



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial

Logística Sostenible: Estudio de la Calidad del Aire e interacción sobre la Movilidad Urbana

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Autor: José Manuel Buendía Martínez
Director: Lorenzo Brian Ros McDonell
Codirector: María Victoria de la Fuente
Aragón

Me gustaría expresar mi gratitud a la empresa Biosafe por su generosidad, ya que sin su apoyo técnico este proyecto no hubiera sido posible, en especial a Javier por su fuerza y entereza en todos los momentos y trasladarme el saber y la experiencia.

También quiero agradecer a Mariví y Lorenzo, por su experiencia y sus consejos, que traspasan todas las fronteras de este proyecto.

Al Ayuntamiento de Cartagena y a la Cátedra de Movilidad Sostenible de la UPCT, ya que me han brindado una oportunidad inmejorable para fotografiar la Calidad del Aire en mi querida ciudad.

En especial a Ella, por ser el motor de este largo camino, construyendo un remanso de paz y sobriedad en los momentos críticos, animando y celebrando en los momentos de euforia, por su ayuda a lo largo de este ciclo que se cierra. Sin duda es la gran promotora de lo que he conseguido hasta ahora.

ÍNDICE

0. Objetivos del proyecto	7
1. Introducción.....	10
1.1. Marco normativo de referencia.....	11
1.2. Plan mejora Calidad del Aire.....	15
1.3. El tráfico como contaminante del aire	16
2. La calidad del aire en ciudades de España	21
2.1. Estudios efectuados hasta el momento	23
2.2. Conceptos de ODA e IDA	27
3. Movilidad urbana	31
3.1. Índice de movilidad	31
3.2. Planes de movilidad urbana.....	33
3.3. Otras actuaciones en movilidad urbana	35
4. Calidad del aire e interacción sobre la movilidad urbana. Aplicación a Cartagena.....	36
4.1. Análisis variables calidad del aire	36
4.2. Actuaciones institucionales	39
4.3. Aplicación a Cartagena	40
4.4. Proyección Geo Espacial y obtención de curvas de calidad	69
5. Conclusiones y recomendaciones	83
6. Bibliografía	86
Anexo I	92

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Categoría ODAS.....	28
Tabla 2. Categoría IDAS.....	28
Tabla 3. Exigencias IDA según las instalaciones.....	29
Tabla 4. Niveles de filtración y tipo de filtros.....	29
Tabla 5. Valores guía para contaminación exterior.....	30
Tabla 6. Rangos niveles contaminación.....	69

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Concentración media anual de NO ₂ en estaciones de tráfico en Europa.....	17
Figura 2. Concentración media anual de NO ₂ en estaciones de fondo.....	18
Figura 3. Concentración media anual de PM ₁₀ en estaciones de tráfico en Europa.....	19
Figura 4. Concentración media anual de PM _{2,5} en estaciones de tráfico en Europa.....	19
Figura 5. Ubicación de las mediciones.....	41
Figura 6. Punto 1 anillo interior: Calle del Carmen.....	42
Figura 7. Punto 2 anillo interior: Calle Santa Florentina.....	42
Figura 8. Punto 3 anillo interior: Calle Serreta con Duque.....	43
Figura 9. Punto 4 anillo interior: Calle General Ordóñez.....	43
Figura 10. Punto 5 anillo interior: Plaza del Rey.....	44
Figura 11. Punto 6 anillo interior: Plaza Castellini.....	44
Figura 12. Punto 7 anillo interior: Calle Jabonerías.....	45
Figura 13. Punto 8 anillo interior: Plaza San Sebastián.....	45
Figura 14. Punto 9 anillo interior: Calle Balcones azules.....	46
Figura 15. Punto 10 anillo interior: Plaza San Francisco–Esquina Correos..	46
Figura 16. Punto 11 anillo interior: Calle Conducto-Puertas de Murcia.....	47
Figura 17. Punto 1 anillo exterior: Calle Carlos III-García Lorca.....	47
Figura 18. Punto 2 anillo exterior: Calle Ronda-Juan Fernández.....	48
Figura 19. Punto 3 anillo exterior: Calle Carlos III-Calle Ángel Bruna.....	48
Figura 20. Punto 4 anillo exterior: Calle San Diego-Jaime Bosch.....	49

Figura 21. Punto 5 anillo exterior: Calle Pez-Gisbert.....	49
Figura 22. Punto 6 anillo exterior: Plaza Héroes de Cavite.....	50
Figura 23. Punto 7 anillo exterior: Calle Real-Tolosa Latour.....	50
Figura 24. Punto 8 anillo exterior: Calle Capitanes Ripoll-Carlos III.....	51
Figura 25. Punto 9 anillo exterior: Calle Esparta-Dr. Pérez Espejo.....	51
Figura 26. Punto 10 anillo exterior: Ronda Ciudad de la Unión-Ingeniero de la Cierva.....	52
Figura 27. Punto 11 anillo exterior: Calle Juan de la Cosa-Dr. Pérez Espejo.....	52
Figura 28. Punto 12 anillo exterior: Calle Juan Fernández-Jiménez de la Espada.....	53
Figura 29. Punto 13 anillo exterior: Calle Príncipe de Asturias-Pintor Balaca.....	53
Figura 30. Punto 14 anillo exterior: Calle Santiago Ramón y Cajal-Jiménez de la Espada.....	54
Figura 31. Punto 15 anillo exterior: Calle Menéndez y Pelayo-Plaza de España.....	54
Figura 32. Punto 16 anillo exterior: Calle Jabonerías-Tolosa Latour.....	55
Figura 33. Punto 17 anillo exterior: Calle Salitre-Canales.....	55
Figura 34. Media CO ₂ en Anillo Exterior (mg/m ³).....	57
Figura 35. Media CO ₂ en Anillo Interior (mg/m ³).....	57
Figura 36. Media CO en Anillo Exterior (mg/m ³).....	58
Figura 37. Media CO en Anillo Interior (mg/m ³).....	59

Figura 38. Media O ₃ en Anillo Exterior (µg/m ³).....	60
Figura 39. Media O ₃ en Anillo Interior (µg/m ³).....	60
Figura 40. Media CO ₂ en Anillo Exterior según turno mañana/tarde (mg/m ³).....	61
Figura 41. Media CO ₂ en Anillo Interior según turno mañana/tarde (mg/m ³).....	62
Figura 42. Media CO en Anillo Exterior según turno mañana/tarde (mg/m ³).....	62
Figura 43. Media CO en Anillo Interior según turno mañana/tarde (mg/m ³).....	63
Figura 44. Media O ₃ en Anillo Exterior según turno mañana/tarde (µg/m ³)...	63
Figura 45. Media O ₃ en Anillo Interior según turno mañana/tarde (µg/m ³)....	64
Figura 46. Máximo CO ₂ en Anillo Exterior (mg/m ³).....	65
Figura 47. Máximo CO ₂ en Anillo Interior (mg/m ³).....	65
Figura 48. Máximo CO en Anillo Exterior (mg/m ³).....	66
Figura 49. Máximo CO en Anillo Interior (mg/m ³).....	66
Figura 50. Máximo O ₃ en Anillo Exterior (µg/m ³).....	67
Figura 51. Máximo O ₃ en Anillo Interior (µg/m ³).....	67
Figura 52. Media diaria Mompeán PM10 (mg/m ³).....	68
Figura 53. Curva de Calidad del Aire para valor medio de CO ₂ en Anillo Exterior.....	70
Figura 54. Curva de Calidad del Aire para valor medio de CO ₂ en Anillo Interior.....	71

Figura 55. Curva de Calidad del Aire para valor medio de CO en Anillo Exterior.....	72
Figura 56. Curva de Calidad del Aire para valor medio de CO en Anillo Interior.....	73
Figura 57. Curva de Calidad del Aire para valor medio de O ₃ en Anillo Exterior.....	74
Figura 58. Curva de Calidad del Aire para valor medio de O ₃ en Anillo Interior.....	75
Figura 59. Curva de Calidad del Aire para valor máximo de CO ₂ en Anillo Exterior.....	76
Figura 60. Curva de Calidad del Aire para valor máximo de CO ₂ en Anillo Interior.....	77
Figura 61. Curva de Calidad del Aire para valor máximo de CO en Anillo Exterior.....	78
Figura 62. Curva de Calidad del Aire para valor máximo de CO en Anillo Interior.....	79
Figura 63. Curva de Calidad del Aire para valor máximo de O ₃ en Anillo Exterior.....	80
Figura 64. Curva de Calidad del Aire para valor máximo de O ₃ en Anillo Interior.....	81

0. Objetivos del proyecto

El objetivo de este proyecto es estudiar la calidad del aire en un entorno urbano así como la movilidad urbana en dicho entorno urbano, de forma que se pueda

caracterizar las interacciones entre ambas variables. Sería interesante llegar a proponer una métrica que evalúe dicha interacción.

En el estudio se considerará:

- La ubicación del observador en el entramado urbano, y consecuentemente la dimensión geoespacial de las mediciones efectuadas.
- Los distintos elementos y sus valores que conforman en su conjunto la variable “Calidad del Aire” y su distribución geoespacial del área de estudio. Se desarrollaran las curvas de nivel de aire del área de estudio.
- Los resultados obtenidos de la Calidad del Aire se contrastaran con los valores obtenidos en los Trabajos efectuados sobre la movilidad urbana por el Grupo de Investigación en Ingeniería de Organización.
- Se intentará proponer una métrica que de soporte a la planificación de la ciudad identificando aspectos específicos de la Calidad del Aire para la movilidad así como recomendaciones futuras.

En el primer capítulo o capítulo de introducción se desarrolla el contexto histórico de la preocupación de la Calidad del Aire y algunos datos importantes de impacto en la salud humana, se desarrolla el marco normativo y la influencia del tráfico en la Calidad del Aire.

El segundo capítulo trata sobre la Calidad del Aire, en primer lugar se determina el estado del arte en cuanto a la Calidad del Aire a nivel continental, estatal y local. En este capítulo también se exponen los conceptos de ODA e IDA y los umbrales para categorizar la Calidad del Aire, aspectos que se consideran vitales para el completo entendimiento de este trabajo.

En el capítulo tercero, se lleva a cabo un estudio más amplio de la movilidad urbana, desarrollando su estado del arte así como información suficiente sobre los planes de movilidad urbana y otras actuaciones relacionadas con ella.

En el cuarto capítulo se analizan pormenorizadamente cada una de las variables que se van a estudiar, se realiza una distribución geoespacial de los distintos puntos de medida de Calidad del Aire, así como se muestran los

resultados de dichas mediciones y las curvas de Calidad del Aire para cada uno de los contaminantes.

En el quinto y último apartado, se recopilan las conclusiones obtenidas a lo largo del trabajo y se consignan algunas recomendaciones para la mejora de la Calidad del Aire y la movilidad urbana.

1. Introducción

El hombre ha venido mostrando interés por la Calidad del Aire desde hace mucho tiempo, tanto exterior como de sus hogares, claramente convencido de que el aire de determinados lugares era una fuente de enfermedad. Esto derivó en una teoría precientífica llamada “la teoría miasmática de la enfermedad” desarrollada en el siglo XVII por Thomas Sydenham y Giovanni María Lancisi (Sydenham, 1666), según la cual, las enfermedades eran transmitidas por fenómenos climáticos, especialmente vientos, que portaban vapores tóxicos emanados de la materia en descomposición. Por lo tanto, se consideraba que la enfermedad se encontraba en el aire en forma de miasma. Esta teoría fue sustituida por la teoría microbiana de la enfermedad, que ya disponía de una base científica demostrada (Tiner, 1990).

La Calidad del Aire o inmisión se define como la concentración de contaminante que llega a un receptor, más o menos alejado de la fuente de emisión (Troposfera, 2018). Para poder determinar de forma inequívoca los distintos rangos de Calidad del Aire se ha desarrollado el índice de Calidad del Aire, a través del cual se define si dicha Calidad en un lugar es buena, admisible, mala o muy mala (Centro de Control de Vigilancia de la Calidad del Aire, 2012). Cotidianamente, dejando a un lado los datos, se entiende como buena Calidad del Aire, la ausencia de problemas respiratorios y asociados a una atmósfera dañina. Mientras que cualquier inconveniente derivado de la atmósfera que nos rodea, desemboca en una sensación de mala Calidad del Aire.

