples-of-calculations_ENG.pdf?ua=1.
 138. WHO Regional Office for Europe, OECD. *Economic Cost of the Health Impact of Air Pollution in Europe: Clean Air, Health and Wealth*. Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe; 2015. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/276772/Economic-cost-health-impact-air-pollution-en.pdf.
 139. Narain U, Sall C. *Methodology for Valuing the Health Impacts of Air Pollution.*; 2016. doi:10.1596/K8849
 140. Medina S, Ballester F, Chanel O, Declercq C, Pascal M. Quantifying the health impacts of outdoor air pollution: useful estimations for public health action. *J Epidemiol Community Health*. 2013;67(6):480-483. doi:10.1136/jech-2011-200908
 141. Prüss-Üstün A, Corvalán C. Preventing disease through healthy environments. Towards an estimate of the environmental burden of disease. 2006;12:1-106. doi:10.1590/S1413-41522007000200001
 142. Martín-Olmedo P, Carroquino Saltó MJ, Ordóñez Iriarte JM, Moya J. *La Evaluación de Riesgos En Salud. Guía Metodológica. Aplicaciones Prácticas de La Evaluación de Riesgos En Salud Por Exposición a Químicos.*; 2016. www.sanidadambiental.com.
 143. Ostro B, Prüss-üstün A, Campbell-Iendrum D, Corvalán C, Woodward A. Outdoor air pollution : assessing the environmental burden of disease at national and local levels. 2004;(5). doi:ISBN 92 4 159146 3
 144. Burnett RT, Pope III CA, Ezzati M, et al. An Integrated Risk Function for Estimating the Global Burden of Disease Attributable to Ambient Fine Particulate Matter Exposure. *Environ Health Perspect*. 2014;122(4):397-403. doi:10.1289/ehp.1307049
 145. WHO Regional Office for Europe. *Airq+ Glossary.*; 2017.
 146. Liu C, Chen R, Sera F, et al. Ambient particulate air pollution and daily mortality in 652 cities. *N Engl J Med*. 2019;381(8):705-715. doi:10.1056/NEJMoa1817364
 147. WHO Regional Office for Europe. *AirQ+: Key Features.*; 2018. http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/faqs_air_pollution.pdf. Accessed January 9, 2019.
 148. Mishra RK. Air Pollution Health Risk Based on AirQ+ Software Tool. *Int J Appl Res Technol*. 2017;2(3):190-199. doi:10.24163/ijart/2017/2(3):190-199
 149. INE - Instituto Nacional de Estadística. Cifras oficiales de población resultantes de la revisión del Padrón municipal a 1 de enero. <https://www.ine.es/dynt3/inebase/es/index.htm?padre=517&capsel=525>. Accessed June 26, 2020.

150. IECA. Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. Andalucía pueblo a pueblo. <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/sima/index2.htm>. Accessed June 26, 2020.
151. OMS, Gobierno de España. eCIE-Maps - CIE-10-ES Diagnósticos. Instituto de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. https://eciemaps.mscbs.gob.es/ecieMaps/browser/index_10_mc.html. Accessed June 26, 2020.
152. UWE. *What Are the Health Costs of Environmental Pollution ?* Science fo. (University of the West of England., ed.). Bristol: European Commission DG Environment; 2018. doi:10.2779/88198
153. European Commission. *Better Regulation Guidelines*. Brussels; 2017. <https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/better-regulation-guidelines.pdf>. Accessed April 24, 2019.
154. Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *www.thelancet.com*. 2017;389. doi:10.1016/S0140-6736(17)30505-6
155. Whitehead SJ, Ali S. Health outcomes in economic evaluation: the QALY and utilities. *Br Med Bull*. 2010;96(1):5-21. doi:10.1093/bmb/ldq033
156. GBD DALYs and HALE Collaborators. Global, regional, and national disability-adjusted life-years (DALYs) for 359 diseases and injuries and healthy life expectancy (HALE) for 195 countries and territories, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet*. 2018;392:1859–922. doi:10.1016/S0140-6736(18)32335-3
157. GBD Incidence Injury and Prevalence Collaborators. *Global, Regional, and National Incidence, Prevalence, and Years Lived with Disability for 354 Diseases and Injuries for 195 Countries and Territories, 1990-2017: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2017.*; 2018. doi:10.1016/S0140-6736(18)32279-7
158. WHO Regional Office for Europe. *Health Risks of Air Pollution in Europe – HRAPIE Project: Recommendations for Concentration–Response Functions for Cost–Benefit Analysis of Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide*. Copenhagen Ø, Denmark; 2013. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/238956/Health-risks-of-air-pollution-in-Europe-HRAPIE-project,-Recommendations-for-concentrationresponse-functions-for-costbenefit-analysis-of-particulate-matter,-ozone-and-nitrogen-dioxide.pdf?ua=1.
159. EEA. *Air Quality in Europe — 2017 Report No 13/2017.*; 2017. doi:10.2800/850018
160. EEA. *Air Quality in Europe — 2018 Report (EEA Report N°12/2018).*; 2018. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2018>.
161. EPA. *The Benefits and Costs of the Clean Air Act from 1990 to 2020, Final Report, Revision A*. Washington, DC; 2011. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/fullreport_rev_a.pdf. Accessed January 15, 2019.
162. Holland M. *CBA for the Clean Air Policy Package Cost-Benefit Analysis of Final Policy Scenarios for the EU Clean Air Package Version 2 Corresponding to IIASA TSAP Report 11, Version 2a.*; 2014. http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/TSAP_CBA.pdf. Accessed January 15, 2019.
163. OECD. *The Cost of Air Pollution. Health Impacts of Road Transport*. OECD Publishing, Paris; 2014. doi:http://dx.doi.org/10.1787/9789264210448-en

164. OECD. Recommended Value of a Statistical Life numbers for policy analysis. In: *Mortality Risk Valuation in Environment, Health and Transport Policies*. OECD Publishing, Paris; 2012. doi:<https://dx.doi.org/10.1787/9789264130807-9-en>
165. Banco Mundial. PIB per cápita, PPA (\$ a precios internacionales actuales) | Data. Grupo Banco Mundial. <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.PCAP.PP.CD>. Published 2017. Accessed June 27, 2020.
166. INE - Instituto Nacional de Estadística. El IPC en un clic. <https://www.ine.es/varipc/>. Published 2020. Accessed June 27, 2020.
167. Comeap. *The Mortality Effects of Long-Term Exposure to Particulate Air Pollution in the United Kingdom A Report by the Committee on the Medical Effects of Air Pollutants.*; 2010. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/304641/COMEAP_mortality_effects_of_long_term_exposure.pdf. Accessed January 15, 2019.
168. EEA. *Assessing the Risks to Health from Air Pollution (Briefing N° 11/2018).*; 2018. <https://www.eea.europa.eu/publications/assessing-the-risks-to-health>.
169. Promonautica. Tienda náutica online. <https://www.promonautica.com/>. Accessed August 12, 2020.
170. Viedma Muñoz M. Análisis De Las Direcciones De Los Vientos En Andalucía. 1998:153-168. <http://www.divulgameteo.es/uploads/Vientos-Andalucía.pdf>.
171. Carslaw DC, Ropkins K. openair - An R package for air quality data analysis. 2012. doi:10.1016/j.envsoft.2011.09.008
172. Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Interpretación: Hoy y últimos días. <http://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/ultimosdatos/ayuda>. Accessed June 27, 2020.
173. Wickham H, François R, Henry L, Müller K. dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version 0.8.0.1. 2019. <https://cran.r-project.org/package=dplyr>.
174. Cobo E, Muñoz P, González JA, et al. Prueba de significación y contraste de hipótesis. *Bioestad para no estadísticos*. 2014:157-192. doi:10.4269/ajtmh.2010.10-0052
175. Martínez-González, M.Á.; Martín-Calvo, N.; Toledo JB. Comparaciones de k medias (tres o más grupos). In: *Bioestadística Amigable*. 3ª ed. Barcelona: Elsevier; 2014:213-239.
176. Maclure M. The case-crossover design: a method for studying transient effects on the risk of acute events. *Am J Epidemiol*. 1991;133(2):144-153. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1985444>. Accessed February 14, 2019.
177. Carracedo-Martínez E, Tobías A, Saez M, Taracido M, Figueiras A. Fundamentos y aplicaciones del diseño de casos cruzados. *Gac Sanit*. 2009;23(2):161-165. doi:10.1016/j.gaceta.2008.10.010
178. Levy D, Lumley T, Sheppard L, Kaufman J, Checkoway H. Referent selection in case-crossover analyses of acute health effects of air pollution. *Epidemiology*. 2001;12(2):186-192. doi:10.1097/00001648-200103000-00010
179. Jaakkola JJK. Case-crossover design in air pollution epidemiology. *Eur Respir J*. 2003;21(Supplement 40):81S-85s. doi:10.1183/09031936.03.00402703
180. Janes H, Sheppard L, Lumley T. Case-crossover analyses of air pollution exposure data: Referent selection strategies and their implications for bias. *Epidemiology*.

- 2005;16(6):717-726. doi:10.1097/01.ede.0000181315.18836.9d
181. Janes H, Sheppard L, Lumley T. Overlap bias in the case-crossover design, with application to air pollution exposures. *Stat Med*. 2005;24(2):285-300. doi:10.1002/sim.1889
 182. Bhaskaran K, Gasparrini A, Hajat S, Smeeth L, Armstrong B. Time series regression studies in environmental epidemiology. *Int J Epidemiol*. 2013;42(4):1187-1195. doi:10.1093/ije/dyt092
 183. Liu C, Chen R, Sera F, et al. Ambient particulate air pollution and daily mortality in 652 cities. *N Engl J Med*. 2019;381(8):705-715. doi:10.1056/NEJMoa1817364
 184. Stafoggia M, Samoli E, Alessandrini E, et al. Short-term associations between fine and coarse particulate matter and hospitalizations in Southern Europe: Results from the MED-PARTICLES project. *Environ Health Perspect*. 2013;121(9):1026-1033. doi:10.1289/ehp.1206151
 185. Samoli E, Stafoggia M, Rodopoulou S, et al. Associations between fine and coarse particles and mortality in Mediterranean cities: Results from the MED-PARTICLES project. *Environ Health Perspect*. 2013;121(8):932-938. doi:10.1289/ehp.1206124
 186. Gasparrini A, Guo Y, Hashizume M, et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet*. 2015;386:369-375. doi:10.1016/S0140-6736(14)62114-0
 187. Gasparrini A, Armstrong B, Kenward MG. Distributed lag non-linear models. *Stat Med*. 2010;29(21):2224-2234. doi:10.1002/sim.3940
 188. Armstrong BG, Gasparrini A, Tobias A. Conditional Poisson models: A flexible alternative to conditional logistic case cross-over analysis. *BMC Med Res Methodol*. 2014;14(1):1-6. doi:10.1186/1471-2288-14-122
 189. Consejería de Medio Ambiente. *Orden de 15 de Septiembre de 2005, Por La Que Se Aprueba El Plan de Acción Medioambiental Para El Campo de Gibraltar.*; 2005. <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2005/187/4>.
 190. Bolte G, Tamburlini G, Kohlhuber M. Environmental inequalities among children in Europe--evaluation of scientific evidence and policy implications. *Eur J Public Health*. 2010;20(1):14-20. doi:10.1093/eurpub/ckp213
 191. Egea C, Nieto JA, Domínguez J, González R. *Vulnerabilidad Del Tejido Social de Los Barrios Desfavorecidos de Andalucía*. Centro de Estudios Andaluces. Consejería de Presidencia. Junta de Andalucía; 2008.
 192. Consejería de Salud. *Orden de 13 de Junio de 2016, Por La Que Se Determinan Las Áreas Urbanas Socialmente Desfavorecidas de Andalucía a Los Efectos Del Procedimiento de Evaluación de Impacto En Salud.*; 2016. <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2016/115/4>.
 193. Consejería de Obras Públicas y Vivienda. *Decreto 370/2011, de 20 de Diciembre, Por El Que Se Aprueba El Plan de Ordenación Del Territorio Del Campo de Gibraltar (Cádiz) y Se Crea Su Comisión de Seguimiento.*; 2011. <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2012/54/22>.
 194. Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras (APBA). Estadísticas. <https://www.apba.es/estadisticas>. Accessed August 13, 2020.
 195. APBA. *Memoria de Sostenibilidad 2017.*; 2018. http://www.apba.es/uploads/files/memoria_sostenibilidad/2017/memoria-de-

- sostenibilidad 2017-pliegos-web.pdf. Accessed January 18, 2019.
196. De La Cruz-Sánchez E, Feu S, Vizquete-Carrizosa M. El nivel educativo como factor asociado al bienestar subjetivo y la salud mental en la población española. *Univ Psychol*. 2013;12(1):31-40. <http://www.scielo.org.co/pdf/rups/v12n1/v12n1a04.pdf>. Accessed January 17, 2019.
 197. Krueger PM, Tran MK, Hummer RA, Chang VW. Mortality Attributable to Low Levels of Education in the United States. Zeeb H, ed. *PLoS One*. 2015;10(7):e0131809. doi:10.1371/journal.pone.0131809
 198. Baker DP, Leon J, Smith Greenaway EG, Collins J, Movit M. The Education Effect on Population Health: A Reassessment. *Popul Dev Rev*. 2011;37(2):307-332. doi:10.1111/j.1728-4457.2011.00412.x
 199. Goldman D, Smith JP. The increasing value of education to health. *Soc Sci Med*. 2011;72(10):1728-1737. doi:10.1016/j.socscimed.2011.02.047
 200. Diario Expansión. Datos macro: Renta por municipios: Cádiz (Andalucía) 2017. <https://datosmacro.expansion.com/mercado-laboral/renta/espana/municipios/andalucia/cadiz>. Published 2017. Accessed June 27, 2020.
 201. Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. Junta de Andalucía. Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA). <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia>. Accessed August 13, 2020.
 202. Cruz Rojo C, Almisas M. Análisis epidemiológico de la mortalidad por causas en la Bahía de Algeciras (2001-2005). *Gac Sanit*. 2009;23(5):388-395. doi:10.1016/j.gaceta.2008.10.004
 203. Escolar-Pujolar A. *Sobremortalidad Por Cáncer En El Campo de Gibraltar. El Medio Social, La Piedra Clave*. (Ruiz de Aloza Editores S.L., ed.). Sevilla: Secretaría General de Salud Pública. Consejería de Salud. Junta de Andalucía; 2011.
 204. de la Rosa JD, Sánchez de la Campa AM, Alastuey A, et al. Using PM10 geochemical maps for defining the origin of atmospheric pollution in Andalusia (Southern Spain). *Atmos Environ*. 2010;44(36):4595-4605. doi:10.1016/J.ATMOSENV.2010.08.009
 205. Jefatura del Estado. *Ley 16/2002, de 1 de Julio, de Prevención y Control Integrados de La Contaminación (Texto Consolidado)*.; 2002. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2002/BOE-A-2002-12995-consolidado.pdf>.
 206. Block S. *Work and Health. Exploring the Impact of Employment on Health*.; 2010. https://www.wellesleyinstitute.com/wp-content/uploads/2010/12/Work_and_Health.pdf. Accessed January 21, 2019.
 207. Goodman N. *The Impact of Employment on the Health Status and Health Care Costs of Working-Age People with Disabilities*.; 2015. http://www.leadcenter.org/system/files/resource/downloadable_version/impact_of_employment_health_status_health_care_costs_0.pdf. Accessed January 21, 2019.
 208. CMAOT. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía. Localización de la Red Automática de Calidad del Aire. <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb>. Published 2015. Accessed January 10, 2019.
 209. IECA. Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (ICEA). Datos Espaciales de