En la actualidad, se considera que el aire limpio es un requisito básico de la salud y el bienestar humano. La contaminación del aire representa un importante riesgo para la salud. Según una evaluación de la OMS, en 2012, sobre la carga de enfermedad debida a la contaminación del aire, son más de seis millones y medio las muertes que se pueden relacionar cada año a los efectos de la contaminación del aire en espacios abiertos urbanos y en espacios cerrados. Mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma. En 2014, el 92 % de la población vivía en lugares

donde no se respetaban las Directrices de la OMS sobre la calidad del aire (WHO, 2018).

1.1. Marco normativo de referencia

Las Guías de Calidad del Aire de la OMS tienen por objeto ofrecer orientación sobre la manera de reducir los efectos de la contaminación del aire en la salud. Estas guías, publicadas por primera vez en 1987 y actualizadas en 1997 se basaban en la evaluación por expertos de las pruebas científicas del momento. Dada la abundancia de nuevos estudios sobre los efectos de la contaminación del aire la OMS volvió a actualizar la Guía de Calidad del Aire en el año 2005 (OMS, 2006). En esta guía de Calidad del Aire de 2005 por primera vez se hace referencia a cuatro contaminantes comunes del aire: materia particulada (PM 2,5 y PM 10), ozono (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂); sobre estos cuatro contaminantes se construye el procedimiento de valoración de la Calidad del Aire; que establece los valores guía u objetivo para una adecuada Calidad del Aire. Las guías establecidas por WHO y sus valores guía aunque representan un nivel estándar no son vinculantes, al tener cada país en función de sus objetivos sociales y políticos la capacidad de establecer el valor límite. La norma orienta hacia que el país pueda equilibrar los riesgos para la salud, la viabilidad tecnológica y los aspectos económicos.

La normativa Europea actual sobre calidad y evaluación del aire tiene su origen en la Directiva 96/62/CE del Consejo, de 27 de septiembre de 1996, sobre evaluación y gestión de la Calidad del Aire Ambiente. Posteriormente se han ido desarrollando Directivas que complementan a la anterior, para diferentes grupos de contaminantes; Directivas 2008/50, 2004/107, 2015/1480 y 2011/850 (EURLEX, 2018).

En cuanto a la Calidad del Aire ambiente en España, se viene analizando desde hace más de 40 años. Comenzó con la ley 38/1972, de 22 de diciembre, de Protección del Ambiente Atmosférico, donde se establecía la necesidad de una red nacional de estaciones para la vigilancia y prevención de la contaminación atmosférica. Todas las Directivas de desarrollo de la ley 38/1972 se fueron incorporando al ordenamiento jurídico español cronológicamente como sigue:

- Decreto 833/1975, de 6 de febrero, por el que se desarrolla la Ley 38/1972, de 22 de protección del ambiente atmosférico
- 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.
- Real Decreto 1796/2003, de 26 de diciembre, relativo al ozono en el aire ambiente.
- Real Decreto 812/2007, de 22 de junio, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos.

Tanto las directivas europeas como los reales decretos nacionales actualmente se encuentran derogados y han sido sustituidos por las Directivas 2008/50/CE y 2004/107/CE a nivel Europeo y la Ley 34/2007 y Real Decreto 102/2011 a nivel Nacional.

La Directiva 2008/50/CE, de 21 de mayo de 2008, relativa a la Calidad del Aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa, persigue el objetivo de establecer medidas destinadas a:

- Definir y establecer objetivos de Calidad del Aire ambiente para evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente en su conjunto;
- Evaluar la Calidad del Aire ambiente en los Estados miembro basándose en métodos comunes.
- Obtener información sobre Calidad del Aire ambiente con el fin de ayudar a combatir la contaminación atmosférica y controlar la evolución a largo plazo y las mejoras resultantes de las medidas nacionales y comunitarias.
- Asegurar que esa información se halla a disposición de los ciudadanos.
- Mantener la Calidad del Aire, cuando sea buena y mejorarla en los demás casos.
- Fomentar el incremento de la cooperación entre los Estados miembros para reducir la contaminación atmosférica.

Además, la citada directiva, introduce regulaciones para un nuevo contaminante, partículas de tamaño inferior a $2,5 \mu\text{m}^3$, así como nuevos requisitos en cuanto a la evaluación y los objetivos de Calidad del Aire, teniendo en cuenta la guía de la OMS.

Con respecto a la Directiva Europea 2004/107/ CE, de 15 de diciembre, persigue los siguientes objetivos.

- Establecer un valor objetivo de concentración de arsénico, cadmio, níquel y benzo(a) pireno en el aire ambiente, para evitar, prevenir o reducir los efectos perjudiciales de estos contaminantes en la salud humana y en el medio ambiente en su conjunto;
- Garantizar, el mantenimiento de la Calidad del Aire ambiente con respecto a estos contaminantes cuando es buena y mejorarla en otros casos.
- Establecer métodos y criterios comunes de evaluación de las concentraciones de estos contaminantes en el aire ambiente y en depósitos.
- Garantizar la obtención y puesta a disposición pública de información adecuada sobre las concentraciones de estos contaminantes.

Las Directivas Europeas se han trasladado al ordenamiento jurídico Español en la Ley 34/2007 y en Real Decreto 102/2011.

Ley 34/2007: Establece el marco jurídico para la evaluación y la gestión de la Calidad del Aire en España, teniendo como fin último alcanzar los niveles óptimos de Calidad del Aire para evitar, prevenir o reducir riesgos o efectos negativos sobre la salud humana, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza. De ella se puede destacar algunos principios esenciales.

- Desarrolla los contaminantes a evaluar y sus objetivos de calidad
- Desarrolla las obligaciones de la evaluación y la zonificación del territorio según los niveles de contaminantes.
- Se ocupa de la planificación, centrada en la elaboración de planes y programas para la protección de la atmósfera.

- Recoge el control, inspección, vigilancia y seguimiento, así como el deber de las comunidades autónomas y/o entidades locales de disponer estaciones, redes y otros sistemas de evaluación.

Real Decreto 102/2011: Se trata de la transposición de la Directiva Europea 2008/50/CE y se pueden destacar los siguientes principios o ideas principales:

- Define las actuaciones a realizar en el ámbito de las respectivas competencias para cada entidad.
- Determina los objetivos de Calidad del Aire para cada uno de los contaminantes regulados, así como los criterios de agregación y cálculo correspondiente.
- 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.
- Fija las obligaciones con respecto a los plazos de cumplimiento y la necesidad de listados diferenciados por contaminante donde se indique umbrales y límites legislados superados.
- Define un indicador Medio de Exposición y contempla las aportaciones procedentes de fuentes naturales así como la posibilidad de una prórroga para los plazos de cumplimiento.

De forma resumida, el R.D. 102/2011 sienta las bases de la evaluación de la Calidad del Aire, enfocada a tres tipos de contaminantes o grupos contaminantes:

- Evaluación de la Calidad del Aire en relación al 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.
- Evaluación de la Calidad del Aire en relación al ozono.
- Evaluación de la Calidad del Aire en relación al amoniaco.

Los NO_x tienen una especial relevancia en la formación del conocido smog fotoquímico. La palabra inglesa smog (del smoke: humo y fog: niebla) se utiliza

para denominar la contaminación atmosférica que se produce en algunas ciudades por las mezclas de contaminantes de origen (NOx e hidrocarburos volátiles) con otros secundarios (ozono, peroxiacilo, radicales hidroxilo, etc.) que se forma por reacciones producidas al incidir la luz solar sobre los primeros. Las reacciones fotoquímicas que originan este fenómeno suceden cuando la mezcla de NOx e hidrocarburos volátiles emitida por los automóviles y el oxígeno atmosférico reaccionan, inducidos por la luz solar, en un complejo sistema de reacciones que acaba formando ozono.

El ozono es una molécula muy reactiva que sigue reaccionando con otros contaminantes presentes en el aire formando un conjunto de varias decenas de sustancias distintas como nitratos peroxiacilo (PAN), peróxido de hidrógeno (H₂O₂), radicales hidroxilo (OH) y formaldehído. Estas sustancias, en conjunto, pueden producir importantes daños en las plantas, irritación ocular y problemas respiratorios. Este tipo de contaminación se ve agravado en zonas cálidas y con tasa elevada de radiación solar. Por ello, la primavera-verano es la época más favorable para la formación de este tipo de contaminación, aunque no obstante en invierno, el desarrollo de inversiones térmicas y el menor desarrollo de la capa de mezcla favorece la concentración de los contaminantes gaseosos y particulados en las capas bajas de la atmósfera, pudiendo agravar este problema en determinados escenarios ya que dificultan la renovación del aire y la eliminación de los contaminantes. Se ha de resaltar que aunque los precursores de ozono se emiten en zonas urbanas e industriales el impacto de éste contaminante atmosférico se registra sin embargo en zonas rurales y de fondo regional circundantes a los focos emisores, mientras que en los ambientes urbanos, dado el consumo de ozono resultante de la oxidación de las emisiones de NO para formar NO₂, los niveles de este contaminante son bajos.

1.2. Plan mejora Calidad del Aire

El Real Decreto 102/2011 establece que para aquellos contaminantes que se observen comportamientos similares, a nivel de fuente, dispersión y niveles en diferentes zonas o aglomeraciones, la Administración General del Estado debe elaborar planes nacionales de mejora de la Calidad del Aire, este es el motivo de la presentación, por parte del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio

Ambiente, del “ Plan Nacional de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera 2013-2016: Plan AIRE I” en primera instancia y actualmente se encuentra vigente el “ Plan AIRE II ” para los años 2017-2019.

El plan AIRE realiza un diagnóstico de la situación actual de la Calidad del Aire en España y las conclusiones a la que llega constituyen la base sobre la que se plantea un conjunto de acciones que buscan cumplir con el objetivo de “impulsar medidas que actúen ante los problemas de Calidad del Aire más generalizados en nuestro país, de forma que se respeten los valores legalmente establecidos” (MAGRAMA, 2017). En el análisis inicial, este proyecto asume la gran aportación de las emisiones del tráfico de vehículos al deterioro de la Calidad del Aire en las ciudades.

El perfil del parque de vehículos se ha transformado notablemente, ya que se ha producido en los últimos años un fuerte aumento del número de vehículos y asociado a un aumento del porcentaje de vehículos diésel. Existen efectos positivos como la entrada de vehículos de última generación que son mucho menos contaminantes, pero en España no se ha mostrado este efecto aún por el hecho del aumento del envejecimiento de la flota de vehículos, ya que más de la mitad de los vehículos tienen más de 10 años (Revista DGT Núm. 237,2016). La “dieselización” del parque circulante (llegando al 60% en 2013) ha sido un factor crítico para el empeoramiento de la Calidad del Aire, ya que la combustión del motor diésel genera mayor emisión de partículas y de NO₂ que los motores gasolina.

1.3. El tráfico como contaminante del aire

El tráfico es una de las principales fuentes de contaminación debido a que la emisión se produce a gran proximidad de la población y de forma muy dispersa en la urbe. Además, el diseño y arquitectura de las ciudades españolas difiere de la de otros países europeos, en cuanto a la mayor densidad de edificios de apartamentos y a la altura de éstos, lo que provoca un efecto pantalla en las emisiones producidas por el tráfico, dificultando la dispersión de contaminantes.

Otro fenómeno con el mismo efecto es la baja tasa de precipitación registrada en el sureste peninsular, lo que impide el lavado atmosférico e influye en los procesos de resuspensión por el tráfico rodado del material particulado

depositado en los firmes de carretera. Así mismo, la elevada radiación solar en los meses estivales se traduce en un incremento de los niveles de partículas secundarias (como sulfato y nitrato), NO_2 y O_3 . Estos incrementos se ven aún más acentuados por la baja capacidad dispersiva de la atmósfera en verano.