- Referencia de Andalucía (DERA).
<https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/DERA>. Published 2018. Accessed January 10, 2019.
210. Alexopoulos E. Introduction to Multivariate Regression Analysis. 2010;14(Suppl 1):23-28.
 211. Morteruel M. Valoración de la efectividad y sus determinantes de las Evaluaciones de Impacto en Salud en el Estado español. 2017.
<https://www.ehu.es/documents/3638427/7319509/Tesis-Maite-Morteruel.pdf>. Accessed January 28, 2019.
 212. Brey R, Castillo-Manzano JI, Castro-Nuño M, López-Valpuesta L, Marchena-Gómez M, Sánchez-Braza A. Is the widespread use of urban land for cycling promotion policies cost effective? A Cost-Benefit Analysis of the case of Seville. *Land use policy*. 2017;63:130-139. doi:10.1016/j.landusepol.2017.01.007
 213. Pérez L, Sunyer J, Künzli N. Estimating the health and economic benefits associated with reducing air pollution in the Barcelona metropolitan area (Spain). *Gac Sanit*. 2009;23(4):287-294. doi:10.1016/j.gaceta.2008.07.002
 214. Lehtomäki H, Korhonen A, Asikainen A, et al. Health impacts of ambient air pollution in Finland. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(4). doi:10.3390/ijerph15040736

Anexo 1. Criterios de valoración de impactos sobre los determinantes de salud

	BAJO	MEDIO	ALTO
<i>Probabilidad</i>	No se prevé que se produzca una modificación significativa en el/los determinante/s.	Resulta razonable esperar que se va a producir una modificación en el/los determinante/s pero puede no ser significativa o depender de la concurrencia de factores adicionales.	Resulta prácticamente seguro, bien por la experiencia acumulada o por el desarrollo lógico de las medidas, que se va a producir una modificación significativa en el/los determinante/s.
<i>Intensidad</i>	La modificación prevista no tiene la suficiente entidad como para alterar de forma significativa el estado inicial del/de los determinante/s.	La modificación prevista tiene suficiente entidad como para detectarse fácilmente pero el resultado final está claramente influenciado por el estado inicial del/de los determinante/s.	La modificación prevista es de tal entidad que se altera por completo el estado inicial del/de los determinante/s.
<i>Permanencia</i>	La modificación es temporal, de tal forma que sus efectos pueden atenuarse o desaparecer en meses. El grado de dificultad física / económica / por motivos de impopularidad o de improbabilidad dadas las tendencias observadas para implementar medidas que potencien o corrijan los efectos (según el caso) es relativamente sencillo.	Modificación no totalmente permanente pero cuyos efectos tardan años en atenuarse o desaparecer. El grado de dificultad física / económica / por motivos de impopularidad o de improbabilidad según tendencias observadas para implementar medidas que potencien o corrijan los efectos (según el caso) es importante pero es posible mantener los efectos positivos o, si los efectos son negativos, volver a la situación inicial.	Modificación que se puede considerar prácticamente inalterable o cuyos efectos van a notarse durante décadas. El grado de dificultad física / económica / por motivos de impopularidad o de improbabilidad dadas las tendencias observadas para implementar medidas que potencien o corrijan los efectos (según el caso) es muy elevado.

Criterios de valoración de la relevancia de los impactos de las medidas del PMCA sobre los determinantes de salud. Fuente: Adaptado del Manual EIS de proyectos.

Anexo 2. Lista de Chequeo de identificación de impactos en determinantes de salud

ASPECTOS A EVALUAR El proyecto, en cualquiera de sus fases, incluye medidas o acciones que pueden introducir modificaciones en:	PROBABILIDAD (Alta/Media/Baja)	INTENSIDAD (Alta/Media/Baja)	PERMANENCIA (Alta/Media/Baja)	GLOBAL ¿Significativo?: (SI/NO)
FACTORES AMBIENTALES				
Aire Ambiente				
Ruido y vibraciones				
Aguas de consumo				
Aguas superficiales				
Aguas subterráneas				
Suelos				
Vectores de transmisión de enfermedades				
Saneamiento y reutilización				
Campos electromagnéticos				
Cambio climático				
Seguridad Química				
Agentes biológicos				
Ecosistemas naturales y especies polinizadoras				
Otros factores relacionados				
FACTORES SOCIOECONÓMICOS Y CONVIVENCIA SOCIAL				
El empleo local y desarrollo económico				
La accesibilidad a servicios y espacios				
El volumen y emplazamiento de personas en riesgo de exclusión o desarraigo social.				
Calidad de vida de las personas con discapacidad				
Otros factores relacionados				
OTROS FACTORES				
El acceso a alimentos				
La probabilidad de ocurrencia de grandes accidentes				
La riqueza monumental, paisajística y cultural de la zona.				
El acceso a espacios naturales, zonas verdes, espacios públicos y lugares de concurrencia pública				
La movilidad no asociada a vehículos a motor				
Los niveles de accidentabilidad ligados al tráfico				
La ocupación de zonas vulnerables				
Otros factores				

Lista de Chequeo de identificación de impactos en determinantes de salud. Fuente: Adaptado del Manual EIS de proyectos.

Anexo 3. Lista de chequeo de Valoración Preliminar de Impactos en la Salud

Agrupaciones de determinantes y áreas asociadas	FACTORES PROPIOS PROYECTO				FACTORES PROPIOS DEL ENTORNO					IMPACTO GLOBAL
	Impacto Potencial	Certidumbre	Medidas	DICTAMEN	Población Total	Grupos Vulnerables	Inequidades en distribución	Preocupación ciudadana	DICTAMEN	
FACTORES AMBIENTALES										
Área 1	Alto/ Medio/ Bajo	Alto/ Medio/ Bajo	Alto/ Medio/ Bajo	Menor)	Alto/ Medio/ Bajo	Alto/ Medio/ Bajo	Alto/ Medio/ Bajo	Alto/ Medio/ Bajo	(Mayor)	SIGNIFICATIVO/ NO SIGNIFICATIVO
Área 2										
....										
FACTORES SOCIOECONÓM. Y CONVIVENCIA SOCIAL										
Área 1	Alto/ Medio/ Bajo	Alto/ Medio/ Bajo	Alto/ Medio/ Bajo	Menor)	Alto/ Medio/ Bajo	Alto/ Medio/ Bajo	Alto/ Medio/ Bajo	Alto/ Medio/ Bajo	(Mayor)	SIGNIFICATIVO/ NO SIGNIFICATIVO
Área 2										
...										
OTROS FACTORES										
Área 1	Alto/ Medio/ Bajo	Alto/ Medio/ Bajo	Alto/ Medio/ Bajo	Menor)	Alto/ Medio/ Bajo	Alto/ Medio/ Bajo	Alto/ Medio/ Bajo	Alto/ Medio/ Bajo	(Mayor)	SIGNIFICATIVO/ NO SIGNIFICATIVO
Área 2										
...										

Lista de chequeo de Valoración Preliminar de Impactos en la Salud. Fuente: Adaptado del Manual EIS de proyectos.

Anexo 4. Cuadro de Valoración Preliminar de Impactos en la Salud.

Factores	Definición	Criterios de clasificación		
		BAJO	MEDIO	ALTO
<i>Efecto potencial</i>	Intensidad máxima del impacto en la salud que puede causar en la población la modificación del determinante.	Efectos leves, afectando más a la calidad de vida o al bienestar.	Pueden modificar la incidencia o los síntomas / efectos de enfermedades no graves, así como la incidencia de lesiones no incapacitantes.	Pueden alterar positiva o negativamente de forma significativa los AVAD, la incidencia de enfermedades graves (que exijan hospitalización, crónicas, brotes agudos...) o lesiones incapacitantes.
<i>Nivel de Certidumbre</i>	Grado de confianza adjudicado a la probabilidad de que se produzca el efecto en salud al nivel de grupos de población (medido en función de la confianza con que organismos nacionales e internacionales se han pronunciado al respecto).	Artículos y estudios publicados. Pruebas obtenidas por medios propios.	Metaanálisis, revisiones sistemáticas, análisis comparativos, etc. Aspectos incorporados en legislación de otros países. Recomendaciones de organismos internacionales.	Pronunciamiento claro de organismos internacionales de reconocido prestigio (IARC, OMS, SCENIHR, EPA, etc.). Aspectos incorporados en legislación /planes de acción propios.
<i>Medidas de protección o promoción</i>	Existencia y efectividad de medidas para corregir y/o atenuar el efecto negativo o potenciar el efecto positivo sobre la salud como consecuencia de la modificación del determinante.	Existen medidas de protección o promoción de reconocida eficacia y se han implementado ya en el proyecto original.	Las medidas de protección o promoción implementadas sólo pueden variar parcialmente los efectos de acuerdo con la evidencia sobre intervenciones. Existen medidas de reconocida eficacia y se han previsto pero no pueden implementarse en el proyecto por motivos diversos.	No existen medidas de reconocida eficacia, o bien no está prevista su implementación.

Factores	Definición	Criterios de clasificación		
		BAJO	MEDIO	ALTO
<i>Población total</i>	Magnitud de población expuesta y/o afectada en términos absolutos, si bien no conviene desdeñar su afección en términos relativos respecto al total de la población del municipio (en municipios pequeños).	La afectación o exposición suele ser de corta duración / intermitente / afecta a un área pequeña y/o a un pequeño número de personas, por ejemplo menos de 500 habitantes.	La afectación o exposición puede ser más duradera e incluso intermitente / afecta a un área relativamente localizada y/o a un número significativo de personas, por ejemplo entre 500 y 5000 habitantes.	La afectación o exposición es de larga duración o permanente o afecta a un área extensa y/o un número importante de personas, por ejemplo más de 5000 habitantes o a la totalidad de habitantes del municipio.
<i>Grupos Vulnerables</i>	<i>Poblaciones cuya capacidad de resistir o sobreponerse a un impacto es notablemente inferior a la media ya sea por sus características intrínsecas o por circunstancias sobrevinidas de su pasado</i>	No se tiene constancia de la existencia de una comunidad significativa de personas que puedan considerarse grupo vulnerable para este determinante por razones sociales o demográficas (edad, sexo, personas con discapacidad o en riesgo de exclusión social, personas inmigrantes o minorías étnicas).	Existe una comunidad de personas que puede considerarse grupo vulnerable para este determinante pero se distribuyen de forma no concentrada por el espacio físico, o si se concentran en un espacio geográfico común éste no tiene un tamaño significativo.	Existen comunidades de personas que pueden considerarse grupo vulnerable para este determinante pero además o bien se concentran en un espacio común de tamaño significativo / varios espacios menores, o bien se trata de comunidades que concentran más de dos o tres factores de vulnerabilidad.
<i>Inequidades en Distribución</i>	<i>Poblaciones que, de forma injustificada, se ven afectadas desproporcionadamente o sobre las que se refuerza una desigualdad en la distribución de impactos.</i>	No se han documentado inequidades significativas en la distribución de los impactos o los mismos ayudan a atenuar las inequidades que existían previamente a la implementación del proyecto.	Se prevén inequidades en la distribución de los impactos tras la ejecución y puesta en marcha del proyecto, bien porque se generen o porque no se pueden atenuar las inequidades preexistentes.	Se prevé que la ejecución y puesta en marcha del proyecto pueda reforzar las inequidades existentes o generar inequidades significativas que afectan a grupos vulnerables por razones sociales o demográficas.

Factores	Definición	Criterios de clasificación		
		BAJO	MEDIO	ALTO
<i>Preocupación Ciudadana</i>	<i>Aspectos que suscitan una inquietud específica de la población obtenida en los procedimientos de participación de la comunidad.</i>	Se han realizado suficientes medidas de fomento de la participación y no se ha detectado una especial preocupación de la ciudadanía respecto a este tema. Valoración participación = [Alta o Media]	No se ha detectado preocupación de la ciudadanía por este tema o, si se ha detectado, bien no es generalizada, bien no se sabe con exactitud este dato. Valoración participación = [Media, Baja o Básica]	Se ha detectado preocupación de la ciudadanía por este tema de forma generalizada o en colectivos organizados / vulnerables / afectados por inequidades previas. Valoración participación = [Baja o Básica]

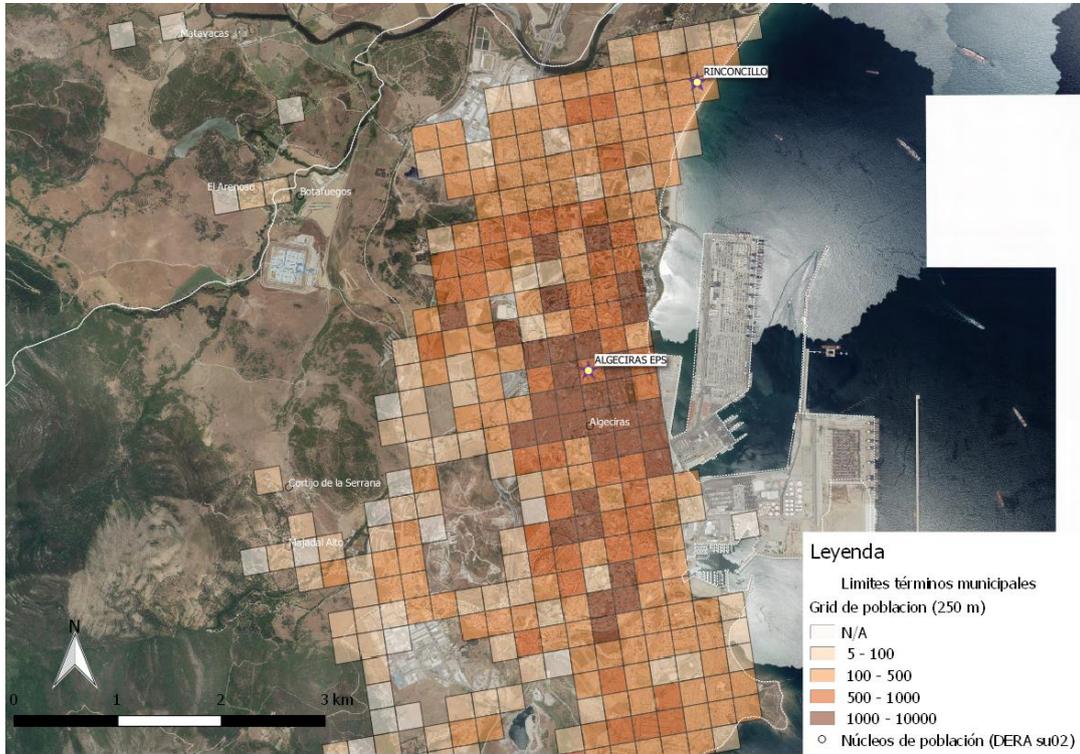
Cuadro de Valoración Preliminar de Impactos en la Salud. Fuente: Adaptado del Manual EIS de proyectos.