En zonas urbanas, aproximadamente el 50% de emisiones de NO_x se produce por combustión en los motores de los vehículos, siendo otras fuentes de emisión las centrales eléctricas y otras fuentes industriales. Los niveles elevados de NO_x además de influir en los niveles de ozono, generado por la reacción de NO_2 y precursores gaseoso orgánicos, y en la formación de lluvia ácida, pueden perjudicar la salud pública afectando especialmente el sistema respiratorio al dañar el tejido pulmonar causando muertes prematuras (Mauzerall et al, 2004).

En las figuras 1 y 2 se puede observar la media de las concentraciones de NO_2 anuales en las principales estaciones de tráfico y de fondo en Europa (European Environment Agency, 2017).

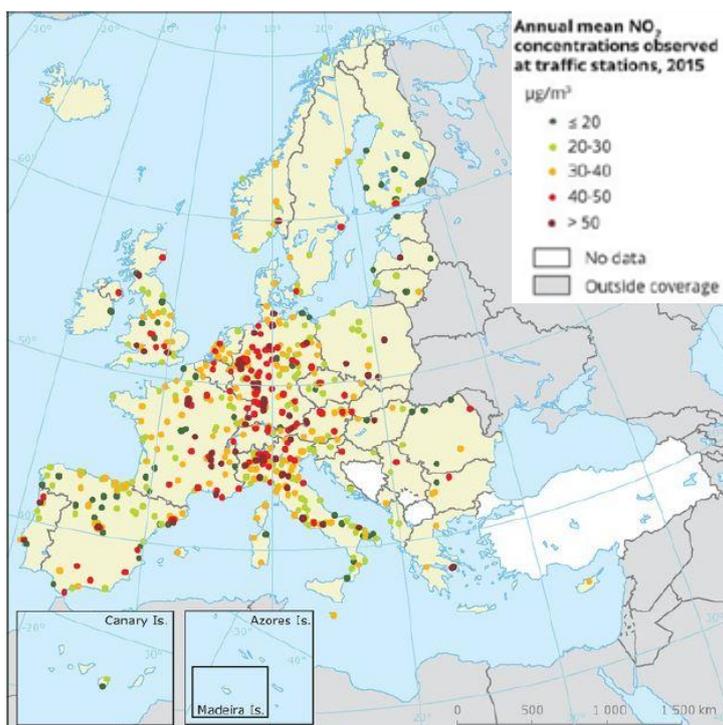


Figura 1. Concentración media anual de NO_2 en estaciones de tráfico en Europa

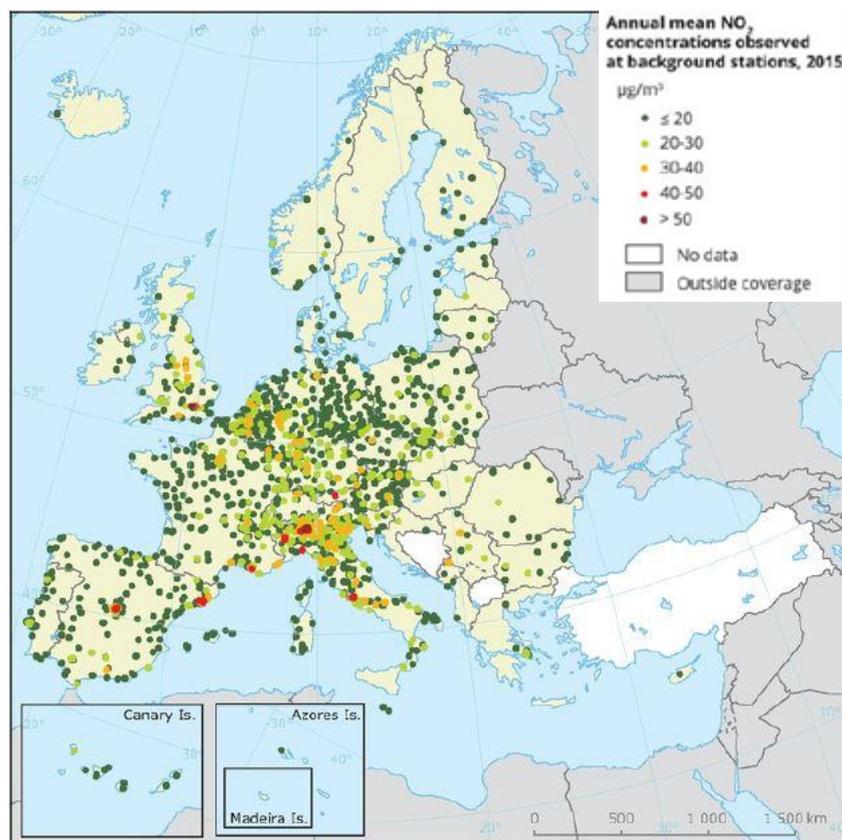


Figura 2. Concentración media anual de NO₂ en estaciones de fondo

Los estudios sobre material particulado realizados en diferentes ciudades de España y Europa por la comisión Europea (European Environment Agency, 2017) muestran al tráfico como responsable de hasta un 50 % de los niveles medios anuales de PM₁₀ y PM_{2,5} (concentración en aire ambiente de partículas con un diámetro inferior a 10 y 2,5 µm, respectivamente, expresada en µg/m³) (Figuras 3 y 4). Elevados niveles tanto PM₁₀, como PM_{2,5} se han asociado con problemas de salud al ser suficientemente pequeñas para ser inhaladas y penetrar en el pulmón. PM₁₀ puede dividirse a su vez en tres categorías de acuerdo a su tamaño, incluyendo una fracción gruesa (2,5-10 µm, deposición extra-torácica), fina (0,1-2,5 µm; deposición bronquial) y ultrafina (< 0,1 µm; deposición alveolar).

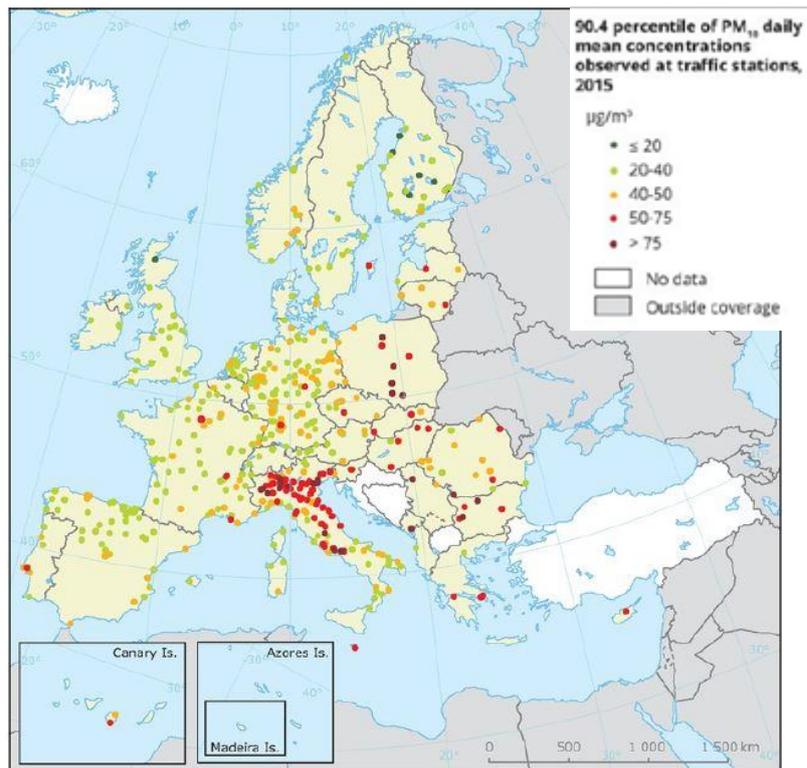


Figura 3. Concentración media anual de PM_{10} en estaciones de tráfico en Europa

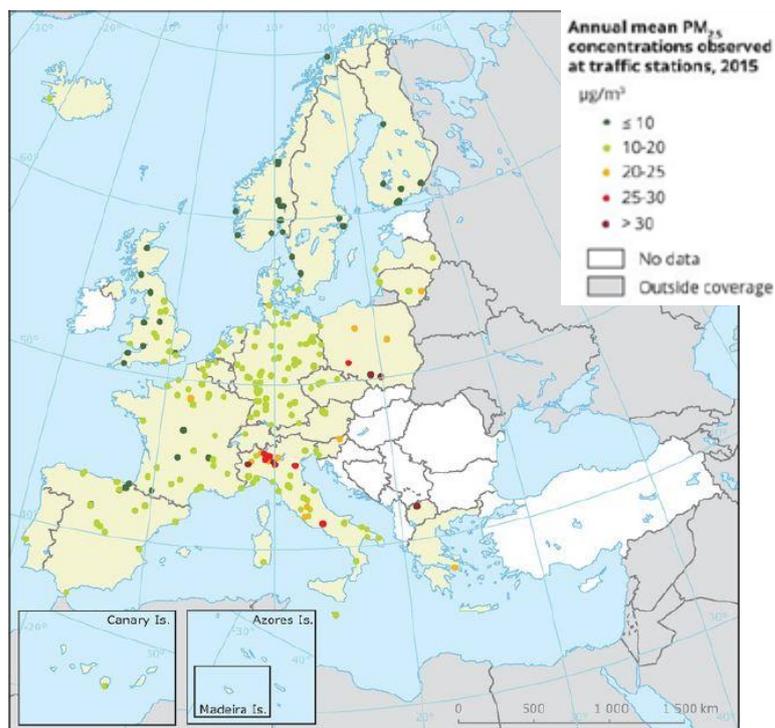


Figura 4. Concentración media anual de $PM_{2.5}$ en estaciones de tráfico en Europa

Estudios epidemiológicos y toxicológicos han encontrado claras conexiones entre niveles de polución atmosférica e ingresos en hospitales y número de

muertes en pacientes, mostrando como los niveles elevados de polución en el aire que respiramos provocan problemas cardio-respiratorios, especialmente en niños, ancianos y personas con enfermedades (Pope y Dochery, 2006). Dichos problemas en la salud incluyen arritmias, reducción en la capacidad pulmonar, asma, bronquitis crónica, sinusitis, tos y alergias. Es importante considerar que estas reacciones en nuestra salud no sólo dependen de la masa de material inhalado, sino también de la composición de dicho material. Sin embargo, aún hoy existe controversia sobre que característica físico/química/morfológica hace que unas partículas sean más reactivas que otras (Adamson et al., 1999,2000; Dye et al., 2001; Ghio y Devlin, 2001; Moreno et al., 2004).

La contaminación del tráfico incluye un amplio rango de emisiones de elementos metálicos como el hierro, el bario, el plomo, el cobre, el zinc y el cadmio. Por esta razón la Unión Europea ha establecido un límite anual para el plomo (500 ng/m^3), y unos valores aconsejables u objetivo para el arsénico (6 ng/m^3), el níquel (20 ng/m^3) y el cadmio (5 ng/m^3).

Entre las emisiones de contaminantes atmosféricos procedentes del tráfico rodado y de otros motores estacionarios es necesario destacar las emisiones de motores diésel, que equipan una amplia gama de vehículos y máquinas, debido a su eficiencia energética pero aunque emita menos monóxido de carbono e hidrocarburos que sus equivalentes en gasolina o gas natural, las emisiones de óxidos de nitrógeno y de material particulado son muy superiores.

Además de las nuevas tecnologías utilizadas en los motores diésel, el uso de combustibles de ultra-bajo contenido en azufre es esencial para reducir las emisiones, no solamente por la consecuente reducción de niveles de sulfato, y por tanto de $\text{PM}_{2,5}$, sino porque el uso de este combustible es absolutamente necesario para el buen funcionamiento de los sistemas de depuración de emisiones, tales como catalizadores para óxidos de nitrógeno y filtros de partículas con catalizadores, ya que el óxido de azufre y los ácidos derivados dañan los catalizadores.