Anexo 5. Decisiones para el análisis preliminar de los impactos significativos en salud

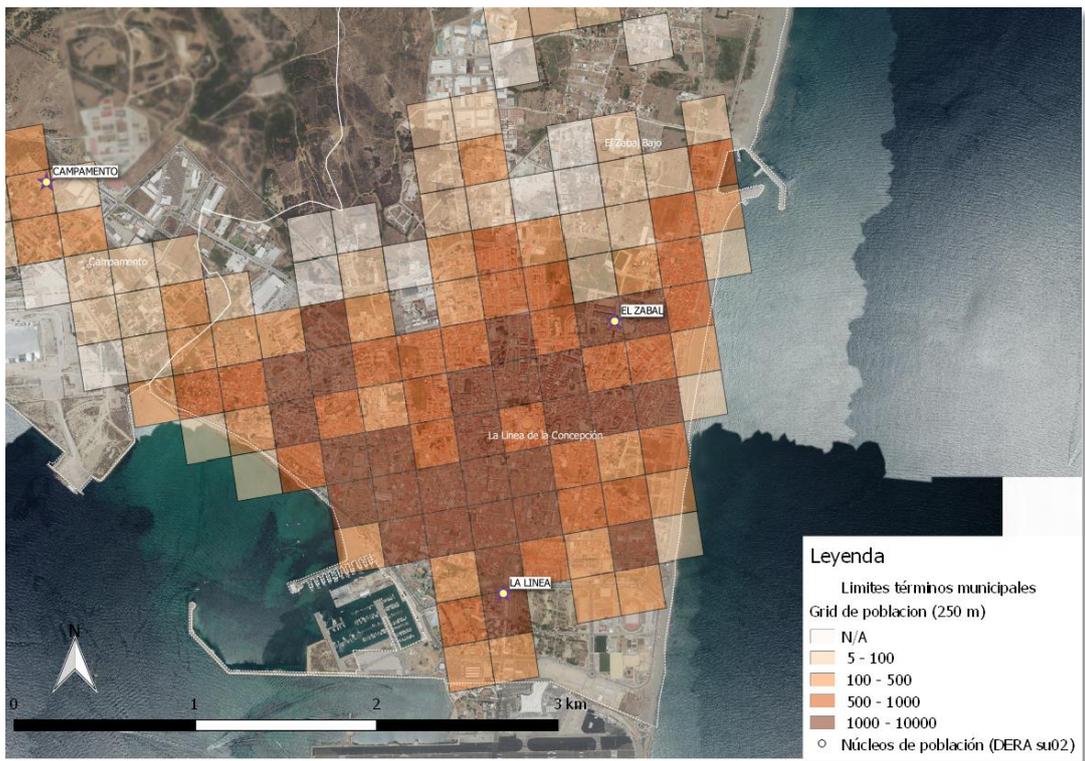
	FACTORES PROPIOS DE LA ACTUACIÓN			FACTORES PROPIOS DEL ENTORNO				
Variables	Impacto Potencial	Certidumbre	Medidas Protección	Población Total	Grupos Vulnerables	Inequidad en Distribución	Preocupación Ciudadana	IMPACTO GLOBAL: ¿Es significativo?
Criterio	NECESARIO			SUFICIENTE				
Condición	Han de existir TODOS (es decir, todos los factores se clasificarán como Nivel Medio o Nivel Alto)			Basta con que UNO de ellos se clasifique como Nivel Medio				
Dictamen	Se elegirá el nivel MENOR de los obtenidos para cada uno de los tres factores.			Se elegirá el nivel MAYOR de entre los obtenidos para cada uno de los cuatro factores.				
Resultados posibles	ALTO			ALTO				SI
	ALTO			MEDIO				SI
	ALTO			BAJO				NO
	MEDIO			ALTO				SI
	MEDIO			MEDIO				NO
	MEDIO			BAJO				NO
	BAJO			ALTO				SI
	BAJO			MEDIO				NO
	BAJO			BAJO				NO

Decisiones para el análisis preliminar de los impactos significativos en salud. Fuente: Adaptado del Manual EIS de proyectos.

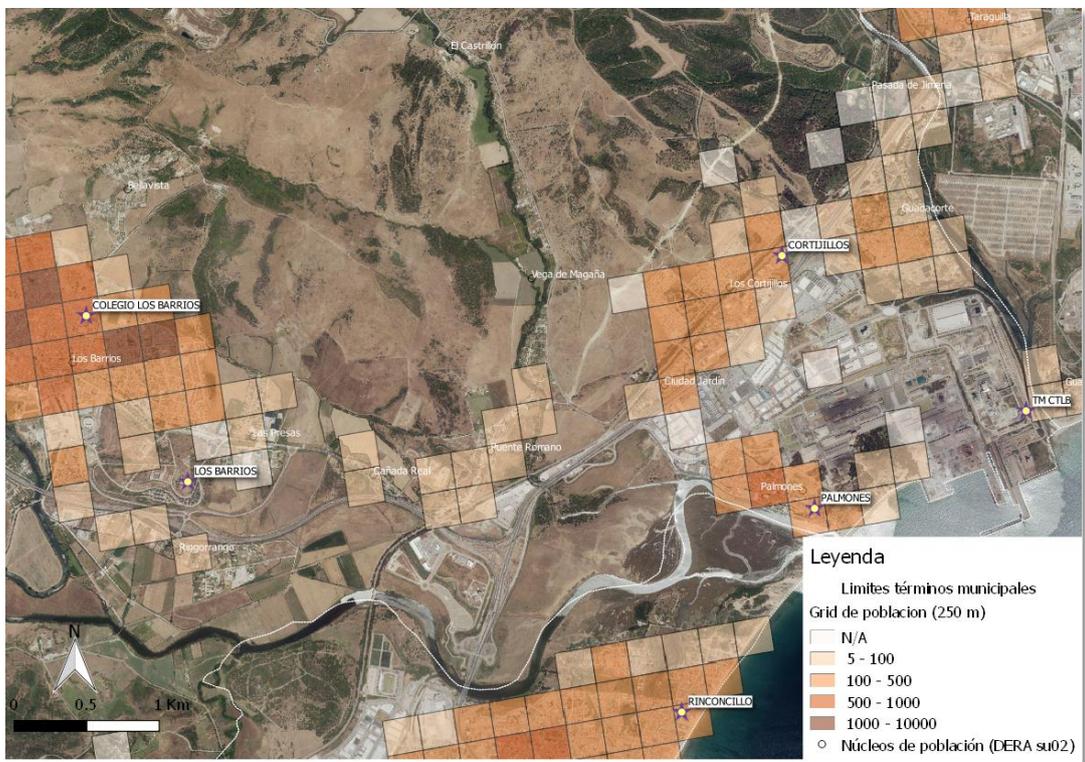
Anexo 6. Mapas con la población y estaciones de la RVCCA por municipios.



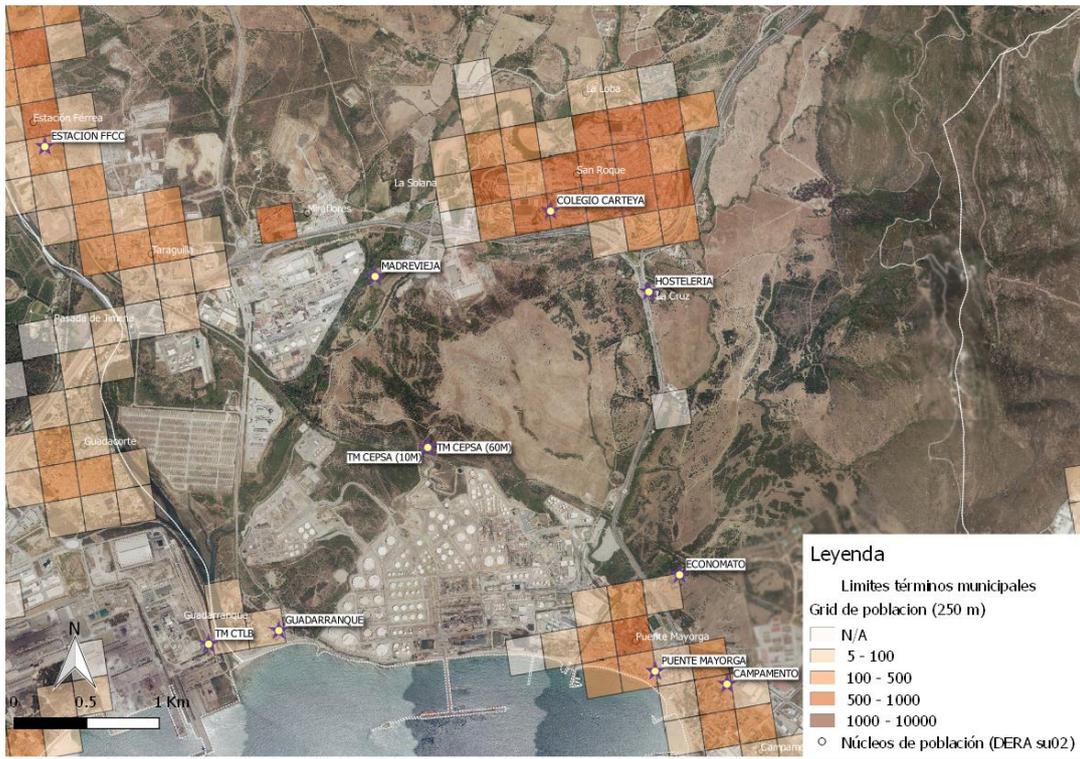
Vista del municipio de Algeciras, escala 1:35.000.



Vista del municipio de La Línea, escala 1:20.000.



Vista del municipio de Los Barrios, escala 1:20.000.



Vista del municipio de San Roque, escala 1:25.000.

Anexo 7. Análisis en profundidad (1)

OBTENCIÓN DE LAS TASAS DE MORTALIDAD

```
# Datos a seleccionar de los municipios de de la Bahia de Algeciras
# (BAH), es decir, la suma de los datos de Algeciras, Los Barrios, La Linea
# y
# San Roque, por año, desde 2005 a 2013:
# 1) Tasas de Mortalidad (TM) anuales por causas no externas, edad > 29
# (ICD10: A00-R99).
#     Nota: Se excluyen de la petición las causas externas, es decir:
#     i.   ICD10:S00-T88
#     ii.  ICD10:V00-Y99
#     iii. ICD10:Z00-Z99
# 2) TM anuales por Cáncer de pulmón (ICD10: C33-C34). Edad > 29 años.
# 3) TM anuales por Enf. isquémica cardíaca (ICD10: I20-I25). Edad >24
# años.
# 4) TM anuales por Enf. cerebrovascular (ICD10: I61-I69). Edad >24 años.
# 5) TM anuales por EPOC (ICD10: J40-J44, J47). Edad > 29 años.

# Primero cargamos y exploramos los datos: Fichero "Defunciones_mundef",
# con
# todas las defunciones en Andalucía de 2005 a 2013.
# Utilizamos el comando Import Dataset> From csv y el paquete "readr".

# El paquete ofrece una serie de utilidades , como la coerción del modo
# para columnas.
# Se indica:
# Delimiter: semicolon.
#     # En columna "CODCAU23" (CIE): caracter
#     # En la columna "edad": numerico.
# El código que escribe automáticamente el paquete es:
# > Defunciones_mundef <- read_delim("F:/R/Ejercicios y Actividades de
# R/R_peticion_datos_mar17/Datos_Defunciones/Defunciones_mundef.csvt",
# +     ";", escape_double = FALSE, col_types = cols(CODCAU23 =
# col_character()),
# +     EDADDEF = col_number()), trim_ws = TRUE)

# Nota 1: el paquete "readr" a veces yerra en la numeración de filas, se
# comprueba
# la correspondencia nombre-datos en las columnas, siendo correcta.

# Nota 2: denominación: "Defunciones_mundef".

# Seleccionamos de las variables nos interesan: Para evitar errores
# posteriores,
# creamos un dataframe con las columnas y filas que nos interesan

attach(Defunciones_mundef) #para utilizar cols como var
MUNB # comprobamos
data_AND <- data.frame(DM_CODMUNI,CODCAU23, EDADDEF, ANODEF) #simplificamos
datos

# Ahora filtramos BAH (Algeciras = 11004, Los Barrios= 11008,
# La Linea=11022 y San Roque = 11033)

data_SEBAH <- subset(data_AND, DM_CODMUNI=="11004"|
+     DM_CODMUNI=="11008"| DM_CODMUNI=="11022"|
+     DM_CODMUNI=="11033")
```

```

nrow(subset(data_SEBAH, DM_CODMUNI==11004)) # Comprobacion: Algeciras 9209
defunciones

# Condiciones: BAH + >29 + Causas externas + 2005-13

BAH_ext <- c(1:9)
for(i in 1:9) {BAH_ext[i]<-nrow (subset(data_SEBAH,

(DM_CODMUNI=="11004"|DM_CODMUNI=="11008"|DM_CODMUNI=="11022"|DM_CODMUNI=="1
1033")
  & EDADDEF > 029 & ANODEF==2004+i & CODCAU23 <= "R99"))}

# Condición: BAH + >29 + C pulmon + 2005

BAH_pulm <- c(1:9)
for(i in 1:9) {BAH_pulm[i]<-nrow (subset(data_SEBAH,
(DM_CODMUNI=="11004"|DM_CODMUNI=="11008"|DM_CODMUNI=="11022"|DM_CODMUNI=="1
1033")
& EDADDEF > 029 & ANODEF==2004+i & (CODCAU23=="C33"|CODCAU23=="C34")))}

# Condiciones: BAH + >24 + Isquemia + 2005-13

BAH_isq <- c(1:9)
for(i in 1:9) {BAH_isq[i]<-nrow (subset(data_SEBAH,
(DM_CODMUNI=="11004"|DM_CODMUNI=="11008"|DM_CODMUNI=="11022"|DM_CODMUNI=="1
1033")
  & EDADDEF > 024 & ANODEF==2004+i & (CODCAU23 >= "I20" & CODCAU23 <=
"I25")))}

# Condiciones: BAH + >24 + CV + 2005-13

BAH_vasc <- c(1:9)
for(i in 1:9) {BAH_vasc[i]<-nrow (subset(data_SEBAH,
(DM_CODMUNI=="11004"|DM_CODMUNI=="11008"|DM_CODMUNI=="11022"|DM_CODMUNI=="1
1033")
& EDADDEF > 024 & ANODEF==2004+i & CODCAU23 >= "I61" & CODCAU23 <= "I69"))}

# Condiciones: BAH + >29 + EPOC + 2005-13

BAH_EPOC <- c(1:9)
for(i in 1:9) {BAH_EPOC[i]<-nrow (subset(data_SEBAH,
(DM_CODMUNI=="11004"|DM_CODMUNI=="11008"|DM_CODMUNI=="11022"|DM_CODMUNI=="1
1033")
& EDADDEF > 029 & ANODEF==2004+i
& ((CODCAU23 >="J40" & CODCAU23<="J44") | CODCAU23=="J47")))}

# Tenemos 10 vectores con el número de defunciones con las condiciones
# para cada caso, ordenados de 2005 a 2013.

# Ahora, para poder calcular las las tasas específicas de mortalidad por
edad
# crearemos un dataframe con la Poblacion media (>24 y > 29, 2005-2013), a
partir
# del archivo de excel "Poblacion_media", creado mediante sucesivos filtros
a datos de

```

```

# poblacion municipal del INE y aproximando la cifra de la poblacion a
mitad de
# periodo mediante el calculo:
# Poblacion media "año X"= [(P a 1 enero "año X")+(P a 1 enero "año
X+1")]/2

# Nota: Usamos el paquete readxl:

# Para facilitar los calculos creamos un dataframe con la poblacion de SE y
otro con
# la suma de los cuatro municipios de BAH

Pobl_SEBAH <- rbind("SE"= Poblacion_media[5,2:19],
                  "BAH"= colSums(Poblacion_media[c(1:4),c(2:19)]))
attach(Pobl_SEBAH)

# Procedemos a calcular las tasas especificas de mortalidad (asumimos
Poblacion
# a mitad de periodo que corresponda = Poblacion media):
# TM= (n° defunciones causa x, edad y) / (Poblac mitad periodo edad y),

# Los elementos de cada vector resultante estan ordenados de 2005 a 2013.
# Para obtener poblacion de SE: 1, poblacion de BAH: 2.
# Para obtener edad > 24: columnas c(1,3,5,7,9,11,13,15,17) de Pobl_SEBAH
# Para obtener edad > 29: columnas c(2,4,6,8,10,12,14,16,18) de Pobl_SEBAH

# Tasa especifica de mortalidad por causas externas en BAHIA ALG. Edad > 29
TM_BAH_ext <- as.numeric(BAH_ext/ Pobl_SEBAH[2
,c(2,4,6,8,10,12,14,16,18)])*100000

# Tasa especifica de mortalidad por Cáncer de pulmón en BAHIA ALG. Edad >
29
TM_BAH_pulm <- as.numeric(BAH_pulm/ Pobl_SEBAH[2
,c(2,4,6,8,10,12,14,16,18)])*100000

# Tasa especifica de mortalidad por Enf. isquémica cardíaca en BAHIA ALG.
Edad >24
TM_BAH_isq <- as.numeric(BAH_isq/ Pobl_SEBAH[2
,c(1,3,5,7,9,11,13,15,17)])*100000

# Tasa especifica de mortalidad por Enf. cerebrovascular en BAHIA ALG. Edad
>24
TM_BAH_vasc <- as.numeric(BAH_vasc/ Pobl_SEBAH[2
,c(1,3,5,7,9,11,13,15,17)])*100000

# Tasa especifica de mortalidad por EPOC en BAHIA ALG. Edad > 29
TM_BAH_EPOC <- as.numeric(BAH_EPOC/ Pobl_SEBAH[2
,c(2,4,6,8,10,12,14,16,18)])*100000

# Por ultimo, creamos una tabla con todos los datos y exportamos a csv
write.csv2(Tasas_Mortalidad, file = "TME_2005_2013.csv", fileEncoding =
"UTF-16LE")

```

Anexo 8. Análisis en profundidad (2)

****ANÁLISIS PRELIMINAR DE LAS DIRECCIONES DE LOS VIENTOS****

Cargar datos y paquetes Openair y RColorBrewer.

Se comprueba el formato de la fecha y hora:
as.POSIXct(strptime(columna, format = "%d/%m/%Y %H:%M", "GMT"))
Utilizamos la función windRose.

```
```{r}
```

```
library(readr)
datos <- read_delim("2005-2013.csv", ";",
 escape_double = FALSE, col_types = cols(angulo = col_number(),
 temp = col_number(), time = col_datetime(format = "%d/%m/%Y
%H:%M")),
 veloc = col_number()), trim_ws = TRUE)
```

```
library(openair)
library(RColorBrewer)
```

```
datos <- data.frame(datos)
attach(datos)
```

```
windRose (datos, ws= "veloc", wd= "angulo", ws.int = 5, angle = 45,
bias.corr = TRUE, cols = c("lightblue", "lightblue2",
"skyblue","skyblue2", "slateblue"), grid.line = list(value = 10, lty
= 10, col = "grey"), width = 1.5, seg= NULL, breaks = 5, offset = 15,
paddle = FALSE , key.header= "Wind speed", key.footer = "(m / s)",
key.position = "top", dig.lab = 3, statistic = "prop.count", annotate
= FALSE, border = "black")
```

```
```
```

****DEFUNCIONES DIARIAS EN BAHÍA DE ALGECIRAS, POR MUNICIPIO Y DÍA****

Datos a obtener de los municipios de la Bahía de Algeciras (BAH), desde 2005 a 2013: Defunciones anuales por causas no externas, TOTALES (ICD10: A00-R99). Se excluyen de la petición las causas externas, es decir:

- i. ICD10:S00-T88
- ii. ICD10:V00-Y99
- iii. ICD10:Z00-Z99

Primero cargamos y exploramos los datos: Fichero "Defunciones_mundef", con todas las defunciones en Andalucía de 2005 a 2013. Utilizamos el comando Import Dataset> From csv y el paquete "readr".

Escogemos las columnas que nos interesan y filtramos por los códigos de los municipios de la Bahía de Algeciras (BAH), que son: Algeciras = 11004, Los Barrios= 11008, La Linea=11022 y San Roque = 11033.

```
```{r}
```

```
library(readr)
attach(Defunciones_mundef)
row_data <- subset(data.frame(DM_CODMUNI,CODCAU23, EDADDEF, DIADEF,
MESDEF, ANODEF), DM_CODMUNI=="11004"|
 DM_CODMUNI=="11008"| DM_CODMUNI=="11022"|
 DM_CODMUNI=="11033")
detach(Defunciones_mundef)
```

```
```
```

Ahora ajustamos formato de fecha y tipo de datos.

```
```{r}
```

```
row_data[,7] <- paste(DIADEF, MESDEF, ANODEF, sep = " ")
colnames(row_data)[7] <- "fecha"
row_data[7] <- dmy(fecha)

row_data[1] <- as.character (DM_CODMUNI)
row_data[2] <- as.character(CODCAU23)
row_data[3] <- as.factor(fecha)
str(row_data)
```

```
```
```

Filtramos por municipio, día y causas no externas:

```
```{r}
```

```
Algeciras <- subset(row_data, DM_CODMUNI=="11004" & CODCAU23 <="R99")
Barrios <- subset(row_data, DM_CODMUNI=="11008" & CODCAU23 <="R99")
Linea <- subset(row_data, DM_CODMUNI=="11022" & CODCAU23 <="R99")
Roque <- subset(row_data, DM_CODMUNI=="11033" & CODCAU23 <="R99")
```

```
RAlg <- data.frame (table(Algeciras$fecha))
colnames(RAlg)[1] <- "dia"
head(RAlg)
```

```
RBar <- data.frame (table(Barrios$fecha))
colnames(RBar)[1] <- "dia"
head(RBar)
```

```

R_Lin <- data.frame (table(Linea$fecha))
colnames(R_Lin)[1] <- "dia"
head(R_Lin)

R_Roq <- data.frame (table(Roque$fecha))
colnames(R_Roq)[1] <- "dia"
head(R_Roq)

...

Unimos los cuatro municipios por la columna "dia" (con el paquete
Dplyr) y cambiamos los NA por ceros. Finalmente, salvamos los datos

```{r}

library(dplyr)
union1 <- full_join(R_Alg, R_Bar, by="dia")
union2 <- full_join(R_Lin, R_Roq, by="dia")
union <- full_join(union1, union2, by="dia")
colnames(union)[2:5] <- c("Algeciras", "Barrios", "Linea", "Roque")

union$Algeciras[is.na(union$Algeciras)] <- 0
union$Barrios[is.na(union$Barrios)] <- 0
union$Linea[is.na(union$Linea)] <- 0
union$Roque[is.na(union$Roque)] <- 0
head(union)

#Salvar datos
write.csv2(union, file = "union.csv", fileEncoding = "UTF-16LE")
```

```

## Anexo 9. Análisis en profundidad (3): Preparación de datos

En este apartado incluiremos los cálculos dirigidos a la preparación de los datos para el tercer estudio de la Fase 6- Análisis en profundidad.

### 1-. Variables independientes y covariables

*Obtención del valor diario máximo octohorario de ozono*

- Datos de partida: Valores semihorarios y diezminutales de ozono,
- Condición: al menos el 75% de mediciones diarias deben ser válidas.

```
Tratamiento de datos diezminutales (2010-13)

O3_2diezm <- read_delim("D:/18_EIS F6_Estudio 3_PM_NAF/01_Tesis Doc
toral_R2/O3T/O3_2diezm.csv",
 ";", escape_double = FALSE, col_names = FALSE,
 col_types = cols(`01/11/2010 0:00` = col_datetime(
format = "%d/%m/%Y %H:%M"),
 X1 = col_datetime(format = "%d/%m/%Y %H:%M"),
 X2 = col_number()), locale = locale(decimal_mark = ",",
trim_ws = TRUE)

colnames(O3_2diezm)[1] <- "date"
colnames(O3_2diezm)[2] <- "ozono"

horarios <- timeAverage(O3_2diezm, avg.time = "hour", data.thresh = 75)

Cargamos datos horarios (2005-10)

O3_1horarias <- read_delim("D:/18_EIS F6_Estudio 3_PM_NAF/01_Tesis
Doctoral_R2/O3T/O3_1horarias.csv",
 ";", escape_double = FALSE, col_names = FALSE,
 col_types = cols(X1 = col_datetime(format = "%d/%m/%Y %H:%M"),
 X2 = col_number()), locale = locale(decimal_mark = ",",
trim_ws = TRUE)

colnames(O3_1horarias)[1] <- "date"
colnames(O3_1horarias)[2] <- "ozono"
```

```

#Incorporamos variables con medias octohorarias (ocho horas previas
, incluida actual)

octohorarios1 <- rollingMean(horarios, pollutant= "ozono", width =
8, new.name= "Lin8", data.thresh=75,
align = "right")

octohorarios2 <- rollingMean(O3_1horarias, pollutant= "ozono", width
h = 8, new.name= "Lin8", data.thresh=75,
align = "right")

octohorarios <- rbind.data.frame(octohorarios1,octohorarios2)

Valor maximo de las medias octohorarias diarias

max_octohorario <- timeAverage(octohorarios, avg.time = "day", data
.thresh = 75, statistic = "max")
colnames(max_octohorario)[3] <- "ozono"

Salvar ozono a partir de max_octohorario

ozono <- max_octohorario[,c(1,3)]
write.csv(ozono, file = "D:/18_EIS F6_Estudio 3_PM_NAF/01_Tesis Doc
toral_R2/O3T/ozono.csv")

rm(O3_2diezm, horarios, O3_1horarias, octohorarios, octohorarios1,
octohorarios2, max_octohorario)

```

#### Obtención del valor medio diario de temperaturas

- Datos de partida: valores semihorarios (2005-08) y diezminutales (2008-13).
- Condición: al menos el 75% de mediciones diarias deben ser válidas.

```

Cargamos csv con temperaturas semihorarias
01/01/2005 a 30/11/2008 = 1430 días

TR0508sem <- read_delim("D:/18_EIS F6_Estudio 3_PM_NAF/01_Tesis Doc
toral_R2/O3T/TR0508sem.csv",
";", escape_double = FALSE, col_types = col
s(T = col_number(),
fecha = col_datetime(format
= "%d/%m/%Y %H:%M")),
trim_ws = TRUE)

colnames(TR0508sem)[1] <- "date"
colnames(TR0508sem)[2] <- "t"

```

```

Tmed1 <- timeAverage(TR0508sem, avg.time = "day", data.thresh = 75,
statistic = "mean")
Tmed1 <- Tmed1[1:1430,]

Cargamos csv con temperaturas diezminutales
30/11/2008 a 31/12/2013 = 1857 dias

TR0813dm <- read_delim("D:/18_EIS F6_Estudio 3_PM_NAF/01_Tesis Doct
oral_R2/O3T/TR0813dm.csv", ";",
 escape_double = FALSE, col_types = cols(T = col_number(),
fecha = col_datetime(format = "%d/%m/%Y %H:%M")),
 locale = locale(decimal_mark = ","),
 trim_ws = TRUE)

colnames(TR0813dm)[1] <- "date"
colnames(TR0813dm)[2] <- "t"

Tmed2 <- timeAverage(TR0813dm, avg.time = "day",
 data.thresh = 75, statistic = "mean")
Tmed2 <- Tmed2[1:1857,]

tmed <- rbind.data.frame(Tmed1,Tmed2)
write.csv(tmed, file = "D:/18_EIS F6_Estudio 3_PM_NAF/01_Tesis Doct
oral_R2/O3T/tmed.csv")

rm(TR0508sem, TR0813dm, Tmed1, Tmed2)

```

*Obtención del valor medio diario de humedad relativa.*

- Datos de partida: valores horarios (2005-10) y diezminutales (2010-13).
- Condición: al menos el 75% de mediciones diarias deben ser válidas.

```

Cargamos csv con mediciones horarias y calculamos valores medios
diarios
hr0510 <- read_delim("D:/18_EIS F6_Estudio 3_PM_NAF/01_Tesis Doctor
al_R2/O3T/HR0510hora.csv",
 ";", escape_double = FALSE, col_types = cols(H
R = col_number(),
 date = col_datetime(format = "%d/%m/%Y %H:%M")
),
 locale = locale(decimal_mark = ","),
 trim_ws = TRUE)
hr1 <- timeAverage(hr0510, avg.time = "day",
 data.thresh = 75, statistic = "mean")

Cargamos csv con mediciones diezminutales y calculamos valores me

```

*dios diarios*

```
hr1113 <- read_delim("D:/18_EIS F6_Estudio 3_PM_NAF/01_Tesis Doctoral_R2/O3T/HR1113diezm.csv",
 ";", escape_double = FALSE, col_types =
cols(HR = col_number(),
 date = col_datetime(format = "%d/%m/%Y %
H:%M")),
 locale = locale(decimal_mark = ","),
 trim_ws = TRUE)

hr2 <- timeAverage(hr1113, avg.time = "day",
 data.thresh = 75, statistic = "mean")

unimos
hr <- rbind.data.frame(hr1,hr2)

salvamos
write.csv(hr, file = "D:/18_EIS F6_Estudio 3_PM_NAF/01_Tesis Doctoral_R2/O3T/hr.csv")
rm(hr0510, hr1, hr1113, hr2)
```

*Obtención del indicador de incidencia diaria de gripe*

```
gripe2 <- read_delim("D:/18_EIS F6_Estudio 3_PM_NAF/01_Tesis Doctoral_R2/gripe/gripe2.csv",
 ";", escape_double = FALSE, locale = locale(decimal_mark = ","),
 ,
 trim_ws = TRUE)

Adjust weeks from 3st of January 2011.
Due to 2008 and 2012 are leap years, we are going to proceed ye
ar by year to avoid making mistakes.

influenza05 <- c(98.4, 98.4, rep(gripe2$`2005`, each = 7)); influen
za05 <- influenza05[1:365]
influenza06 <- c(2.63, rep(gripe2$`2006`, each = 7))
influenza07 <- c(rep(gripe2$`2007`, each = 7), 190.07)
influenza08<- c(rep(gripe2$`2008`, each = 7), 64.28, 64.28, 64.28);
influenza08 <- influenza08[2:367]
influenza09 <- c(rep(gripe2$`2009`, each = 7), 51.69, 51.69, 51.69,
51.69); influenza09 <- influenza09[4:368]
influenza10 <- c(51.69, 51.69, 51.69, rep(gripe2$`2010`, each = 7))
; influenza10 <- influenza10[1:365]
influenza11 <- c(44.8, 44.8, rep(gripe2$`2011`, each = 7)); influen
za11 <- influenza11[1:365]
```

```

influenza12 <- c(12.8, rep(gripe2$`2012`, each = 7), 31.8)
influenza13 <- c(rep(gripe2$`2013`, each = 7), NA, NA)
influenza13 <- influenza13[2:366]

gripe <- c(influenza05, influenza06, influenza07, influenza08, influ
enza09, influenza10, influenza11, influenza12, influenza13)
gripe <- gripe/7
gripe[is.na(gripe)] = 0
write.csv(gripe, file = "D:/18_EIS F6_Estudio 3_PM_NAF/01_Tesis Doc
toral_R2/DatosE3/gripe.csv")

rm(influenza05, influenza06, influenza07, influenza08, influenza09, i
nfluenza10, influenza11, influenza12, influenza13, gripe2)

```

*Obtención de la matriz de variables*

```

variables <- read_delim("DatosE3/variables.csv",
 ";", escape_double = FALSE, col_types = cols(fecha = col_date(f
ormat = "%d/%m/%Y"),
 fst = col_factor(levels = c("0",
 "1")), gripe = col_number(),
 hr = col_number(), naf = col_factor(levels = c("0",
 "1")), ozono = col_number(),
 pm10 = col_number(), tmed = col_number(),
 tmedQ = col_number()), locale = locale(decimal_mark = ","),
 trim_ws = TRUE)

levels(variables$naf) <- c("no-naf", "naf")
levels(variables$fst) <- c("no-fst", "fst")

variables$somo <- ifelse(variables$ozono > 70, variables$ozono - 70, 0)
variables$mes <- as.factor(months(variables$fecha))
variables$year <- as.factor(format(variables$fecha, format = "%Y"))
variables$dow <- as.factor(weekdays(variables$fecha))
variables$stratum <- as.factor(variables$year:variables$mes:variab
les$dow)
variables$pm10 <- variables$pm10/10

```

## 2-. Mortalidad diaria en la Bahía de Algeciras

*Obtención de las matrices de datos extendidos*

Datos de partida: "Defunciones\_mundef", con todas las defunciones en Andalucía de 2005 a 2013.