A pesar de las ventajas de este tipo de combustibles y de los nuevos motores diésel, estas medidas no son suficientes para alcanzar los objetivos de las nuevas directivas en materia de PM, ya que para conseguirlos es necesaria la

utilización de tecnologías para depurar las emisiones de contaminantes de los motores diésel. En EEUU, además de fijar valores límite de emisión para PM y NO₂ mucho más estrictos que los europeos, se han seguido cinco tipos de estrategias para reducir los niveles de emisión de contaminantes de los motores diésel, que se resumen a continuación (Querol et al., 2006). Cada estrategia se basa en favorecer el desarrollo de programas voluntarios en cinco aspectos concretos:

- Utilización de combustibles limpios (ultra-bajo contenido en azufre) para reducir niveles de sulfatos.
- Favorecer el mantenimiento y la reparación de motores con defectos que después de unos años de funcionamiento no cumplen ya las especificaciones del fabricante en cuanto a las emisiones.
- Cambio de motores antiguos por otros de nueva generación en maquinaria industrial, construcción, transporte, etc. con mayor vida útil.
- Aplicar filtros de depuración de emisiones y otras aplicaciones (como catalizadores) a motores en funcionamiento. Esta estrategia es especialmente adecuada para transporte público y de recogida de residuos, ambulancias, bomberos, etc.
- Los motores construidos con anterioridad a 1990 no son adecuados para alcanzar los requisitos de emisión exigidos. Se han desarrollado programas para sustituir ciertos tipos de vehículos por otros de nueva generación.

2. La calidad del aire en ciudades de España

En España, los niveles medios de NO₂ son elevados en numerosas estaciones urbanas de control y vigilancia de la Calidad del Aire con influencia del tráfico. (Querol et al, 2006). La situación mejora ostensiblemente en el caso de estaciones de fondo urbano con menor influencia directa de las emisiones del tráfico. Ello da idea de la importancia que tienen las emisiones del tráfico en los niveles urbanos de aire ambiente de NO₂.

Los NO_x y sus derivados dan además lugar a la formación de partículas secundarias por interacción con el amoníaco (emitido por actividades agrícolas

en su mayoría e industriales y urbanas en menor proporción) o con las partículas naturales (aerosol marino o partículas minerales emitidas por resuspensión del suelo).

Un contaminante de especial relevancia en Calidad del Aire urbana es el material particulado atmosférico. La fracción gruesa del material particulado (aquella superior a 2,5 μm) está formada mayormente por partículas de origen mineral y otras partículas producidas por procesos de desgaste de tipo mecánico. En las áreas urbanas de España se registra una alta carga mineral en el material particulado que se debe especialmente a dos causas:

1. En primer lugar las elevadas tasas de resuspensión del polvo depositado en la calzada, originando bien por el tráfico o por otras fuentes como la construcción y la demolición, cuya acumulación se ve además favorecida por el bajo volumen de precipitación que se registra en determinadas regiones de España (comparado con otros países del centro o norte de Europa).
2. En menor medida a los aportes de polvo desde África y a la resuspensión natural de suelos áridos. Estudios previos han demostrado que las invasiones de polvo desde el norte de África pueden tener una elevada influencia en el número de superaciones del valor límite diario de PM_{10} . No obstante, estos episodios tienen una influencia mayor en el sur y este de la Península Ibérica, islas Canarias e islas Baleares (Querol et al., 1998; Rodríguez et al., 2001).

Para paliar este hecho el plan AIRE, propuso un conjunto de objetivos específicos y de medidas concretas (horizontales y sectoriales) que teóricamente deberían alcanzarse e implementarse en primer lugar entre 2013-2016 para el plan AIRE I y entre 2017-2019 para el plan AIRE II, no es nuestro fin en esta publicación evaluar el grado de cumplimiento de dichas medidas pero sí lo es estudiar el nivel de Calidad de Aire presente en la ciudad de Cartagena y su vinculación con el tráfico rodado.

Mientras que a nivel territorial, en la Región de Murcia la red regional de vigilancia atmosférica está compuesta de ocho estaciones medidoras fijas y dos unidades móviles. La red de vigilancia está obsoleta y con múltiples

carencias. En el año 2010, se eliminaron las estaciones de La Unión y San Ginés (Cartagena) lo que disminuyó la captura de datos y un mejor diagnóstico de la situación sobre Calidad del Aire.

Los contaminantes benceno, tolueno y xileno (BTX), solo se miden en las estaciones fijas de Alcantarilla y Alumbres. Las estaciones de San Basilio (Murcia) y Caravaca tampoco miden las emisiones de dióxido de azufre y la estación fija del Valle de Escombreras tampoco mide el contaminante ozono troposférico.

Muchos analizadores atmosféricos de las estaciones medidoras tienen 9 años o más superando el periodo máximo de estos dispositivos que se cifra en 7 años. Esta obsolescencia de la red regional de vigilancia atmosférica provoca el deterioro en estas infraestructuras: Problemas de mantenimiento, fallos técnicos, ausencia de captura de datos, incidencias periódicas, Falsas superaciones, averías, caídas del sistema informático, etc.

2.1. Estudios efectuados hasta el momento

De un tiempo a esta parte el ritmo de publicación de estudios en relación a la Calidad del Aire ha ido en aumento de forma evidente, apoyado por el mayor peso desde las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales en el aspecto de la movilidad urbana y la salud.

Encontramos diferentes estudios que relacionan la Calidad del Aire y la salud. Existe una relación directa entre el nivel de partículas presentes en el aire y la mortalidad prematura. En este estudio se lleva a cabo un modelado de la situación actual de la Península Ibérica en cuanto a las partículas finas ($PM_{2,5}$) utilizando como referencia la metodología de evaluación de impacto en la salud (HIA) (WHO, 2000) y el Programa de Mapeo y Análisis de Beneficios Ambientales (BENMAP) (AAI, 2005). Estimando la contribución a la reducción de muertes prematuras para dos rangos de edad diferentes, de 25 a 74 años y de 30 a 99 años (Boldo et al, 2011).

Debido a que el cambio medio de $PM_{2,5}$ ha sido aproximadamente de $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ desde 2004 hasta 2011, se ha implementado dicho valor en el modelo. Obteniendo como resultado del estudio una reducción de 6 muertes por cada

100.000 habitantes para el rango de edad entre 25 y 74 años y 5 por cada 100.000 habitantes para el rango entre 30 y 99 años.

La conclusión obtenida de esta primera aproximación de la aplicación del método HIA nacional es el potencial para reducir la mortalidad si se aplican unas políticas medio ambientales adecuadas, especialmente para combatir los altos niveles de $PM_{2,5}$ que debido a su morfología son las partículas más dañinas para la salud humana.

También se han desarrollado estudios para la predicción de la Calidad del Aire enfocado para la predicción de la Calidad del Aire en el entorno de plantas industriales, áreas urbanas y regionales. Fruto de estos estudios se desarrolló la herramienta OPANA que opera con el modelo meteorológico de mesoescala MM5 y el modelo CMAQ de monitorización de la Calidad del Aire de Multi-escala y comunitario, además se realizan las estimaciones de las emisiones horarias de los diferentes contaminantes con un modelo denominado EMIMO. OPANA opera sobre plataformas industriales del sur de la comunidad de Madrid y el área urbana de Madrid, Leicester y Las Palmas de Gran Canaria. El estudio muestra una información robusta y confiable, demostrando la posibilidad de conocer en tiempo real y de forma predictiva, el impacto en la Calidad del Aire en el entorno de plantas industriales y áreas urbanas (San José et al., 2007).

La Calidad del Aire también se puede ver afectada por el entorno socio-económico del lugar en el que se lleva a cabo el estudio. Como se puede observar en Monteiro et al. (2017) en el cual se investiga el resultado del impacto de la crisis económica en la Calidad del Aire en las principales ciudades de Portugal. Se estudia la Calidad del Aire durante el periodo 2004-2015 distinguiendo dos periodos diferentes, desde el 2004 al 2007 denominado como el periodo pre-crisis financiera y del 2008 en adelante denominado como el periodo de crisis financiera. Como resultado de este estudio, observamos que no existe una relación directa entre los indicadores económicos como el PIB y la reducción de ingresos con el nivel de contaminantes en el aire, aunque si se ha correlacionado una relación directa entre la reducción del consumo de energía con el descenso de los contaminantes en el aire, ya que se produce

una disminución de la contaminación entre los años 2007 y 2012 que coincide con el periodo en el que el consumo de energía descendió. Por lo que aunque los indicadores económicos no afectan de forma directa a la Calidad del Aire, podemos afirmar que una recesión económica sí que provoca un descenso del consumo de energía y con ello una mejora de la Calidad del Aire, por lo que lo debemos valorar como un aspecto fundamental en la mejora de la Calidad del Aire.

En Steffens et al. (2017) se lleva a cabo un estudio sobre la Calidad del Aire cerca del puerto de Charleston en Carolina del Sur. Para ello cuentan con un vehículo eléctrico que dispone de sondas para medir material particulado, dióxido de carbono, monóxido de carbono y carbono negro. Para el estudio se diseñaron 24 sesiones, en las que el vehículo rodaría por 1 de las 4 rutas preestablecidas. Tres de ellos tenían como destino otras terminales portuarias y una de ellas un núcleo urbano, aunque todas ellas pasaban por un área urbana antes de llegar a su destino.

Una vez obtenidas las medidas se compararon con los resultados que mostraban para esos periodos las estaciones estacionarias cerca del puerto, mostrando que aunque los resultados de $PM_{2,5}$ no eran exactos, los de PM_{10} y la tendencia eran coincidentes por lo que el equipo era adecuado para el estudio. Para comprobar el impacto de la actividad portuaria se tomó como resultado de fondo el que existía en los residenciales de cada ruta, mostrando que la actividad portuaria (incluyendo el tráfico de camiones pesados, carretillas elevadoras, etc.) provocaba una elevación significativa de la concentración de contaminantes por encima del fondo.

De un trabajo reciente sobre la Calidad del Aire en Moscú en el periodo entre 2005-2014 destacan algunos detalles interesantes que permiten tratar la problemática de la Calidad del Aire desde otro punto de vista (Elansky et al., 2018).

En primer lugar se estudia la Calidad del Aire en función de la distancia al centro de la ciudad, comprobando que el NO_x y el SO_2 se mantienen aproximadamente constantes a lo largo de toda la ciudad, mientras que el CO se reduce al alejarnos del centro debido a la reducción del tráfico rodado y el

metano (CH_4) aumenta al alejarnos del centro debido a que aumentan los núcleos residencial que disponen de calderas que emiten este tipo de contaminante.

Otro aspecto muy importante es el estudio de los niveles de contaminación para cada uno de los diferentes contaminantes en su distribución vertical. Se puede comprobar cómo debido a la reacción con el ozona el NO disminuye drásticamente hasta los 100 metros de altura para mantenerse en esa media hasta los 350 m, por otra parte el NO_2 se mantiene prácticamente constante en la capa inferior (hasta los 150 m) para reducir su concentración linealmente hasta los 350 m donde se obtienen los valores medios de fondo. Por último, para el CO se produce una disminución de la concentración hasta los 130 m, para mantenerse prácticamente constante hasta los 250 m, punto en el que vuelve a descender y alcanza su valor de fondo.

Resulta reseñable de este trabajo la aplicación de un índice multicontaminante que fue usado por Gurjar et al. (2008) en el cual teniendo en cuenta el número de contaminantes en estudio, la concentración del contaminante obtenida y la máxima concentración recomendada por WHO se desarrolla un factor cuya connotación es la siguiente:

- Si el índice tiene valores negativos, la Calidad del Aire urbano es buena, es acorde con las recomendaciones de la WHO.
- Si el índice tiene valores positivos, la Calidad del Aire urbano es mala, no es acorde con las recomendaciones de la WHO.

En cuanto a la Calidad del Aire en la Península Ibérica y los sectores más influyentes en dicha Calidad del Aire Monteiro et al. (2015) presenta un modelado de la contaminación del aire en Portugal para el año 2020, ejecutando la comparación con la Calidad del Aire en el año 2012.

Resulta reseñable de este trabajo la posibilidad de realizar una disociación de la contaminación para cada contaminante en función de su actividad (SNAP-97) observando la emisión de cada contaminante por parte de cada tipo de actividad para el año 2012 y proyectando la misma para el horizonte 2020.

Analizando para cada sector la tendencia de incremento o descenso de emisión de contaminantes.

Finalmente, el referido trabajo expone varios gráficos con los contaminantes que las diferentes zonas que se encuentran por encima del umbral máximo permitido para cada contaminante en el año 2012 y la proyección para el año 2020. Podemos advertir la previsión de que las políticas medio ambientales aplicadas para el año 2020 consigan una reducción efectiva de la mayoría de los contaminantes, ya que según el modelado, apenas existirán en el país zonas con valores de contaminantes por encima de los valores límites exigidos por la Directiva 2008/50/EC.

2.2. Conceptos de ODA e IDA

El concepto de ODA se define como el aire que entra en el sistema o por una abertura desde el exterior antes de cualquier tratamiento, mientras que el concepto de IDA es el aire presente en un recinto o zona tratada (Hernández, 2006). Ambos conceptos surgieron a raíz de la preocupación del individuo por la Calidad del Aire que le rodea. Dichos conceptos se desarrollaron con la finalidad de relacionar la Calidad del Aire presente en el exterior con la del interior de un edificio o recinto. De forma que la Calidad del IDA no es un elemento estático, ni siquiera depende únicamente de la actividad que en el interior del recinto se desarrolla, si no que viene inducida del Aire exterior (ODA) que exista en el entorno de la instalación.

La importancia de estudiar la Calidad del Aire Exterior, no solo estriba en conocer el impacto sobre la salud cuando nos encontremos en el exterior, surge la necesidad de conocer este parámetro para poder estimar las necesidades de filtración de una instalación.

En el reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (R.D. 1027/2007, de 20 de julio) se determinan los diferentes niveles para las ODAS e IDAS, a su vez se establecen una exigencia de Calidad del Aire Interior (IDA) para una serie de instalaciones tipo (Guarderías, Clínicas, etc.). De forma que según la ODA que exista en el entorno de la instalación y la IDA que se desee tener o se exija en la legislación se deberán aumentar los niveles de filtración para asegurar alcanzar el IDA exigido (R.D. 1027/2007, de 20 de Julio).

En la Tabla 1 se desarrollan 5 categorías de ODAS (R.D. 1027/2007, de 20 de Julio).

Tabla 1. Categoría ODAS

CATEGORÍA	DEFINICIÓN
ODA 1	Aire puro que puede contener partículas sólidas (p.e. polen) de forma temporal.
ODA 2	Aire con altas concentraciones de partículas.
ODA 3	Aire con altas concentraciones de contaminantes gaseosos.
ODA 4	Aire con altas concentraciones de contaminantes gaseosos y partículas.
ODA 5	Aire con muy altas concentraciones de contaminantes gaseosos y partículas.

En la Tabla 2 se definen las cuatro categorías para el IDA (R.D. 1027/2007, de 20 de Julio).

Tabla 2. Categoría IDAS

CATEGORÍA	INSTALACIONES
IDA 1	Aire de Calidad óptima
IDA 2	Aire de buena Calidad
IDA 3	Aire de Calidad media
IDA 4	Aire de Calidad baja.

Mientras que las exigencias de IDA para determinadas instalaciones son las siguientes (R.D. 1027/2007, de 20 de Julio):

Tabla 3. Exigencias IDA según las instalaciones

CATEGORÍA	INSTALACIONES
IDA 1	Hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías
IDA 2	Oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y de estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y asimilables y piscinas
IDA 3	Edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles y similares, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas) y salas de ordenadores.
IDA 4	Resto de locales

Por lo tanto una vez que se conocen las obligaciones de IDA a mantener en un local, se deben colocar los niveles de filtración necesarios para, según el tipo de ODA, asegurar dicha Calidad. Los niveles de filtración y tipo de filtros a colocar quedan definidos en la tabla 4 (R.D. 1027/2007, de 20 de Julio).

Tabla 4. Niveles de filtración y tipo de filtros

	IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA 4
ODA 1	F9	F8	F7	F6
ODA 2	F7/F9	F8	F7	F6
ODA 3	F7/F9	F6/F8	F6/F7	G4/F6
ODA 4	F7/F9	F6/F8	F6/F7	G4/F6
ODA 5	F6/GF/F9 (*)	F6/GF/F9 (*)	F6/F7	G4/F6

(*) Se deberá prever la instalación de un filtro de gas o un filtro químico

(GF) situado entre dos etapas de filtración.

Además para asegurar que se alcanza la Calidad del Aire interior exigida, se establecen cinco métodos diferentes para asegurar el cumplimiento de dichos parámetros. Estos métodos no se desarrollarán ya que la Calidad del Aire Interior no es el objeto de este trabajo.

La única referencia numérica para cada una de estas categorías la encontramos en la NTP 742 (Hernández, 2006) sobre ventilación general en edificios (Tabla 5).

Tabla 5. Valores guía para contaminación exterior

COMPUESTO	EFFECTO	VALOR GUÍA µG/m ³	TIEMPO PROMEDIO
DIÓXIDO DE AZUFRE	Cambios en la función pulmonar en asmáticos.	500	10 minutos
	Aumento de los síntomas en individuos sensibles.	125	24 horas
		50	1 año
DIÓXIDO DE NITRÓGENO	Ligeros cambios de la función pulmonar en asmáticos	200 (0,1 ppm)	1 hora
		40 (0,02 ppm)	1 año
MONÓXIDO DE CARBONO	Nivel crítico de COHb < 2,5%	100000 (90 ppm)	15 minutos
		30000 (25 ppm)	1 hora
		1000 (9 ppm)	8 horas
OZONO	Respuestas de la función respiratoria	120	8 horas
PLOMO	Nivel crítico de Pb en sangre < 100-150 µg Pb/litro	0,5	1 año

Dicha referencia indica que:

“El aire se llama puro cuando se cumplen las pautas de de cualquier norma nacional de Calidad del Aire o reglamentación sobre las sustancias relevantes en el exterior.” (ODA 1)

“Se llaman concentraciones altas, cuando se exceden los requisitos anteriores por un factor de hasta 1,5.” (ODA 2, 3 o 4).

“Se llaman concentraciones muy altas, cuando se exceden los requisitos por un factor mayor de 1,5.” (ODA 5).

El único intento, hasta el momento actual, para definir un mapa de Calidad del Aire, es el DTIE 2.05 publicado por la asociación Atecyr, en el cual se clasifica a las principales provincias españolas (La Coruña, Barcelona, Bilbao, Madrid, Sevilla, Valencia, Valladolid y Zaragoza) en función de la ODA correspondiente, basándose en los datos recopilados de las diferentes estaciones de Calidad del Aire entre los años 2004 y 2010 (Pastor, 2013).

De ahí que uno de los objetivos de este estudio sea posicionar, con los medios disponibles, Cartagena dentro de este contexto, para poder establecer unas medidas acordes a la situación actual de la ciudad.

3. Movilidad urbana

3.1. Índice de movilidad

Hasta el año 2018, los distintos estudios realizados solo categorizaban las ciudades o núcleos urbanos según su sostenibilidad o su innovación (Costa et al., 2017).

En este año encontramos el estudio de López-Carreiro & Monzón (2018) en el cual se trata la necesidad de valorar el concepto de las Smart Cities desde un punto de vista global, no aplicando únicamente el conocimiento tecnológico y del IOT (Internet Of Things) al concepto de la movilidad urbana. Este estudio integra los índices de sostenibilidad con los de innovación, algo novedoso hasta la fecha, generando un índice global y aplicándose a seis ciudades españolas. En este estudio López-Carreiro & Monzón (2018) propone un índice global de sostenibilidad, que contenga aspectos de sostenibilidad social, medioambiental y económica y ponderarlo con un índice global de innovación para obtener finalmente un Índice de Global de Movilidad inteligente (Smart Mobility).

Para ello de cada uno de los cuatro campos valorados se han escogido cuatro subíndices que son los siguientes:

- Sostenibilidad social:
 - Accesibilidad para grupos con movilidad reducida;
 - Subvenciones al transporte público;
 - Muertes de tráfico per cápita y Transporte Público vs Transporte Privado.
- Sostenibilidad medioambiental:
 - Índice de Calidad del Aire;
 - Ratio de motorización;

- Densidad de carriles bici y consumo de terreno para infraestructuras de transporte.
- Sostenibilidad económica:
 - Tiempo ocupado viajando per cápita;
 - Cobertura del Transporte Público;
 - Relación entre el coste del transporte público per cápita y el PIB y Inversión en Transporte público anual por residente.
- Innovación:
 - Sistemas Avanzados de seguridad integral en Transporte Público;
 - Sistemas de información en tiempo Real;
 - Sistemas de pago electrónico y alternativas al fuel en Transporte Público.

Cada uno de estos subíndices ha sido valorado con la misma escala para obtener el valor de los índices generales. Con los índices generales se han obtenido los índice globales de sostenibilidad e innovación aplicando el método previsto en Alonso et al. (2015), y por último se ha obtenido, realizando una ponderación entre ambos, el Índice de Movilidad Inteligente.

Se ha aplicado este índice en seis ciudades españolas, dos pequeñas (A Coruña y Pamplona), dos medianas (Málaga y Zaragoza) y dos grandes ciudades (Madrid y Barcelona) incorporando los datos del Centro de Investigación del transporte del año 2016.

La conclusión de este estudio es que las ciudades más ricas, densas y grandes poseen mayor sostenibilidad e innovación en los sistemas de transporte y por lo tanto son las ciudades más inteligentes en términos de movilidad urbana. El Índice de Movilidad Inteligente supone un paso adelante para que las políticas de transporte puedan remediar las debilidades ocasionadas por una deficiente inversión en movilidad urbana.

En Palma et al. (2014) se describe una nueva técnica para el cálculo del Índice de Sostenibilidad de la Movilidad urbana consistente en el uso de workshops con un análisis multicriterio de técnicos, planificadores y decisión-makers, de forma que resumieron dicho índice en la valoración de 87 indicadores pertenecientes a una serie de temas que a su vez se encuentran comprendidos

en 9 áreas. Una vez definidos los indicadores se han catalogado según costes, riesgo político y tiempo para obtener su viabilidad y han sido valorados cuantitativamente por un especialista externo y por un especialista que forma parte del gobierno.

Como conclusión se ha obtenido la situación actual de la ciudad, así como las políticas que se consideran viables de acometer, existiendo la dos grandes estrategias para mejorar el Índice de Sostenibilidad de Movilidad Urbana, en primer lugar mejorar los indicadores que presenten un valor igual o muy próximo a cero y en segundo lugar mejorar los indicadores que poseen un periodo de tiempo corto. También se ha detectado como conclusión de este estudio que el especialista externo es más pesimista que el interno al no verse relacionado con el resultado de dicho Índice (Palma et al, 2014).

3.2. Planes de movilidad urbana

De acuerdo con May A. (2015) el origen del verdadero movimiento a favor de los Planes de Movilidad Urbana Sostenible se encuentra en el requerimiento en el Libro Blanco de Transporte (Comisión Europea, 2011) en el cual se supedita la cantidad de los fondos europeos a la auditoría de los Planes de Movilidad Sostenible para las ciudades de más de 100.000 habitantes. Concretamente en España, se publicó en 2006 una guía no vinculante sobre el desarrollo de Planes de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS) (IDAE, 2006), basada en gran medida en el trabajo de PROSPECTS (May and Matthews, 2007), sin embargo no fue hasta 2012 cuando la financiación nacional para el transporte en las ciudades de más de 100.000 habitantes se supeditó a la provisión de un PMUS.