```
deaths <- read_delim ("DatosE3/defunciones.csvt", ";", escape_double = FALSE, col_types = cols(CODCAU23 = col_character(), EDADDEF = col_number()), trim_ws = TRUE)
```

```
deaths <- data.frame(deaths)
deaths <- with(deaths, subset(data.frame(DM_CODMUNI, CODCAU23, EDADDEF, SEXOB, DIADEF, MESDEF, ANODEF), DM_CODMUNI=="11022"))
```

```
deaths$fecha <- paste(deaths$DIADEF, deaths$MESDEF, deaths$ANODEF, sep = "-")
```

```
deaths$fecha <- dmy(deaths$fecha)
```

```
ajustes de tipos y nombres de variables
```

```
deaths$CODCAU23 <- as.character (deaths$CODCAU23)
```

```
colnames(deaths)[2] <- "causa"
```

```
deaths$SEXOB <- as.factor (deaths$SEXOB)
```

```
colnames(deaths)[4] <- "sexo"
```

```
levels(deaths$sexo) <- c("hombre", "mujer")
```

```
colnames(deaths)[3] <- "edad"
```

```
deaths <- deaths[,c(2,3,4,8)]
```

```
ordenar por fecha
```

```
deaths <- deaths[order(deaths$fecha),]
```

```
añadir variable de trazabilidad
```

```
deaths$id <- sequence(length(deaths$fecha))
```

```
guardar
```

```
write.csv2(deaths, file = "deaths.csv", fileEncoding = "UTF-16LE")
```

```
matrices por causa de muerte
```

```
deaths.nat <- subset(deaths, causa <= "R99")
```

```
deaths.cv <- subset(deaths, causa >="I00"& causa<="I99")
```

```
deaths.res <- subset(deaths, causa >="J00"& causa<="J99")
```

*Obtención de las matrices de datos ecológicos*

```
#frecuencias
```

```
diarias.nat <- data.frame(table(deaths.nat$fecha))
```

```
colnames(diarias.nat)[1] <- "fecha"
```

```
colnames(diarias.nat)[2] <- "nunat"
```

```
diarias.cv <- data.frame(table(deaths.cv$fecha))
```

```
colnames(diarias.cv)[1] <- "fecha"
```

```
colnames(diarias.cv)[2] <- "nucv"
```

```
diarias.res <- data.frame(table(deaths.res$fecha))
```

```

colnames(diarias.res)[1] <- "fecha"
colnames(diarias.res)[2] <- "nures"

eliminar las matrices cv y res (nat hará falta para crear la matriz CCO)
rm(deaths.cv, deaths.res)

dataframe de ajuste ("dias")
dias <- data.frame(seq(as.Date('2005-01-01'), as.Date('2013-12-31'),
by = 'days'))
colnames(dias)[1] <- "fecha"
dias[1] <- as.character (dias$fecha)

unir "dias" y los df con cada causa

dnat <- full_join(dias, diarias.nat, by="fecha")
dcv <- full_join(dias, diarias.cv, by="fecha")
dres <- full_join(dias, diarias.res, by="fecha")
deco <- data.frame (dnat, dcv, dres)

deco <- deco[,c(1,2,4,6)]
deco$nunat[is.na(deco$nunat)] = 0
deco$nucv[is.na(deco$nucv)] = 0
deco$nures[is.na(deco$nures)] = 0

rm(dias, diarias.cv, diarias.nat, diarias.res, dnat, dcv, dres)

```

### 3-. Matriz ecológica para el estudio de series temporales

Ahora añadiremos a la matriz de datos ecológicos **eco** los datos de la matriz **variables** para crear una única matriz de datos ecológicos.

```

eco <- data.frame(deco, variables)
eco$fecha.1 <- NULL
eco <- eco[order(eco$fecha),]

write.csv2(eco, file = "eco.csv", fileEncoding = "UTF-8")

```

### 4-. Matriz CCO para el estudio de casos cruzados

Datos de partida:

- El data frame **deaths**, que contiene todas las muertes entre 01/01/2001 y 12/12/2013 con el sexo, la causa y edad de la muerte. Este data frame ya está

“extendido”, es decir, contiene una fila por cada evento (es decir, por cada índice o período control).

- El data frame **eco**, que contiene las variables independientes y covariables, así como las frecuencias de muertes por todas las causas, causas cardiovasculares y causas respiratorias.
- El data frame **ref**, con los índices y referentes de las variables independientes. Los referentes se han obtenido siguiendo la estrategia *time-stratified*.

La estrategia consistirá en crear un data frame con los datos de “deaths” y con las variables diarias en formato extendido.

```
ref <- read_delim("CC0/ref.csv",
 ";", escape_double = FALSE, locale = locale(decimal_mark = ","),
 ,
 trim_ws = TRUE)

ref$fecha <- dmy(ref$fecha)

ref$naf <- as.factor(ref$naf);
levels(ref$naf) <- c("no-naf", "naf")
ref$naf1 <- as.factor(ref$naf1)
levels(ref$naf1) <- c("no-naf", "naf")
ref$naf2 <- as.factor(ref$naf2)
levels(ref$naf2) <- c("no-naf", "naf")
ref$naf3 <- as.factor(ref$naf3)
levels(ref$naf3) <- c("no-naf", "naf")

ref$fst <- as.factor(ref$fst);
levels(ref$fst) <- c("no-fst", "fst")
ref$fst1 <- as.factor(ref$fst1)
levels(ref$fst1) <- c("no-fst", "fst")
ref$fst2 <- as.factor(ref$fst2)
levels(ref$fst2) <- c("no-fst", "fst")
ref$fst3 <- as.factor(ref$fst3)
levels(ref$fst3) <- c("no-fst", "fst")
```

### Matrices extendidas

```
indices
index <- deaths.nat
index$pm10 <- rep(ref$pm10, eco$nunat)
index$naf <- rep(ref$naf, eco$nunat)
index$ozono <- rep(ref$ozono, eco$nunat)
```

```

index$tmed <- rep(ref$tmed, eco$nunat)
index$hr <- rep(ref$hr, eco$nunat)
index$fst <- rep(ref$fst, eco$nunat)
index$gripe <- rep(ref$gripe, eco$nunat)
index$casos <- rep("1", nrow(index))
index$stratum <- rep(eco$stratum, eco$nunat)

referentes
ref1 <- deaths.nat
ref1$pm10 <- rep(ref$pm1, eco$nunat)
ref1$naf <- rep(ref$naf1, eco$nunat)
ref1$ozono <- rep(ref$ozono1, eco$nunat)
ref1$tmed <- rep(ref$tmed1, eco$nunat)
ref1$hr <- rep(ref$hr1, eco$nunat)
ref1$fst <- rep(ref$fst1, eco$nunat)
ref1$gripe <- rep(ref$gripe1, eco$nunat)
ref1$casos <- rep("0", nrow(ref1))
ref1$stratum <- rep(eco$stratum, eco$nunat)

ref2 <- deaths.nat
ref2$pm10 <- rep(ref$pm2, eco$nunat)
ref2$naf <- rep(ref$naf2, eco$nunat)
ref2$ozono <- rep(ref$ozono2, eco$nunat)
ref2$tmed <- rep(ref$tmed2, eco$nunat)
ref2$hr <- rep(ref$hr2, eco$nunat)
ref2$fst <- rep(ref$fst2, eco$nunat)
ref2$gripe <- rep(ref$gripe2, eco$nunat)
ref2$casos <- rep("0", nrow(ref2))
ref2$stratum <- rep(eco$stratum, eco$nunat)

ref3 <- deaths.nat
ref3$pm10 <- rep(ref$pm3, eco$nunat)
ref3$naf <- rep(ref$naf3, eco$nunat)
ref3$ozono <- rep(ref$ozono3, eco$nunat)
ref3$tmed <- rep(ref$tmed3, eco$nunat)
ref3$hr <- rep(ref$hr3, eco$nunat)
ref3$fst <- rep(ref$fst3, eco$nunat)
ref3$gripe <- rep(ref$gripe3, eco$nunat)
ref3$casos <- rep("0", nrow(ref3))
ref3$stratum <- rep(eco$stratum, eco$nunat)

Unir indices y referentes
matriz <- bind_rows(index, ref1, ref2, ref3)
matriz <- matriz[order(matriz$id),]
write.csv2(matriz, file = "matriz.csv", fileEncoding = "UTF-8")
head(matriz)

rm(index, ref, ref1, ref2, ref3)

```

## Anexo 10. Análisis en profundidad (3): Análisis exploratorio

### 1-. ANÁLISIS UNIVARIANTE

#### 1.1-. Variables dependientes

a) Medidas de tendencia central, dispersión y posición

```
attach(eco)
N = nrow(eco) # 3287 días

estnat <- rbind(round(sum(nunat, na.rm = TRUE)), round(mean(nunat, na.rm = TRUE), 2), quantile(nunat, .25, type = 2, na.rm = TRUE), median(nunat, na.rm = TRUE), quantile(nunat, .75, type = 2, na.rm = TRUE), round(sd(nunat, na.rm = TRUE), 2), var(nunat, na.rm = TRUE)*(N-1)/N)

estcv <- rbind(round(sum(nucv, na.rm = TRUE)), round(mean(nucv, na.rm = TRUE), 2), quantile(nucv, .25, type = 2, na.rm = TRUE), median(nucv, na.rm = TRUE), quantile(nucv, .75, type = 2, na.rm = TRUE), round(sd(nucv, na.rm = TRUE), 2), var(nucv, na.rm = TRUE)*(N-1)/N)

estres <- rbind(round(sum(nures, na.rm = TRUE)), round(mean(nures, na.rm = TRUE), 2), quantile(nures, .25, type = 2, na.rm = TRUE), median(nures, na.rm = TRUE), quantile(nures, .75, type = 2, na.rm = TRUE), round(sd(nures, na.rm = TRUE), 2), var(nures, na.rm = TRUE)*(N-1)/N)

estadisticas <- round(data.frame(estnat, estcv, estres), 2)
colnames(estadisticas) <- c("Causas externas", "Enfermedades cardiovasculares", "Enfermedades respiratorias")
row.names(estadisticas) <- c("Muertes totales", "Media", "Mediana", "Primer cuartil", "Tercer cuartil", "Desviación media", "Varianza")

detach(eco)

Resultados
estadisticas
```

```

frecuencias

tmort1 = data.frame (table(eco$nunat))
colnames(tmort1)=c("num", "naturales")
tmort2 = data.frame (table(eco$nucv))
colnames(tmort2)=c("num", "cardiovasculares")
tmort3 = data.frame (table(eco$nures))
colnames(tmort3)=c("num", "respiratorias")

unión

tmort12<- full_join(tmort1, tmort2 , by="num")
tmort <- full_join(tmort12, tmort3, by="num")

colnames(tmort)[1] <- c("número de muertes diarias")

NAs en ceros
tmort$cardiovasculares [is.na(tmort$cardiovasculares)] <- 0
tmort$respiratorias [is.na(tmort$respiratorias)] <- 0

porcentaje de ceros

ndc.nat <- round((tmort[1,2]/ N)*100,2)
ndc.cv <- round((tmort[1,3]/ N)*100,2)
ndc.res <- round((tmort[1,4]/ N)*100,2)

resultados
tmort

ndc.nat [1] 19.56

ndc.cv [1] 57.29

ndc.res [1] 81.84

eliminar
rm(tmort1, tmort2, tmort3, tmort12)
rm(ndc.nat, ndc.cv, ndc.res)

```

b) Análisis Gráfico

```
Causas externas
```

```
ggplot(eco, aes(x = fecha, y = nunat)) +
 geom_line (color = "indianred3",
 size = 0.001) +
 geom_smooth() + scale_x_date (date_labels = "%b %Y")+
 labs(title = "Serie temporal, causas externas",
 subtitle = "ene 2005- dic 2013",
 x = "", y = "Número de muertes diarias por causas naturales")
```

```
ggplot(eco, aes(x= nunat))+
 geom_histogram(aes(y = ..density..),fill = "indianred3",
 colour = "grey", binwidth = 1)+
 labs(title = "Función de probabilidad del número de muertes diarias",
 y = "Frecuencia", x = "Número de muertes diarias por causas naturales")
```

```
ggplot(eco, aes(y = nunat)) +
 geom_boxplot(color = "red", fill = "pink", outlier.colour="red")+
 ylab("frecuencia relativa")
```

```
ggplot(eco, aes(x=mes, y=nunat))+
 geom_boxplot()+
 ylab("Número de muertes diarias por causas naturales")+
 xlab("Mes")+
 theme_bw()+
 theme(axis.text.x = element_text(angle = 45, hjust = 1))+
 scale_x_discrete(name = "mes",
 limits=c("enero", "febrero", "marzo", "abril", "mayo", "junio", "julio", "agosto", "septiembre", "octubre", "noviembre", "diciembre"))
```

### Enfermedades CV

```
ggplot(eco, aes(x = fecha, y = nucv)) +
 geom_line (color = "indianred3",
 size = 0.01) +
 geom_smooth() +
 scale_x_date (date_labels = "%b %Y")+
 labs(title = "Serie temporal, enfermedades cardiovasculares",
 subtitle = "ene 2005- dic 2013",
```

```

 x = "",
 y = "Número de muertes diarias por enfermedades cardiovasculares")

ggplot(eco, aes(x= nucv)) +
 geom_bar(fill = "indianred3")+
 labs(title = "Función de probabilidad del número de muertes diarias",
 y = "Frecuencia",
 x = "Número de muertes diarias por enfermedades cardiovasculares")

```

### Enfermedades respiratorias

```

ggplot(eco, aes(x = fecha, y = nures)) +
 geom_line (color = "indianred3",
 size = 0.01) +
 geom_smooth() +
 scale_x_date (date_labels = "%b %Y")+
 labs(title = "Serie temporal, enfermedades respiratorias",
 subtitle = "ene 2005- dic 2013",
 x = "",
 y = "Número de muertes diarias por enfermedades respiratorias")

ggplot(eco, aes(x = nures)) +
 geom_bar (fill = "indianred3") +
 labs(title = "Función de probabilidad del número de muertes diarias",
 x = "Número de muertes diarias por enfermedades respiratorias",
 y="Frecuencia")

```

## 1.2.- Variables independientes cuantitativas

a) Resumen.