El proyecto ELTISplus (ELTISplus, 2014) provee una guía dividida en 8 áreas, 11 elementos y 32 actividades específicas para la preparación de un correcto PMUS, pero los problemas de este tipo de planes según May son los siguientes:

- Roles institucionales conflictivos.
- Compromiso político vacilante con los principios de sostenibilidad.
- Integración deficiente entre los diferentes tipos de políticas, y particularmente entre el transporte y las infraestructuras.

- Financiación inadecuada, tanto para la preparación como para la implementación.
- Habilidades limitadas en la generación de opciones.
- Apoyo público limitado y falta de experiencia de las partes interesadas.
- Datos deficientes y falta de evidencia del desempeño de las soluciones.

Tras un estudio pormenorizado de los componentes políticos de dichos planes propone las siguientes áreas de mejora:

- Comprensión de buenas prácticas en el trabajo en asociación.
- Mejorar los procesos de evaluación comparativa y fijación de objetivos.
- Probar la aplicación de métodos de generación de opciones para políticas y paquetes.
- Evaluar la efectividad de los diferentes enfoques de financiamiento
- Identificar buenas prácticas en la participación de los interesados en todas las etapas del proceso.
- Comprender la toma de decisiones políticas y el liderazgo más efectivo.
- Evaluar enfoques alternativos para la implementación de políticas
- Continuar evaluando nuevos instrumentos de política y paquetes de políticas.

En el trabajo de Muñoz et al. (2014), que se realiza a nivel estatal, se valora la idoneidad de ejecutar un peaje en Madrid, tal y como se ha realizado en otras ciudades europeas como Singapur, Londres o Estocolmo. Obteniendo como conclusión que se mejoraría ostensiblemente el uso del transporte público y desincentivaría el uso del vehículo particular, pero es necesario equilibrar la exclusión social a las que se pueda someter a las clases más bajas con un paquete de estrategias asociadas al sistema de peaje que garantizase una total accesibilidad al transporte en el municipio madrileño.

Continuando con los estudios realizados en España, se encuentra el de Baucells et al. (2017), a través del cual se han catalogado en inteligentes a nivel de movilidad y de medio ambiente las 62 ciudades con más de 50.000 habitantes, partiendo de los datos de los diferentes órganos de gobierno y de las plataformas como TRANSyT (UPM). Arrojando la siguiente conclusión:

“Más del 50 % de las ciudades españolas con más de 50.000 habitantes se pueden considerar inteligentes desde el punto de vista de la movilidad, ya que la mayoría presentan PMUS, y un sistema de pago integrado en el transporte multimodal (dos de las variables estudiadas) pero en cuanto al aspecto medioambiental, la otra piedra de toque de nuestro trabajo, la mayoría de ciudades españolas se encuentran catalogadas como deficientes, en aspectos como la eficiencia energética en edificios y servicios o en el control y reducción de las emisiones atmosféricas.”

Estos resultados son un reflejo de que aunque probablemente se estén llevando a cabo políticas para la mejora de la movilidad urbana, no están dotadas del suficiente carácter medioambiental, por lo que sería necesaria una revisión de las políticas de movilidad urbana aplicadas.

3.3. Otras actuaciones en movilidad urbana

Otro aspecto importante en cuanto a la movilidad urbana es el enfoque del Eco-driving, a través del cual se puede conseguir una importante reducción del consumo de combustible y de la emisión de gases a la atmósfera. Se establece un modelo matemático basado en la lógica borrosa que, a través del control de diferentes parámetros del vehículo, puede catalogar la actitud del conductor en eficiente o ineficiente, pudiendo mostrar en tiempo real dicha actitud para que sea corregida por el propio conductor (Villete et al, 2012). Las variables de entrada consideradas en dicho modelo son RPM, aceleración, pendiente del terreno y consumo de combustible.

Sobre la integración de los datos dentro de un Plan de Movilidad Urbana Sostenible, se encuentra el proyecto OPTICITIES que pretende armonizar los datos obtenidos sobre movilidad urbana, consiste en crear una plataforma en la que sean volcados, mediante el mismo formato, todos los datos pertenecientes a los diferentes ámbitos de la movilidad, incluyendo operadoras de transporte, congestión de tráfico, semaforización cercana, etc. OPTICITIES conlleva algunas categorías principales (Alfonso et al, 2016):

- Terreno e infraestructuras de datos fijos o de referencia.
- Objetos relacionados con el servicio de movilidad fija, con larga vida útil.
- Servicios de movilidad programada, tales como horarios.

- Datos y control de datos en tiempo real, con un periodo corto de ciclo de vida.

Este artículo se intentó aplicar en la Comunidad de Madrid con un éxito contenido, debido a la difícil integración entre los elementos existentes y los nuevos del proyecto OPTICITIES pero se considera un buen punto de partida, y emplaza a continuar la investigación por esa vía.

Resulta muy interesante el trabajo de Soria y Valenzuela (2015) que relaciona el aspecto ambiental y la movilidad de una forma práctica y novedosa, se pretende pasar de una actitud reactiva en lo que a la evaluación ambiental se refiere a una actitud proactiva. El método consiste en obtener la decisión ambiental en función de cuatro dimensiones:

- Rendimiento ambiental.
- Umbrales ambientales.
- Enfoque integrado.
- Herramientas de ayuda a la decisión/planificación.

Finalmente aplica dicha metodología a un caso práctico sobre un corredor de movilidad en el área metropolitana de Granada, enfrentando la alternativa de implantar o no un metro ligero. Como conclusión a esta aplicación, se establece un resultado coherente, pragmático y sobretodo útil para la toma de decisiones a través de una visión medioambiental poco conocida y del todo acertada.

4. Calidad del aire e interacción sobre la movilidad urbana. Aplicación a Cartagena

4.1. Análisis variables calidad del aire

A lo largo de este trabajo se han desgranado las variables que se consideran los factores críticos para determinar la Calidad del Aire en el emplazamiento deseado, a continuación ampliaremos la información de algunas de ellas.

En cuanto a las características concretas de la Calidad del Aire en la Región de Murcia, la contaminación por ozono troposférico es uno de los mayores problemas de contaminación, debido en primer término a la tendencia al incremento en verano de las temperaturas medias y de las situaciones

meteorológicas extremas y el ascenso global de las emisiones de precursores, en concreto la variación reciente de la relación dentro de los NO_x entre NO y NO₂ a favor de éste último. Esto se ve afectado por el factor desplazamiento de masas de aire contaminado, por el cual la brisa de mar arrastra hacia el interior los contaminantes precursores emitidos por las ciudades y el tráfico costero, activándose la formación de ozono mientras que por la noche la brisa de tierra devuelve el aire contaminado al mar que a la mañana siguiente vuelve a entrar por el litoral arrastrando más precursores y acumulando cada vez más ozono, estos ciclos pueden durar varios días.

El ozono tiende a descomponerse en las zonas en las que existe una alta concentración de NO. Esto explica que su presencia en el centro de las grandes ciudades suele ser más baja que en los cinturones metropolitanos y en las áreas rurales circundantes.

Con los resultados obtenidos de las estaciones de la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire en la Región de Murcia en el año 2017, se observa que todas las estaciones superan el máximo establecido ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{O}_3$) 25 días al año, excepto las de Mompeán y La Aljorra. Además el valor objetivo de la OMS se sitúa en $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Belmonte y Luengo, 2017).

En referencia a la contaminación producida por partículas PM₁₀, se ven agudizadas por la intrusión de polvo sahariano que afecta de manera episódica a la Región de Murcia aunque principalmente el origen es el tráfico rodado pesado, la industria petroquímica y la industria metalúrgica y de producción de fosfatos (Belmonte y Luengo, 2017).

En el marco legislativo se establece un valor límite diario de protección de la salud para las PM₁₀ de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que no puede superarse en más de 35 ocasiones por año (R.D. 102/2011, de 28 de enero).

Los datos en la región muestran que no existen más de 35 observaciones que superen este valor, aunque la estación de San Basilio ha superado en 34 ocasiones dicho valor sufriendo 3 episodios de contaminación. Uno de ellos en noviembre del año 2017, con máximo pico coincidiendo con el llamado “Black Friday” donde se produce un aumento de la movilidad en la ciudad y dos de

ellos en diciembre del año 2017 coincidiendo con las festividades del inicio de diciembre y navidad (Belmonte y Luengo, 2017).

La contaminación por micropartículas en suspensión de menos de 2,5 micras parece ser un mejor indicador de la contaminación urbana debido a que la mayoría de ellas poseen un origen antropogénico, ya que provienen en su mayoría de la emisión de vehículos diésel. En la Región solo se miden este tipo de partículas en la estación de Mompeán. En la cual no se superó el valor límite anual establecido en $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Belmonte y Luengo, 2017).

En cuanto al dióxido de azufre (SO_2) se produce en diferentes procesos de combustión, ya que los principales combustibles fósiles contienen ciertas cantidades de compuestos de azufre.

En el marco legislativo antes mencionado también se establece un valor límite diario de SO_2 de $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (R.D. 102/2011, de 28 de enero). En 2017, no se produjo ninguna observación que superará el valor límite diario en las estaciones de la red regional donde se mide este contaminante (Belmonte y Luengo, 2017).

El dióxido de nitrógeno (NO_2) se genera por la oxidación del óxido de nitrógeno (NO) emitido por el tráfico rodado. En 2016, un estudio relacionó la exposición a niveles altos de dióxido de nitrógeno y benceno durante el embarazo con un mayor riesgo de nacimiento prematuro (El Periódico, 2016). Los resultados demuestran que la exposición a NO_2 durante todo el embarazo se asocia con un mayor riesgo de nacimiento prematuro. El dióxido de nitrógeno tiene capacidad de promover reacciones inflamatorias en el pulmón.

La legislación estatal establece un valor límite horario de NO_2 de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el denominado nivel crítico de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en un año civil y un valor límite anual de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En el año 2017 no se produjo ninguna observación superior al valor límite horario dióxido de nitrógeno (Belmonte y Luengo, 2017).

Referente a la contaminación por monóxido de carbono (CO), se produce por las emisiones de los vehículos de gasolina o diésel y los procesos industriales que utilizan compuestos del carbono. El valor límite para la protección de la salud se ha establecido en $10 \text{mg}/\text{m}^3$ (máxima diaria de las medias móviles

octohorarias), que no se ha superado en ninguna ocasión en el año 2017. Aunque el medidor de monóxido de carbono solo se encuentra en las estaciones de San Basilio y Mompeán. (Belmonte y Luengo, 2017).

En este apartado se han detallado las variables que serían necesarias para llevar a cabo un estudio completo, pero debido a los medios con los que se cuenta, en este trabajo se va a obtener la Calidad del Aire de Cartagena en base a las variables **[Temperatura], [Humedad], [Monóxido de nitrógeno], [Dióxido de carbono], [Monóxido de carbono] y [Ozono]**.

4.2. Actuaciones institucionales

Superar los niveles legales, obliga a elaborar planes de actuación sobre aquellos contaminantes en cuestión, en el caso de la Región de Murcia el ozono y el dióxido de nitrógeno, así como mantener los niveles de partículas y garantizar la estabilidad del resto de contaminantes.

Para todo ello se publicó el “Plan de Mejora de la Calidad del Aire CARM 2016-2018” en el que se recogían una serie de medidas horizontales y sectoriales con los siguientes propósitos:

- Información de la Calidad del Aire al ciudadano, más accesible y transparente, fácil de comprender y disponible en tiempo real.
- Mayor formación en materia de Calidad del Aire, incluyendo esta materia en los distintos ciclos educativos, cursos y jornadas formativos a distintos sectores de población.
- Concienciación del ciudadano, ya que la actitud y determinados comportamientos pueden influir en un aumento o disminución de la contaminación
- Administración, nacional, autonómica y local, como organismos competentes en esta materia, por tanto obligados a realizar una adecuada gestión, pero también simplificando los procedimientos y aplicando medidas ambientales en su propio funcionamiento.
- Investigación de situaciones de contaminación frecuentes como la generación de ozono en las épocas de mayor insolación o la alta concentración de partículas en el aire. También es importante mejorar

los modelos de predicción de la contaminación con tiempo suficiente para adoptar medidas adecuadas.

- Fiscalidad con la creación o modificación de impuestos y tasas medioambientales, en función de diversos parámetros.

Lo cierto que este Plan estaba previsto para cubrir el periodo entre los años 2014 y 2018, pero debido al retraso de las administraciones se ha tenido que recortar el periodo de vigencia (Publicación en Borm, 12 Febrero de 2016). Mientras que la Comisión de Seguimiento del plan se constituyó en julio del año 2017, por lo que realmente ha habido poco tiempo para la aplicación de las diferentes medidas propuestas y su valoración.

Se trata de un Plan con medidas concretas y presupuestos asignados por lo que no debería existir problemas para la aplicación de las mismas. Ejemplos de ellos son los siguientes:

- Instalación de nueve equipos analizadores para benceno, tolueno, xileno, amoniaco, dióxido de azufre, dióxido de carbono, ozono y partículas PM_{2,5}.
- Realización de un estudio de metales pesados en el entorno de la Sierra Minera de La Unión, concretamente en el Llano del Beal, con un periodo de duración de un año.

Debido al retraso acaecido aún es pronto para valorar el impacto del Plan en la ciudad de Cartagena, será objeto de las distintas publicaciones de la Comisión de Seguimiento el valorar el grado de implantación de dichas medidas y su impacto.

4.3. Aplicación a Cartagena

Esta parte consiste en la adquisición de datos correspondientes a diferentes parámetros y contaminantes ambientales en el casco urbano de Cartagena y su área de influencia. Siguiendo las directrices de Ros-McDonnell et al. (2018) y teniendo en cuenta que este estudio se encuentra en el marco de la cátedra de Movilidad Sostenible con el Ayuntamiento de Cartagena, se ha dividido el área de estudio de Cartagena en dos anillos principales. El primero de ellos sería el anillo interior, que consta de 11 puntos de medida (verde). Este anillo recorre lo

- Anillo interior:

1. Calle del Carmen. Este punto es principalmente una parada de taxis, da comienzo la zona peatonal del casco urbano de Cartagena y tiene su mayor afluencia de tráfico a primera hora de la mañana y a mediodía.



Figura 6. Punto 1 anillo interior: Calle del Carmen

2. Calle Santa Florentina. Es el acceso al casco urbano desde el denominado parque de artillería, posee su mayor flujo de tráfico a primera hora de la mañana.

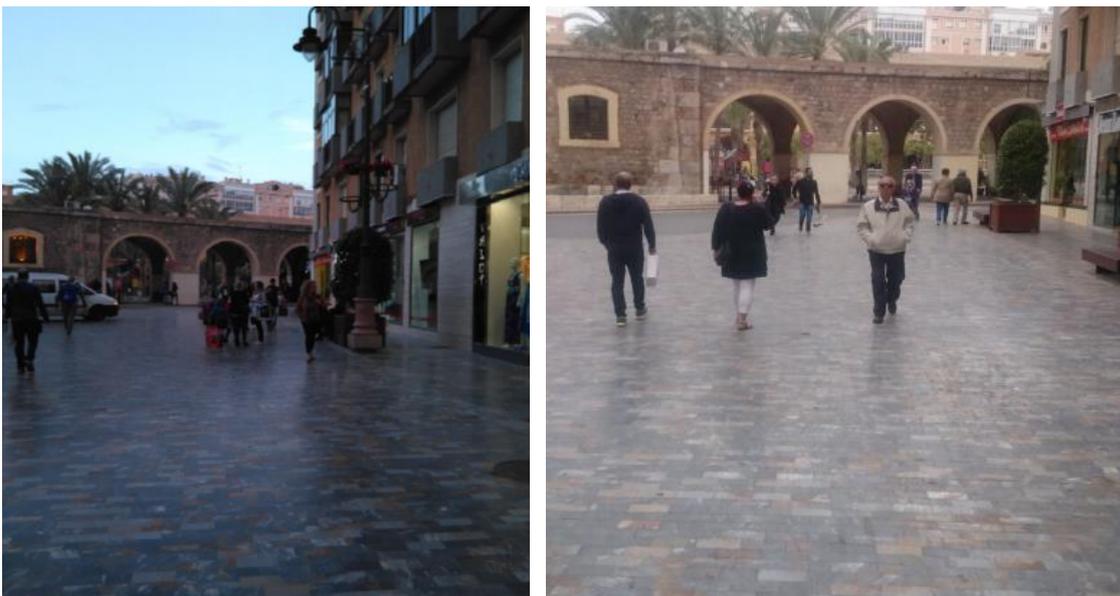


Figura 7. Punto 2 anillo interior: Calle Santa Florentina

3. Calle Serreta con Duque. Se trata de uno de los accesos a la Universidad Politécnica de Cartagena, posee un flujo constante acentuado a primera hora de la mañana, a mediodía y a última hora de la tarde.

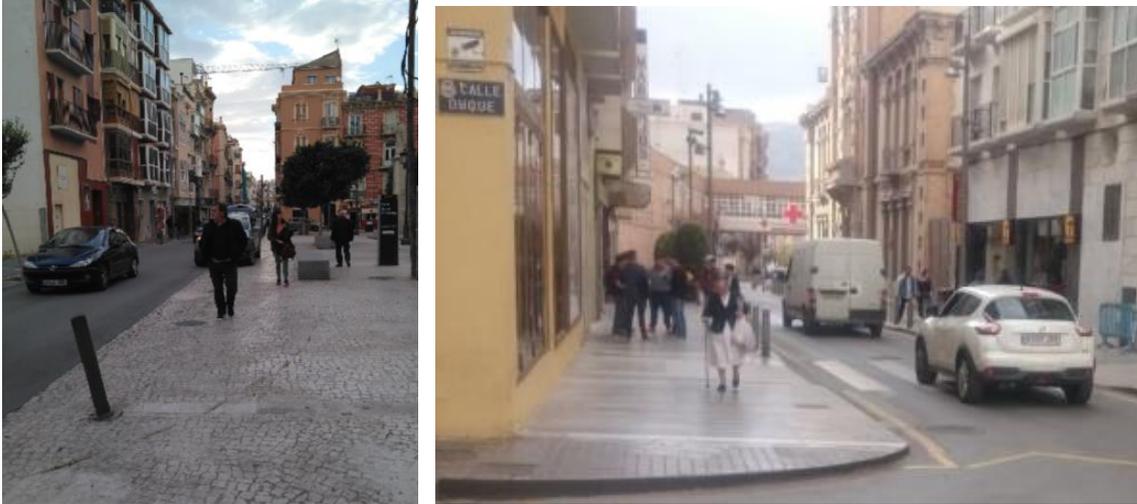


Figura 8. Punto 3 anillo interior: Calle Serreta con Duque

4. Calle General Ordóñez. Se trata de una calle peatonal con poco tránsito de vehículos más allá de los residentes que estacionan su vehículo en dicha calle.



Figura 9. Punto 4 anillo interior: Calle General Ordóñez

5. Plaza del Rey. Es una de las Plazas más famosas de Cartagena, tiene un tránsito bastante acentuado a primera hora de la mañana con el acceso de los trabajadores al Arsenal y a última hora de la tarde por la salida de los trabajadores que tienen el centro de trabajo en el casco urbano.

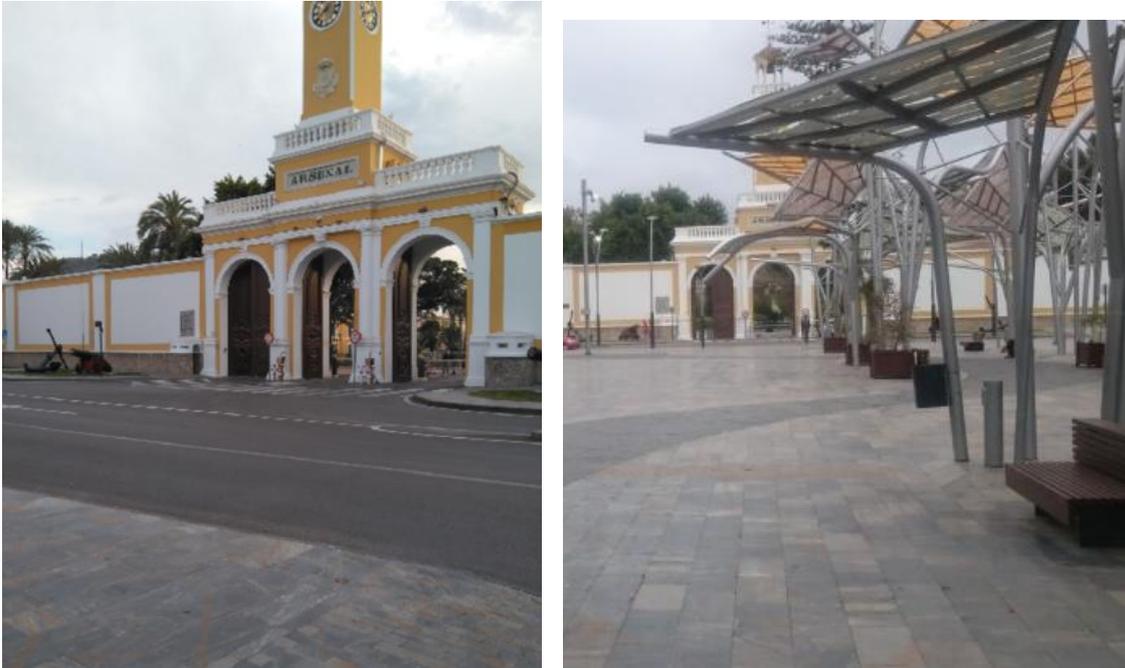


Figura 10. Punto 5 anillo interior: Plaza del Rey

6. Plaza Castellini. Otra de las plazas de acceso al centro de la ciudad, posee restricciones de tráfico a determinadas horas del día con pilotes automáticos.



Figura 11. Punto 6 anillo interior: Plaza Castellini

7. Calle Jabonerías. Advierte la presencia de diversos establecimientos de hostelería y un hotel, posee su máxima afluencia de tráfico a primera hora de la mañana con el reparto de los proveedores como vemos en la imagen.



Figura 12. Punto 7 anillo interior: Calle Jabonerías

8. Plaza San Sebastián. Se trata del centro neurálgico del casco urbano, generalmente es un punto de reunión y no conlleva tráfico rodado más allá de la empresa concesionaria de limpieza.



Figura 13. Punto 8 anillo interior: Plaza San Sebastián

9. Calle Balcones azules. Se trata de un lugar netamente peatonal donde el acceso del tráfico rodado es prácticamente imposible.

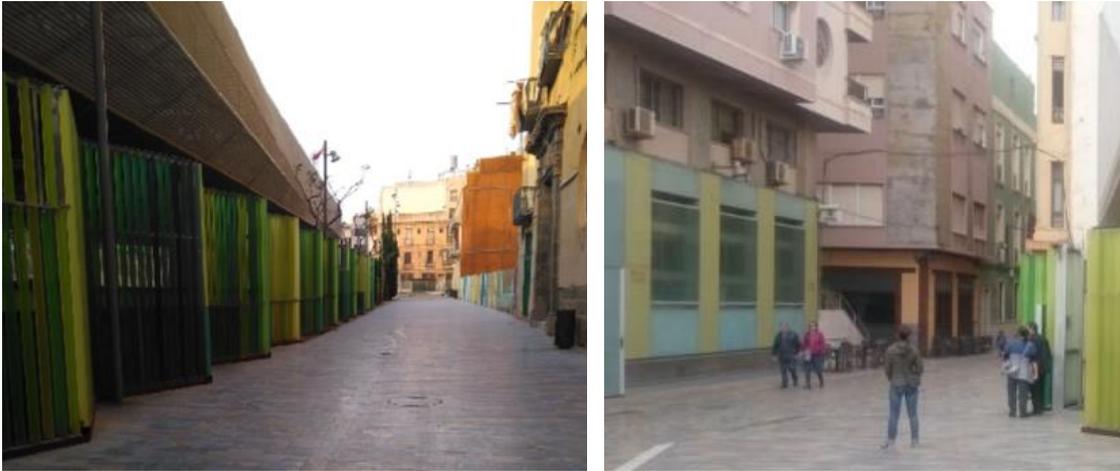


Figura 14. Punto 9 anillo interior: Calle Balcones Azules

10. Plaza San Francisco – esquina Correos. El tráfico rodado es muy limitado y durante unos periodos de tiempo muy escasos a lo largo del día.