```

attach(eco)
estcuant <- rbind.data.frame(10*summary(eco$pm10), summary(eco$ozono),
summary(eco$gripe), summary(eco$tmed), summary(eco$hr))

colnames(estcuant) <- c("Minimo", "Primer cuartil", "Mediana",

```

```

"Media", "Tercer cuartil", "Máximo", "datos válidos (%)")
rownames(estcquant) <- c("PM10 (µg/m3)", "ozono (µg/m3)", "Tasa
gripe (casos/100.000 hab.)", "T medias (°C)", "Humedad relativ
a (%)")

dvc = datos válidos variables cuantitativas
dvc <- c(round ((1 - (length(which(is.na(eco$pm10)))/N))*100,
1),
round ((1 - (length(which(is.na(eco$ozono)))/N))*100, 1),
round ((1 - (length(which(is.na(eco$gripe)))/N))*100, 1),
round ((1 - (length(which(is.na(eco$tmed)))/N))*100, 1),
round ((1 - (length(which(is.na(eco$hr)))/N))*100, 1))

estcquant[,7] <- dvc
estcquant[,1:6] <- round(estcquant[,1:6], 1)
estcquant

detach(eco)

```

b) Análisis gráfico.

```

pm10
ggplot(eco, aes(x = fecha, y = 10*pm10)) +
 geom_point(color = "red",
 size = 0.1) +
 geom_smooth() +
 scale_x_date (date_labels = "%b %Y")+
 labs(title = "Serie temporal PM10",
 subtitle = "ene 2005- dic 2013",
 x = "",
 y = "PM10 (µg/m3)")

ggplot(eco, aes(x= 10*pm10))+
 geom_histogram(aes(y = ..density..),fill = "cyan",colour = "b
lue",
 binwidth = 1)+
 geom_density(color=
 "red", linetype = 1,
 size = 1, alpha= 0.2) +
 labs(title = "Función de densidad PM10",
 y = "Frecuencia",
 x = "Concentración PM10 (µg/m3)")

```

```

ggplot(eco, aes(y = 10*pm10)) +
 geom_boxplot(color="blue", fill="cyan") +
 ylab("PM10 (µg/m3)")

ozono

ggplot(eco, aes(x = fecha, y = ozono)) +
 geom_point(color = "darkslategray3",
 size = 0.1) +
 geom_smooth() +
 scale_x_date (date_labels = "%b %Y")+
 labs(title = "Serie temporal ozono",
 subtitle = "ene 2005- dic 2013",
 x = "",
 y = "Ozono (µg/m3)")

ggplot(eco, aes(x= ozono))+
 geom_histogram(aes(y = ..density..),fill = "darkslategray
3",colour = "blue",
 binwidth = 1)+
 geom_density(color=
 "red", linetype = 1,
 size = 1, alpha= 0.2) +
 labs(title = "Función de densidad ozono",
 y = "Frecuencia",
 x = "Concentración ozono (µg/m3)")

ggplot(eco, aes(y = ozono)) +
 geom_boxplot(color="blue", fill="darkslategray3") +
 ylab("ozono (µg/m3)")

```

```

tmed

 ggplot(eco, aes(x= tmed))+
 geom_histogram(aes(y = ..density..),fill = "cornsilk",colour
= "blue",
 binwidth = 1)+
 geom_density(color=
 "red", linetype = 1,
 size = 1, alpha= 0.2) +
 labs(title = "Función de densidad tmed",
 y = "Frecuencia",
 x = "Temperaturas medias (°T)")

```

```

ggplot(eco, aes(y = tmed)) +
 geom_boxplot(color="blue", fill="cornsilk") +
 ylab("Temperatura (°C)")

hr
ggplot(eco, aes(x = fecha, y = hr)) +
 geom_line(color = "orange", size = 0.1) +
 geom_smooth() +
 scale_x_date (date_labels = "%b %Y")+
 labs(title = "Serie temporal Humedad Relativa",
 subtitle = "ene 2005- dic 2013",
 x = "",
 y = "HR (%)")

 ggplot(eco, aes(x= hr))+
 geom_histogram(aes(y = ..density..),fill = "orange",colour =
"blue",
 binwidth = 1)+
 geom_density(color= "red", linetype = 1,
 size = 1, alpha= 0.2) +
 labs(title = "Función de densidad Hmax",
 y = "Frecuencia",
 x = "Humedad relativa (%)")

ggplot(eco, aes(y = hr)) + geom_boxplot(color="blue", fill="orange") +
 ylab("Humedad relativa (%)")

eco$hr <- ifelse(eco$hr<30, NA, eco$hr)
round ((1 - (length(which(is.na(eco$hr)))/N))*100, 1)

gripe
ggplot(eco, aes(x = fecha, y = gripe)) +
 geom_line(color = "darkgreen") +
 scale_x_date (date_labels = "%b %Y")+
 labs(title = "Tasas de incidencia x 100 000 habitantes en la
provincia de Cádiz. Sistema centinela de gripe de Andalucía. 2
005-2013.",
 subtitle = "ene 2005- dic 2013",
 x = "",
 y = "Tasa de gripe por 100.000 habitantes")

```

### 1.3. Variables independientes cualitativas

```
cualitativas <- data.frame (c("si", "no"), table(eco$naf),tabl
e(eco$fst))
cualitativas <- cualitativas[,c(1,3,5)]
colnames(cualitativas) <- c("Criterio","Intrusión sahariana","
Días festivos")
100*cualitativas[1,2]/N
cualitativas
```

## 2) ANÁLISIS BIVARIANTE

### 2.1. Variables cuantitativas y días con intrusión sahariana

```
Usamos la función ggpairs del paquete GGally (extensión de g
gplot)
ggpairs (eco[,c(5,7,8)],
 mapping = ggplot2::aes(colour = "red"),
 upper = list(continuous = wrap("cor", size = 3), combo = "bo
x_no_facet"),
 lower = list(continuous = wrap("points", size = 0.2),
 combo = "dot_no_facet")
)

Tomando NAF como factor:
ggpairs (eco[,c(5:8)],
 mapping = ggplot2::aes(colour = naf),
 upper = list(continuous = wrap("cor", size = 3), combo = "bo
x_no_facet"),
 lower = list(continuous = wrap("points", size = 0.2),
 combo = "dot_no_facet"))
```

```
diferencia entre medias
10*mean(eco$pm10[eco$naf == "naf"], na.rm = T)
```

```
[1] 45.12165
```

```
10*mean(eco$pm10[eco$naf == "no-naf"], na.rm = T)
```

```
[1] 30.43114
```

```
t.test(x = eco$pm10[eco$naf == "naf"],
 y = eco$pm10[eco$naf == "no-naf"],
 alternative = "two.sided", mu = 0, var.equal = TRUE, co
nf.level = 0.95)
```

Two Sample t-test

data: *ecopm10[econaf == "naf"]* and *ecopm10[econaf == "no-naf"]* t = 26.606, df = 3158, p-value < 2.2e-16 alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0 95 percent confidence interval: 1.360788 1.577313 sample estimates: mean of x mean of y 4.512165 3.043114

```
t.test(x = eco$ozono[eco$naf == "naf"],
 y = eco$ozono[eco$naf == "no-naf"],
 alternative = "two.sided", mu = 0, var.equal = TRUE, co
nf.level = 0.95)
```

Two Sample t-test

data: *ecoozono[econaf == "naf"]* and *ecoozono[econaf == "no-naf"]* t = 13.06, df = 2904, p-value < 2.2e-16 alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0 95 percent confidence interval: 9.78687 13.24490 sample estimates: mean of x mean of y 92.90718 81.39130

```
t.test(x = eco$tmed[eco$naf == "naf"],
 y = eco$tmed[eco$naf == "no-naf"],
 alternative = "two.sided", mu = 0, var.equal = TRUE, co
nf.level = 0.95)
```

Two Sample t-test

data: *ecotmed[econaf == "naf"]* and *ecotmed[econaf == "no-naf"]* t = 13.159, df = 3043, p-value < 2.2e-16 alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0 95 percent confidence interval: 2.266102 3.059692 sample estimates: mean of x mean of y 18.67022 16.00732

## 2.2. Relación entre las pm10, ozono y la temperatura media

```
modelo.TP <- gam(nunat ~ te(tmed, pm10), eco, family=quasipois
son)
```

```
vis.gam(modelo.TP, type='response', plot.type='contour', ylab=
"pm / 10")

modelo.OT <- gam(nunat ~ te(ozono, pm10), eco, family=quasipoi
sson)
vis.gam(modelo.OT, type='response', plot.type='contour', ylab=
"pm / 10")
```

### 2.3. Relación entre la variable dependiente y el resto de variables

```
ggplot(eco, aes(x=10*pm10, y=log(nunat))) +
 geom_point()+
 geom_smooth(method = "loess", size = 1.5)+
 xlab("PM10") +
 ylab("Log número muertes causas naturales")
```

```
ggplot(eco, aes(x=tmed, y=log(nunat))) +
 geom_point()+
 geom_smooth(method = "loess", size = 1.5)+
 xlab("Temperatura") +
 ylab("Log número muertes causas naturales")
```

```
ggplot(eco, aes(x=ozono, y=log(nunat))) +
 geom_point()+
 geom_smooth(method = "loess", size = 1.5)+
 xlab("Ozono") +
 ylab("Log número muertes causas naturales")
```

```
ggplot(eco, aes(x=somo, y=log(nunat))) +
 geom_point()+
 geom_smooth(method = "loess", size = 1.5)+
 xlab("Ozono (SOM035)") +
 ylab("Log número muertes causas naturales")
```

```
ggplot(eco, aes(x=hr, y=log(nunat))) +
 geom_point()+
 geom_smooth(method = "loess", size = 1.5)+
 xlab("Humedad relativa") +
 ylab("Log número muertes causas naturales")
```

```
ggplot(eco, aes(x=Lag(pm10,1), y=log(nunat))) +
 geom_point()+
 geom_smooth(method = "loess", size = 1.5)+
 xlab("PM10 (lag 1)") +
 ylab("Log número muertes causas naturales")
```

```
ggplot(eco, aes(x=runMean(pm10,0:1), y=log(nunat))) +
 geom_point()+
 geom_smooth(method = "loess", size = 1.5)+
 xlab("PM10 (lag 0-1)") +
 ylab("Log número muertes causas naturales")

ggplot(eco, aes(x=runMean(pm10,1:2), y=log(nunat))) +
 geom_point()+
 geom_smooth(method = "loess", size = 1.5)+
 xlab("PM10 (lag 1-2)") +
 ylab("Log número muertes causas naturales")

ecos <- eco
write.csv2(ecos, file = "ecos.csv", fileEncoding = "UTF-8")
rm(modelo.OT, modelo.TP, modelo0, modelo1)
```

### Anexo 11. Análisis en profundidad (3): Control de estacionalidad y tendencias

```
ecos$time <- seq(nrow(ecos))
spl <- bs(ecos$time,degree=3,df=21)
modelo0 <- glm(nunat ~ spl,ecos,family=quasipoisson)
summary(modelo0)
```

(Dispersion parameter for quasipoisson family taken to be 1.002633)

Null deviance: 3899.0 on 3286 degrees of freedom

```
número de muertes predichas por el modelo
pred1 <- predict(modelo0,type="response")

plot(ecos$fecha,ecos$nunat,ylim=c(0,20),pch=19,
 cex=0.2,col=grey(0.6),
 main="Modelo spline flexible cúbico",
 ylab="muertes diarias",
 xlab="fecha")
lines(ecos$fecha,pred1,lwd=2, col="red")
```

```
res0 <- residuals(modelo0,type="response")

plot(ecos$fecha,res0,ylim=c(-20,20),pch=19,
 cex=0.4,col=grey(0.6),main="Residuales a lo largo del tiempo",
 ylab="residuales (observados vs modelizados)", xlab="fecha")
abline(h=0,lty=2,lwd=2)
```

```
qqnorm(res0)
qqline(res0)
```

## Anexo 12. Análisis en profundidad (3): Modelos de asociación

### 1-. Estimación de la asociación PM10-mortalidad diaria

#### 1.1-. Asociación sin retardos

##### *Modelo básico ajustado por tendencias temporales a largo plazo*

```
modelo1a <- glm(nunat ~ pm10 + spl + dow, ecos, family=quasipoisson)

eff1 <- ci.lin(modelo1a,subset="pm10",Exp=T)
eff1 <- matrix(eff1, nrow = 1, ncol = 7)
dimnames(eff1) <- list(c("pm10"), c("Est","ES", "Z", "Valor P", "RR", "IC (inf)","IC (sup)"))
eff1
```

##### *Modelo ajustado por tendencias temporales a largo plazo y temperaturas*

```
modelo1b <- update(modelo1a, .~.+
 ns (tmed, df=6, intercept = TRUE))
eff1b <- ci.lin(modelo1b,subset="pm10",Exp=T)
eff1b <- matrix(eff1b, nrow = 1, ncol = 7)
dimnames(eff1b) <- list(c("PM10"), c("Est","ES", "Z", "Valor P", "RR", "IC (inf)","IC (sup)"))
eff1b
```

##### *Modelo ajustado por tendencias temporales, temperatura y ozono.*

```
modelo1c <- update(modelo1b, .~.+ somo)

eff1c <- ci.lin(modelo1c,subset=c("pm10", "somo"),Exp=T)
eff1c <- matrix(eff1c, nrow = 2, ncol = 7)
dimnames(eff1c) <- list(c("PM10", "Ozono"), c("Est","ES", "Z", "Valor P", "RR", "IC (inf)","IC (sup)"))
eff1c
```

### ***Modelo ajustado por tendencias temporales, temperatura, ozono y humedad.***

Vamos a introducir ahora otra variable, la humedad, mediante la utilización de un spline con tres grados de libertad.

```
modelo1d <- update(modelo1c, .~.+ ns(hr, df=3, intercept = TRUE)
)
eff1d <- ci.lin(modelo1d, subset=c("pm10", "somo"), Exp=T)
eff1d <- matrix(eff1d, nrow = 2, ncol = 7)
dimnames(eff1d) <- list(c("PM10", "Ozono"), c("Est", "ES", "Z",
"Valor P", "RR", "IC (inf)", "IC (sup)"))
eff1d
```

#### **1.2-. Asociaciones retardadas (I): Modelo con retardos únicos**

```
tablag.pm10 <- matrix(NA, 7+1, 3, dimnames=list(
 paste("Lag", 0:7),
 c("RR", "CI low", "CI high")))
tablag.somo <- matrix(NA, 7+1, 3, dimnames=list(
 paste("Lag", 0:7),
 c("RR", "IC inf", "IC sup")))
```

```
for(i in 0:7) {
 # retardos
 pm10lag <- Lag(ecos$pm10, i)
 somolag <- Lag(ecos$somo, i)
 tmedlag <- Lag(ecos$tmed, i)
 hrlag <- Lag(ecos$hr, i)

 # modelo con todos los lags
 modelag <- glm(nunat ~ pm10lag + somolag + ns(tmedlag, df=6)
+ ns(hrlag, df=3) + spl + dow,
 ecos, family=quasipoisson)

 # tablas
```

```

 tablag.pm10[i+1,] <- ci.lin(modelag,subset="pm10",Exp=T)[5
:7]
 tablag.somo[i+1,] <- ci.lin(
 modelag,subset="somolag",Exp=T)[5:7]
 }
tablag.pm10
tablag.somo

```

```

pm10
plot(0:7,0:7,type="n",ylim=c(0.92,1.08), cex.lab=0.66,
 cex.main=0.8,
 main="Términos lag modelizados a la vez: PM10",
 xlab="Lag (días)",
 ylab="RR e IC 95% por aumento de 10 ug/m3")
abline(h=1, col="red")
arrows(0:7,tablag.pm10[,2],0:7,tablag.pm10[,3],
 length=0.05,angle=90,code=3, col = "blue")
points(0:7,tablag.pm10[,1],pch=19, col="blue")

```

```

ozono
plot(0:7,0:7,type="n",ylim=c(0.99,1.01),cex.lab=0.66,
 cex.main=0.8,
 main="Términos lag modelizados a la vez: Ozono",
 xlab="Lag (days)",
 ylab="RR e IC 95% por aumento de 10 ug/m3")
abline(h=1, col="red")
arrows(0:7,tablag.somo[,2],0:7,tablag.somo[,3],
 length=0.05,angle=90,code=3, col = "blue")
points(0:7,tablag.somo[,1],pch=19, col = "blue")

```

### 1.3-. Asociaciones retardadas (II): Modelos con retardos distribuidos y sin restricciones

```

pmcbunc <- crossbasis(ecos$pm10,lag=c(0,7), argvar=list(fun="lin",cen=FALSE),
 arglag=list(fun="integer"))

o3cbunc <- crossbasis(ecos$ozono,lag=c(0,7), argvar=list(fun="thr",thr=70),
 arglag=list(fun="integer"))

tmcbunc <- crossbasis(ecos$tmed,lag=c(0,7), argvar=list(fun="ns",df=6),
 arglag=list(fun="integer"))

hrcbunc <- crossbasis(ecos$hr,lag=c(0,7), argvar=list(fun="ns",df=3),
 arglag=list(fun="integer"))

```

```

modelo2 <- gam(nunat ~ pmcbunc + o3cbunc + tmcbunc + hrcbunc + spl + dow + gripe + fst, ecos, family=quasipoisson)

```

Veamos los valores de riesgo relativo para las PM10.

```

pred.pmm2 <- crosspred(pmcbunc,modelo2, at=1, cumul = T)

```

```

plot(pred.pmm2, var=1, type="p", ci="bars",cex.lab=0.22,
 cex.main=0.8, col="blue",pch=19,ylim=c(0.90,1.10),
 main="All lag terms modelled together (unconstrained)",xlab="Lag (days)",
 ylab="RR and 95%CI per 10-unit increase in PM10")
abline(h=1, col="red")

```

```

plot(pred.pmm2, "slices", var=1, col=2, cex.lab=0.8,
 cex.main=0.8, cumul=TRUE, ylab="Cumulative RR", main="Efecto acumulado (por aumento en 10 unidades de PM10)")

```

```

tablag2.pm10 <- with(pred.pmm2,
 t(rbind(matRRfit,matRRlow,matRRhigh)))
tablag2.pm10 <- matrix(tablag2.pm10, nrow = 8, ncol = 3)
dimnames(tablag2.pm10) <- list(c("Lag 0", "Lag 1", "Lag 2", "Lag 3", "Lag 4", "Lag 5", "Lag 6", "Lag 7"), c("RR", "IC inf",

```

```
"IC sup"))
tablag2.pm10
```

```
efecto acumulado
```

```
cumulative2 <- rbind("RR" = pred.pmm2$allRRfit, "CI low" = pred.pmm2$allRRlow, "CI high" = pred.pmm2$allRRhigh)
colnames(cumulative2) <- "Efecto acumulado (por aumento en 10 unidades de PM10)"
cumulative2
```

```
pred.o3m2 <- crosspred(o3cbunc,modelo2, at=80, cumul = T)
```

```
plot(pred.o3m2,var=80, type="p", ci="bars",cex.lab=0.22, cex.main=0.8, col="blue",pch=19,ylim=c(0.90,1.10), main="Todos los términos lag modelizados juntos (sin restricciones)",xlab="Lag (días)", ylab="RR and IC95% por aumento de 10 unidades")
abline(h=1, col="red")
```

```
plot(pred.o3m2, "slices", var=80, col=2, cex.lab=0.8, cex.main=0.8, cumul=TRUE, ylab="RR acumulado", main="Asociación acumulada")
```

```
tablag2.o3 <- with(pred.o3m2,
 t(rbind(matRRfit,matRRlow,matRRhigh)))
tablag2.o3 <- matrix(tablag2.o3, nrow = 8, ncol = 3)
dimnames(tablag2.o3) <- list(c("Lag 0", "Lag 1", "Lag 2", "Lag 3", "Lag 4", "Lag 5", "Lag 6", "Lag 7"), c("RR", "IC inf", "IC sup"))
tablag2.o3
```

```
cumulative2.o3 <- rbind("RR" = pred.o3m2$allRRfit, "IC inferior
```

```
r" = pred.o3m2$allRRlow, "IC superior" = pred.o3m2$allRRhigh)
colnames(cumulative2.o3) <- "Efecto acumulado"
```

```
tmcbunc21 <- crossbasis(ecos$tmed, lag=c(0,28),
 argvar=list(fun="ns", df=6),
 arglag=list(fun="integer"))

modelo2t <- gam(nunat ~ pmcbunc + o3cbunc + tmcbunc21 + hrcbunc
 + spl + dow,
 ecos, family=quasipoisson)

pred.tm2 <- crosspred(tmcbunc21, modelo2t, at=21, cumul = T)

plot(pred.tm2, var=21, type="p", ci="bars", cex.lab=0.66,
 cex.main=0.9, col="blue", pch=20, ylim=c(0.75, 1.25), main="T
odos los términos lag modelizados juntos (sin restricciones)",
 xlab="Lag (días)", ylab="RR and IC95% por aumento de 1°C")
abline(h=1, col="red")
```

```
plot(pred.tm2, var=21, col=2, cex.lab=0.5,
 cex.main=0.8, cumul=TRUE, ylab="RR acumulado", main="Asoc
iación acumulada")
```

#### 1.4-. Asociaciones retardadas (III): Modelos con retardos distribuidos y con restricciones

```
Lags = 0:1 y 2:5
pmconstr1 <- crossbasis(ecos$pm10, lag=c(0,7),
 argvar=list(type="lin", cen=FALSE),
 arglag=list(type="strata", breaks=c(2,6)))

model.pmC1 <- gam(nunat ~ pmconstr1 +
 o3cbunc + tmcbunc + hrcbunc +
 + gripe + dow + fst + spl,
 ecos, family=quasipoisson)
```

```

pred.pmC1 <- crosspred(pmconstr1,model.pmC1,at=1)

Efectos estimados a cada lag

plot(pred.pmC1,var=1,type="p",ci="bars", cex.lab=0.66, cex.mai
n=0.9,col="blue",pch=19, ylim=c(0.95,1.05),
 main=" Todos los términos modelados conjuntamente (con re
stricciones)",
 xlab="Lag (días)",
 ylab="RR e IC 95%")
abline(h=1, col="red")

```

```

Lags = 0:2

pmconstr2 <- crossbasis(ecos$pm10,lag=c(0,7),
 argvar=list(type="lin",cen=FALSE),
 arglag=list(type="strata",breaks=c(3,5)))

model.pmC2 <- gam(nunat ~ pmconstr2 +
 o3cbunc + tmcubunc + hrcubunc +
 gripe + dow + fst + spl,
 ecos, family=quasipoisson)

pred.pmC2 <- crosspred(pmconstr2,model.pmC2, at=1)

Efectos estimados a cada lag
plot(pred.pmC2,var=1, type="p",ci="bars",cex.lab=0.66, cex.mai
n=0.9,col="blue",pch=19, ylim=c(0.95,1.05),
 main="Todos los términos modelados conjuntamente (con res
tricciones)",
 xlab="Lag (días)",
 ylab="RR e IC 95%")
abline(h=1, col="red")

```

### 1.5-. Elección de los retardos a incluir en el modelo

#### *Partículas*

```
pm0
```

```

modelo.pm0 <- gam(nunat ~ pm10 + o3cbunc + tmcunc + hrcbunc +
gripe +
 fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson
)

tab.pm0 <- c(ci.lin (modelo.pm0,subset="pm10",Exp=T)[5:7], mod
elo.pm0$gcv.ubre)

pm1

modelo.pm1 <- gam(nunat ~ Lag(pm10,1) + o3cbunc + tmcunc + hr
cbunc +
 gripe +fst + dow + spl, ecos, family=quasi
poisson)

tab.pm1 <- c(ci.lin (modelo.pm1,subset="pm10",Exp=T)[5:7], mod
elo.pm1$gcv.ubre)

pm2

modelo.pm2 <- gam(nunat ~ Lag(pm10,2) + o3cbunc + tmcunc + hr
cbunc + gripe +
 fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson
)

tab.pm2 <- c(ci.lin (modelo.pm2,subset="pm10",Exp=T)[5:7], mod
elo.pm2$gcv.ubre)

pm3

modelo.pm3 <- gam(nunat ~ runMean(pm10,0:1) + o3cbunc + tmcunc
c + hrcbunc + gripe +
 fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson
)

tab.pm3 <- c(ci.lin (modelo.pm3,subset="pm10",Exp=T)[5:7], mod
elo.pm3$gcv.ubre)

pm4

modelo.pm4 <- gam(nunat ~ runMean(pm10, 0:2) + o3cbunc + tmcunc
+ hrcbunc + gripe +
 fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson
)

tab.pm4 <- c(ci.lin (modelo.pm4,subset="pm10",Exp=T)[5:7], mod

```

```

elo.pm4$gcv.ubre)

pm5

modelo.pm5 <- gam(nunat ~ runMean(pm10,0:5) + o3cbunc + tmcunc
c + hrcbunc + gripe +
 fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson
)

tab.pm5 <- c(ci.lin (modelo.pm5,subset="pm10",Exp=T)[5:7], mod
elo.pm5$gcv.ubre)

pm6

modelo.pm6 <- gam(nunat ~ runMean(pm10,2:5) + o3cbunc + tmcunc
c + hrcbunc + gripe +
 fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson
)

tab.pm6 <- c(ci.lin (modelo.pm6,subset="pm10",Exp=T)[5:7], mod
elo.pm6$gcv.ubre)

Efectos estimados y GCV a cada lag

tab.pm10 <- rbind.data.frame(tab.pm0, tab.pm1, tab.pm2, tab.pm
3, tab.pm4, tab.pm5, tab.pm6)
rownames(tab.pm10) <- c("Lag 0", "Lag 1", "Lag 2", "Lag 0-1", "L
ag 0-2", "Lag 0-5", "Lag 2-5")
colnames(tab.pm10) <- c("RR", "CI low", "CI high", "GCV")
tab.pm10

```

### **Ozono**

```

oz0

modelo.oz0 <- gam(nunat ~ some + pmcbunc + tmcunc + hrcbunc +
gripe +
 fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson)

tab.oz0 <- c(ci.lin (modelo.oz0,subset="some",Exp=T)[5:7], mod
elo.oz0$gcv.ubre)

```

```

oz1
modelo.oz1 <- gam(nunat ~ Lag(somo,1) + pmcbunc + tmcbunc + hrcbunc + gripe +
 fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson)

tab.oz1 <- c(ci.lin (modelo.oz1,subset="somo",Exp=T)[5:7], modelo.oz1$gcv.ubre)

oz2

modelo.oz2 <- gam(nunat ~ Lag(somo,2) + pmcbunc + tmcbunc + hrcbunc + gripe +
 fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson)

tab.oz2 <- c(ci.lin (modelo.oz2,subset="somo",Exp=T)[5:7], modelo.oz2$gcv.ubre)

oz3

modelo.oz3 <- gam(nunat ~ runMean(somo,0:1) + pmcbunc + tmcbunc + hrcbunc + gripe +
 fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson)

tab.oz3 <- c(ci.lin (modelo.oz3,subset="somo",Exp=T)[5:7], modelo.oz3$gcv.ubre)

oz4

modelo.oz4 <- gam(nunat ~ runMean(somo, 0:2) + pmcbunc + tmcbunc + hrcbunc + gripe +
 fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson)

tab.oz4 <- c(ci.lin (modelo.oz4,subset="somo",Exp=T)[5:7], modelo.oz4$gcv.ubre)

oz5

modelo.oz5 <- gam(nunat ~ runMean(somo,0:5) + pmcbunc + tmcbunc + hrcbunc + gripe +
 fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson)

tab.oz5 <- c(ci.lin (modelo.oz5,subset="somo",Exp=T)[5:7], modelo.oz5$gcv.ubre)

```

```

elo.oz5$gcv.ubre)

oz6

modelo.oz6 <- gam(nunat ~ runMean(somo,2:5) + pmcbunc + tmcbun
c + hrcbunc + gripe +
 fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson
)

tab.oz6 <- c(ci.lin (modelo.oz6,subset="somo",Exp=T)[5:7], mod
elo.oz6$gcv.ubre)

Efectos estimados y GCV a cada lag

tab.somo <- rbind.data.frame(tab.oz0, tab.oz1, tab.oz2, tab.oz
3, tab.oz4, tab.oz5, tab.oz6)
rownames(tab.somo) <- c("Lag 0", "Lag 1", "Lag 2", "Lag 0-1", "L
ag 0-2", "Lag 0-5", "Lag 2-5")
colnames(tab.somo) <- c("RR", "CI low", "CI high", "GCV")
tab.somo

```

### **Temperatura**

```

Parámetros

cen <- 21
perc <- quantile(ecos$tmed,c(0.01,0.99), na.rm = T)

Predicciones por acumulación total (valor de referencia = 21
°C)

cp1cold <- crosspred(tmcbunc21,modelo2t,
 at=seq(min(ecos$tmed,na.rm=T),
 cen,length=20),cen=cen)
cp1hot <- crosspred(tmcbunc21,modelo2t,at=seq(cen,max(ecos$tme
d,na.rm=T), length=20),cen=cen)

Gráficos

plot(cp1cold,"overall",col=4,ylab="RR",xlab="temperatura media
",xlim=c(5,32),
 ylim=c(0,3),axes=F,lwd=1.5, cex.lab = 0.8, cex.axis=0.6)

```

```

lines(cp1hot,"overall",ci="area",col=2,lwd=1.5)
axis(1,at=-1:7*5)
axis(2,at=c(1:7*0.5))
title("Asociación acumulada total y distribución de temperaturas", cex.main=0.7)
par(new=T)
hist(ecos$tmed,xlim=c(5,35),ylim=c(0,250),axes=F,ann=F,col=grey(0.95),breaks=30)
abline(v=quantile(ecos$tmed,c(0.01,0.99), na.rm=T),lty=2)
abline(v=cen,lty=3)
axis(4,at=0:4*50, cex=0.5)
mtext("frecuencia",4,line=2.5,at=200,cex=0.8)

t0
modelo.t0 <- gam(nunat ~ ns(tmed, df=6) + pmcbunc + o3cbunc +
 hrcbunc + gripe +
 fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson)

tab.t0 <- modelo.t0$gcv.ubre

t1
modelo.t1 <- gam(nunat ~ ns(runMean(tmed,0:1), df=6) + pmcbunc
 + o3cbunc + hrcbunc + gripe +
 fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson)

tab.t1 <- modelo.t1$gcv.ubre

t2
modelo.t2 <- gam(nunat ~ ns(runMean(tmed,0:3), df=6) + pmcbunc
 + o3cbunc + hrcbunc + gripe +
 fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson
)

tab.t2 <- modelo.t2$gcv.ubre

t3
modelo.t3 <- gam(nunat ~ ns(runMean(tmed,1:3), df=6) + pmcbunc
 + o3cbunc + hrcbunc + gripe +
 fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson
)

tab.t3 <- modelo.t3$gcv.ubre

t4
modelo.t4 <- gam(nunat ~ ns(runMean(tmed, 0:7) , df=6) + pmcbunc
 + o3cbunc + hrcbunc + gripe +
 fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson
)

```

```

)

tab.t4 <- modelo.t4$gcv.ubre

t5
modelo.t5 <- gam(nunat ~ ns(runMean(tmed,0:14), df=6) + pmcbun
c + o3cbunc + hrcbunc + gripe +
 fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson
)

tab.t5 <- modelo.t5$gcv.ubre

t6
modelo.t6 <- gam(nunat ~ ns(runMean(tmed,0:21), df=6) + pmcbu
nc + o3cbunc + hrcbunc + gripe +
 fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson
)

tab.t6 <- modelo.t6$gcv.ubre

Efectos estimados y GCV a cada lag

tab.tmed <- rbind.data.frame(tab.t0, tab.t1, tab.t2, tab.t3, t
ab.t4, tab.t5, tab.t6)
rownames(tab.tmed) <- c("Lag 0", "Lag 0-1", "Lag 0-3", "Lag 1-3"
, "Lag 0-7", "Lag 0-14", "Lag 0-21")
colnames(tab.tmed) <- c("GCV")
tab.tmed

```

### ***Humedad***

```

h0
modelo.h0 <- gam(nunat ~ ns(hr, df=3) + pmcbunc + tmcbunc + o3
cbunc + gripe + fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson)

tab.h0 <- modelo.h0$gcv.ubre

h1
modelo.h1 <- gam(nunat ~ ns(Lag(hr,1), df=3) + pmcbunc + tmcbu
nc + o3cbunc + gripe + fst + dow + spl, ecos, family=quasipois
son)

tab.h1 <- modelo.h1$gcv.ubre

```

```

h2
modelo.h2 <- gam(nunat ~ ns(Lag(hr,2), df=3) + pmcbunc + tmcunc +
o3cbunc + gripe + fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson)

tab.h2 <- modelo.h2$gcv.ubre

h3

modelo.h3 <- gam(nunat ~ ns(runMean(hr,0:1), df=3) + pmcbunc +
tmcunc + o3cbunc + gripe + fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson)

tab.h3 <- modelo.h3$gcv.ubre

h4

modelo.h4 <- gam(nunat ~ ns(runMean(hr, 0:2), df=3)
+ pmcbunc + tmcunc + o3cbunc + gripe +
 fst + dow + spl,
 ecos, family=quasipoisson)

tab.h4 <- modelo.h4$gcv.ubre

h5

modelo.h5 <- gam(nunat ~ ns(runMean(hr,0:5),df=3) + pmcbunc +
tmcunc + o3cbunc + gripe +
 fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson
)

tab.h5 <- modelo.h5$gcv.ubre

h6

modelo.h6 <- gam(nunat ~ ns(runMean(hr,2:5), df=3) + pmcbunc +
tmcunc + o3cbunc + gripe +
 fst + dow + spl, ecos, family=quasipoisson
)

tab.h6 <- modelo.h6$gcv.ubre

Efectos estimados y GCV a cada lag

```

```

tab.hr <- rbind.data.frame(tab.h0, tab.h1, tab.h2, tab.h3, tab
.h4, tab.h5, tab.h6)
rownames(tab.hr) <- c("Lag 0", "Lag 1", "Lag 2", "Lag 0-1", "Lag
0-2", "Lag 0-5", "Lag 2-5")
colnames(tab.hr) <- c("GCV")
tab.hr

```

## 2-. Modelo de efectos de la exposición a PM10

```

Mp8 <- gam(nunat ~
 Lag(pm10,2) + Lag(naf,2) +
 runMean(somo,2:5) +
 ns(runMean(tmed, 0:1), df=6, intercept = T) +
 ns(runMean(hr,2:5),df=3) +
 gripe + fst + dow + spl,
 ecos, family=quasipoisson)

coef_Mp8 <- rbind.data.frame(
 ci.lin(Mp8, subset="pm10", Exp=T)[c(1,2,4,5:7)], ci.lin(Mp8, s
subset="naf", Exp=T)[c(1,2,4,5:7)], ci.lin(Mp8, subset="somo",
Exp=T)[c(1,2,4,5:7)], ci.lin(Mp8, subset="gripe", Exp=T)[c(1,2
,4,5:7)], ci.lin(Mp8, subset="fst", Exp=T)[c(1,2,4,5:7)])
colnames(coef_Mp8) <- c("Est", "Error std", "Valor p", "RR", "
IC (inf)", "IC (sup)")
rownames(coef_Mp8) <- c("PM10", "NAF", "ozono", "gripe", "fest
ivos")
coef_Mp8

```

```

Mp7_o3 <- gam(nunat ~ Lag(pm10,2) + Lag(naf,2) +
 ns(runMean(tmed, 0:1), df=6, intercept = T) +
 ns(runMean(hr,2:5),df=3) +
 gripe + fst + dow + spl,
 ecos, family=quasipoisson)

```

```

Mp7_tm <- gam(nunat ~ Lag(pm10,2) + Lag(naf,2) +
 runMean(somo,2:5) +
 ns(runMean(hr,2:5),df=3) +
 gripe + fst + dow + spl,
 ecos, family=quasipoisson)

```

```

Mp7_hr <- gam(nunat ~ Lag(pm10,2) + Lag(naf,2) +
 runMean(somo,2:5) +

```

```

 ns(runMean(tmed, 0:1), df=6, intercept = T) +
 gripe + fst + dow + spl,
 ecos, family=quasipoisson)

Mp7_gri <- gam(nunat ~ Lag(pm10,2) + Lag(naf,2) +
 runMean(somo,2:5) +
 ns(runMean(tmed, 0:1), df=6, intercept = T) +
 ns(runMean(hr,2:5),df=3) +
 fst + dow + spl,
 ecos, family=quasipoisson)

Mp7_fst <- gam(nunat ~ Lag(pm10,2) + Lag(naf,2) +
 runMean(somo,2:5) +
 ns(runMean(tmed, 0:1), df=6, intercept = T) +
 ns(runMean(hr,2:5),df=3) +
 gripe + dow + spl,
 ecos, family=quasipoisson)

Criterio GCV
GCV_p7 <- rbind.data.frame (
 Mp7_o3$gcv.ubre, Mp7_tm$gcv.ubre, Mp7_hr$gcv.ubre, Mp7_gri$g
cv.ubre, Mp7_fst$gcv.ubre)
colnames(GCV_p7) <- "GCV"
rownames(GCV_p7)<- c("Sin variable ozono", "Sin variable tm",
"Sin variable hr", "Sin variable gripe", "Sin variable festivo
s")
GCV_p7

```

```

Modelo de siete variables: Mp7_hr
coef_Mp7 <- rbind.data.frame(
 ci.lin(Mp7_hr, subset="pm10", Exp=T)[c(1,2,4,5:7)], ci.lin(Mp7
_hr, subset="naf", Exp=T)[c(1,2,4,5:7)], ci.lin(Mp7_hr, subset
="somo", Exp=T)[c(1,2,4,5:7)], ci.lin(Mp7_hr, subset="gripe",
Exp=T)[c(1,2,4,5:7)],
 ci.lin(Mp7_hr, subset="fst", Exp=T)[c(1,2,4,5:7)])
colnames(coef_Mp7) <- c("Est", "Error std", "Valor p", "RR", "
IC (inf)","IC (sup)")
rownames(coef_Mp7) <- c("PM10", "NAF", "ozono", "gripe", "fest
ivos")
coef_Mp7

```

```

Mp6_o3 <- gam(nunat ~ Lag(pm10,2) + Lag(naf,2) +
 ns(runMean(tmed, 0:1), df=6, intercept = T) +
 gripe + fst + dow + spl,
 ecos, family=quasipoisson)

Mp6_tm <- gam(nunat ~ Lag(pm10,2) + Lag(naf,2) +
 runMean(somo,2:5) +
 gripe + fst + dow + spl,
 ecos, family=quasipoisson)
Mp6_gri <- gam(nunat ~ Lag(pm10,2) + Lag(naf,2) +
 runMean(somo,2:5) +
 ns(runMean(tmed, 0:1), df=6, intercept = T) +
 fst + dow + spl,
 ecos, family=quasipoisson)
Mp6_fst <- gam(nunat ~ Lag(pm10,2) +Lag(naf,2) +
 runMean(somo,2:5) +
 ns(runMean(tmed, 0:1), df=6, intercept = T) +
 gripe + dow + spl,
 ecos, family=quasipoisson)

Resultados
GCV_p6 <- rbind.data.frame (Mp6_o3$gcv.ubre, Mp6_tm$gcv.ubre,
Mp6_gri$gcv.ubre, Mp6_fst$gcv.ubre)
colnames(GCV_p6) <- "GCV"
rownames(GCV_p6)<- c("Sin variable ozono", "Sin variable tm",
"Sin variable gripe", "Sin variable festivos")
GCV_p6

Resultados Mp6_fst

coef_Mp6 <- rbind.data.frame(
ci.lin(Mp6_fst, subset="pm10", Exp=T)[c(1,2,4,5:7)], ci.lin(Mp
6_fst, subset="naf", Exp=T)[c(1,2,4,5:7)], ci.lin(Mp6_fst, sub
set="somo", Exp=T)[c(1,2,4,5:7)], ci.lin(Mp6_fst, subset="grip
e", Exp=T)[c(1,2,4,5:7)])
colnames(coef_Mp6) <- c("Est", "Error std", "Valor p", "RR", "
IC (inf)", "IC (sup)")
rownames(coef_Mp6) <- c("PM10", "NAF", "ozono", "gripe")
coef_Mp6

Mp5_o3 <- gam(nunat ~ Lag(pm10,2) +Lag(naf,2) +
 ns(runMean(tmed, 0:1), df=6, intercept = T) +

```

```

 gripe + dow + spl,
 ecos, family=quasipoisson)
Mp5_tm <- gam(nunat ~ Lag(pm10,2) +Lag(naf,2) +
 runMean(somo,2:5) +
 gripe + dow + spl,
 ecos, family=quasipoisson)
Mp5_gri <- gam(nunat ~ Lag(pm10,2) +Lag(naf,2) +
 runMean(somo,2:5) +
 ns(runMean(tmed, 0:1), df=6, intercept = T) +
 dow + spl,
 ecos, family=quasipoisson)

Criterio GCV
GCV_p5 <- rbind.data.frame (
 Mp5_o3$gcv.ubre, Mp5_tm$gcv.ubre, Mp5_gri$gcv.ubre)
colnames(GCV_p5) <- "GCV"
rownames(GCV_p5)<- c("Sin variable ozono", "Sin variable tm",
"Sin variable gripe")
GCV_p5

```

```

Resultados Mp5_o3
coef_Mp5 <- rbind.data.frame(
 ci.lin(Mp5_o3, subset="pm10", Exp=T)[c(1,2,4,5:7)], ci.lin(Mp5
_o3, subset="naf", Exp=T)[c(1,2,4,5:7)],
 ci.lin(Mp5_o3, subset="gripe", Exp=T)[c(1,2,4,5:7)])
colnames(coef_Mp5) <- c("Coef", "Error std", "Valor p", "RR",
"IC (inf)","IC (sup)")
rownames(coef_Mp5) <- c("PM10", "NAF", "gripe")
coef_Mp5

```

```

Mp4_tm <- gam(nunat ~ Lag(pm10,2) + Lag(naf,2) +
 gripe + dow + spl,
 ecos, family=quasipoisson)

Mp4_gri <- gam(nunat ~ Lag(pm10,2) + Lag(naf,2) +
 ns(runMean(tmed, 0:1), df=6, intercept = T) +
 dow + spl, ecos, family=quasipoisson)

Criterio GCV
GCV_p4 <- rbind.data.frame (
 Mp4_tm$gcv.ubre, Mp4_gri$gcv.ubre)
colnames(GCV_p4) <- "GCV"

```

```
rownames(GCV_p4) <- c("Sin variable tm", "Sin variable gripe")
GCV_p4
```

### 3-. Modelo de interacción entre PM10 y los días con intrusión sahariana

```
Mp5int <- gam(nunat ~ Lag(pm10,2) + Lag(naf,2) +
 Lag(pm10,2):Lag(naf,2) +
 ns(runMean(tmed, 0:1), df=6, intercept = T) +
 gripe + dow + spl,
 ecos, family=quasipoisson)

GCV_int <- Mp5int$gcv.ubre

coef_Mp5int <- rbind.data.frame (
 ci.lin(Mp5int, subset = "Intercept", Exp = T),
 ci.lin(Mp5int, subset = "pm10", Exp = T),
 ci.lin(Mp5int, subset = "naf", Exp = T),
 ci.lin(Mp5int, subset = "gripe", Exp = T))

colnames(coef_Mp5int) <- c("Coef", "Error std", "Z", "Valor p"
, "RR", "IC (inf)", "IC (sup)")
coef_Mp5int <- coef_Mp5int[-5,]

GCV_int

GCV.Cp 1.142542

coef_Mp5int

anova(Mp5_o3, Mp5int, test = "Chisq")

Mp5_o3$deviance

[1] 3207.706

Mp5int$deviance

[1] 3207.657

Mp5_o3$deviance - Mp5int$deviance

[1] 0.04861201
```

### Anexo 13. Análisis en profundidad (3): Validación del modelo

```
Mp5 <- gam(nunat ~ Lag(pm10,2) + Lag(naf,2) +
 ns(runMean(tmed, 0:1), df=6, intercept = T) +
 gripe + dow + spl,
 ecos, family=quasipoisson)

res.Mp5 <- residuals.gam (Mp5,type="deviance")

plot(ecos$fecha, res.Mp5,
 ylim=c(-5,5), pch=16, cex=0.7, col="grey",
 main="Residuales",
 ylab="Residuales de la deviance",xlab="Fecha")
abline(h=0,lty=2,lwd=2, col="blue")
abline(h=1.96,lty=2,lwd=2, col="blue")
abline(h=-1.96,lty=2,lwd=2, col="blue")

pacf(res.Mp5, na.action = na.pass, lag.max = 21,
 ci = 0.95, xlab = "Lag (días)", pch=19, col=grey(0.5), ci.c
ol = "blue", type="o", ylim=range(-0.08,0.08), ylab = "Autocor
relación parcial")
```