Figura 15. Punto 10 anillo interior: Plaza San Francisco - Esquina Correos

11. Calle Conducto – Puertas de Murcia. Como podemos observar en la imagen, la mayor contribución en lo que se refiere a contaminación la realizan los servicios municipales de agua y de limpieza. El vehículo privado es prácticamente inexistente.

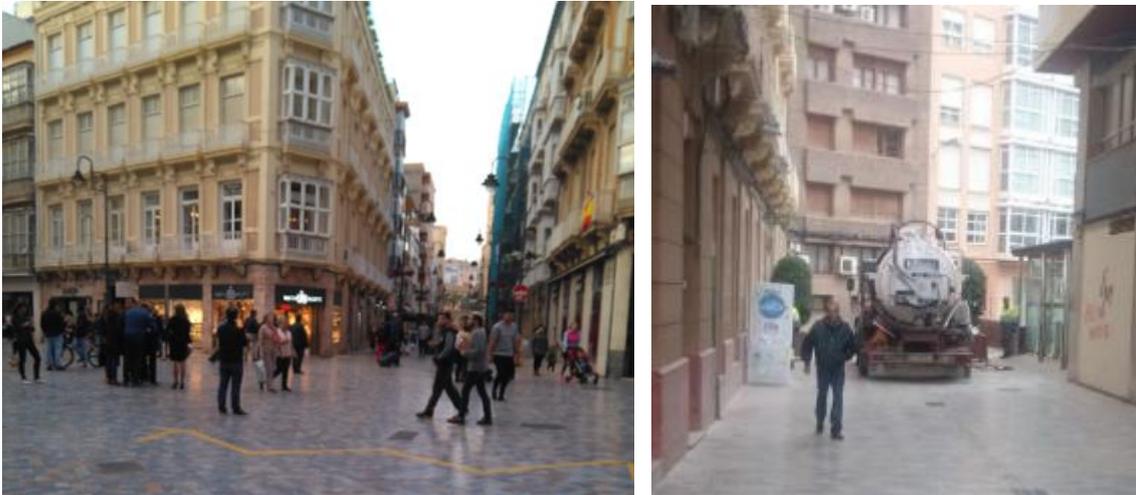


Figura 16. Punto 11 anillo interior: Calle Conducto - Puertas de Murcia

- Anillo exterior:

1. Calle Carlos III – García Lorca. Es una intersección próxima al casco urbano que se encuentra influenciada por el tráfico del Instituto Carlos III y Jiménez de la Espada, por lo que el mayor flujo de tráfico coincide con los periodos de entrada y salida de estos centros escolares.



Figura 17. Punto 1 anillo exterior: Calle Carlos III - García Lorca

2. Calle Ronda – Juan Fernández. Esta es una intersección que mantiene un flujo prácticamente constante a lo largo de todo el día.



Figura 18. Punto 2 anillo exterior: Calle Ronda - Juan Fernández

3. Calle Carlos III-Calle Ángel Bruna. Es uno de los puntos de acceso al casco urbano, posee un flujo más o menos constante, no suele tener tráfico denso a lo largo del día.



Figura 19. Punto 3 anillo exterior: Calle Carlos III - Calle Ángel Bruna

4. Calle San Diego – Jaime Bosch. Es un punto de acceso desde los pueblos colindantes tanto para la Universidad Politécnica de Cartagena como para el centro urbano. El tráfico se intensifica a primera hora de la mañana pero no es un factor determinante, ni se suelen producir retenciones.

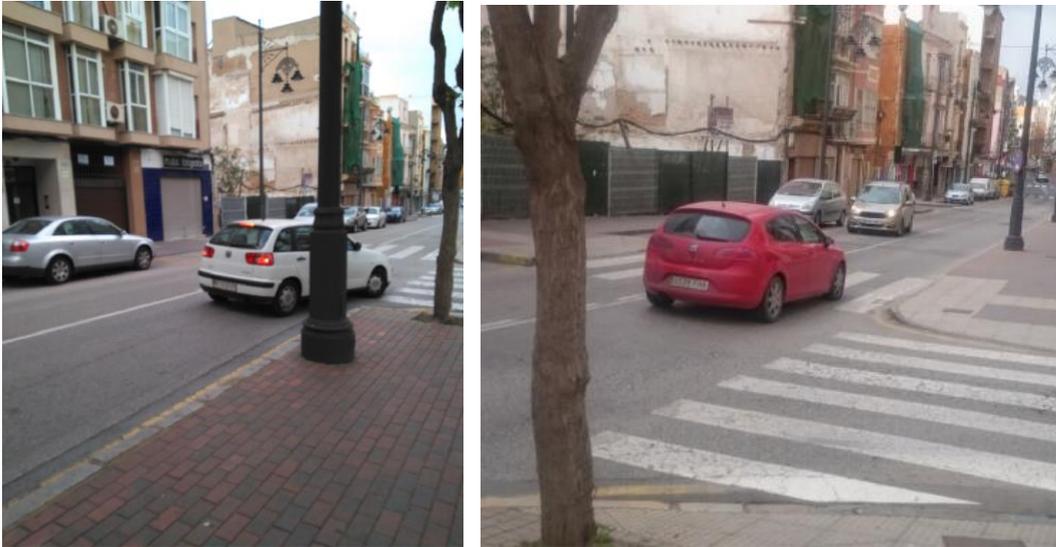


Figura 20. Punto 4 anillo exterior: Calle San Diego - Jaime Bosch

5. Calle Pez – Gisbert. Es el punto de salida desde la Universidad Politécnica de Cartagena hacia el puerto de Cartagena, el tráfico es más intenso durante la entrada de los estudiantes y a la salida de los mismos, debido al aparcamiento gratuito que existe próximo a esta vía.



Figura 21. Punto 5 anillo exterior: Calle Pez - Gisbert

6. Plaza Héroes de Cavite. Se trata de una de las plazas más famosas del municipio, generalmente el ciudadano camina a pie por sus dependencias, pero próximo a esta plaza existe una carretera que tiene un gran flujo de vehículos durante todo el día.



Figura 22. Punto 6 anillo exterior: Plaza Héroes de Cavite

7. Calle Real – Tolosa Latour. Se encuentra enmarcado en la vía que une el puerto de Cartagena con la plaza de España, el tráfico es sensiblemente superior con la entrada al trabajo de los miembros del Arsenal Militar, se suelen ocasionar atascos a las 8:00 a.m.



Figura 23. Punto 7 anillo exterior: Calle Real - Tolosa Latour

8. Calle Capitanes Ripoll – Carlos III. Se trata de una vía transversal que une el paseo Alfonso XIII (vía más importante de la ciudad) y el Puerto de Cartagena. Posee un tráfico intenso prácticamente constante durante todo el día.



Figura 24. Punto 8 anillo exterior: Calle Capitanes Ripoll - Carlos III

9. Calle Esparta – Dr. Pérez Espejo. Se trata de uno de los puntos con más tráfico, a primera hora de la mañana coincide la entrada al Centro Escolar Maristas “Sagrada Familia” y con la de los trabajadores al Hospital Santa María del Rosell. A primera hora de la mañana existen numerosos coches en doble fila y leves atascos.



Figura 25. Punto 9 anillo exterior: Calle Esparta - Dr. Pérez Espejo

10. Ronda Ciudad de la Unión – Ingeniero de la Cierva. Vía con leve flujo de vehículos bastante alejada del centro de la ciudad. En este punto se encuentra la Universidad Nacional de Educación a Distancia.



Figura 26. Punto 10 anillo exterior: Ronda Ciudad de la Unión - Ingeniero de la Cierva

11. Calle Juan de la Cosa – Dr. Pérez Espejo. Zona con tráfico relativamente constante acentuado por el acceso a las instalaciones deportivas presentes en los alrededores y el Colegio Maristas “Sagrada Familia”.



Figura 27. Punto 11 anillo exterior: Calle Juan de la Cosa - Dr. Pérez Espejo

12. Calle Juan Fernández – Jiménez de la Espada. Es una de las calles de la zona puramente residencial de Cartagena con un tráfico prácticamente constante a lo largo de todo el día.



Figura 28. Punto 12 anillo exterior: Calle Juan Fernández - Jiménez de la Espada

13. Calle Príncipe de Asturias – Pintor Balaca. Se encuentra en el mismo caso del punto anterior.

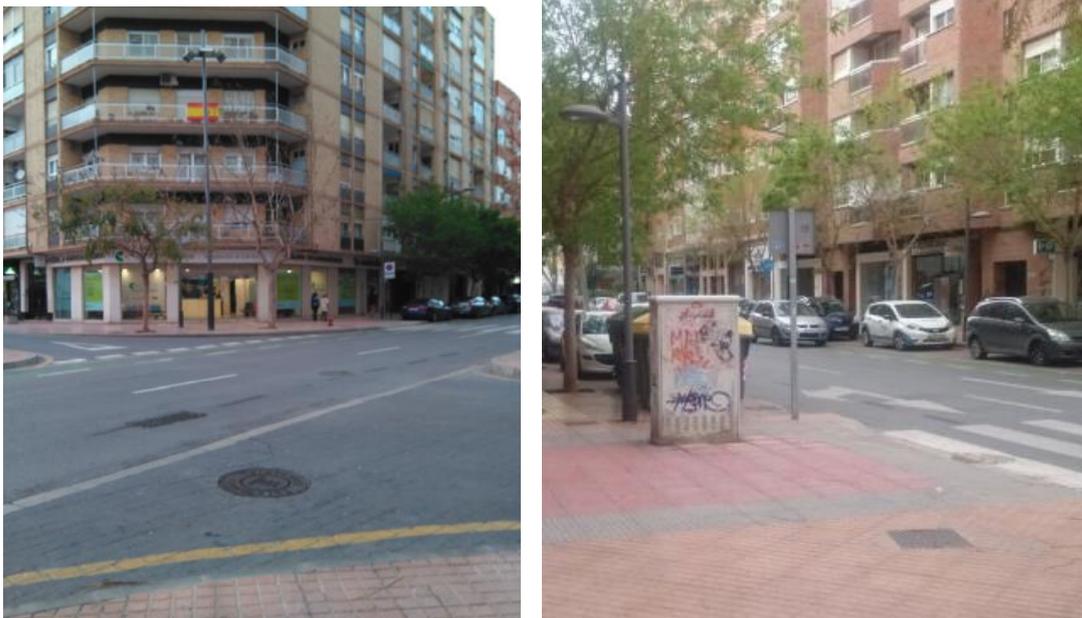


Figura 29. Punto 13 anillo exterior: Calle Príncipe de Asturias - Pintor Balaca

14. Calle Santiago Ramón y Cajal – Jiménez de la Espada. Se encuentra en la misma zona que los dos puntos anteriores.



Figura 30. Punto 14 anillo exterior: Calle Santiago Ramón y Cajal - Jiménez de la Espada

15. Calle Menéndez y Pelayo – Plaza España. Se trata de uno de los centros neurálgicos de Cartagena, el tráfico es muy intenso, incluso con retenciones, sobre todo a primera hora de la mañana, durante el día el tráfico sigue siendo un factor importante.



Figura 31. Punto 15 anillo exterior: Calle Menéndez y Pelayo - Plaza España

16. Calle Jabonerías – Tolosa Latour. Se trata de un punto con poco tráfico, es una de las calles que conecta la Plaza de España con la Calle Real siguiendo un camino alternativo que generalmente no es muy utilizado.



Figura 32. Punto 16 anillo exterior: Calle Jabonerías - Tolosa Latour

17. Calle Salitre – Canales. Es una calle con aparcamiento regulado pero con poca intensidad de tráfico durante todo el día.

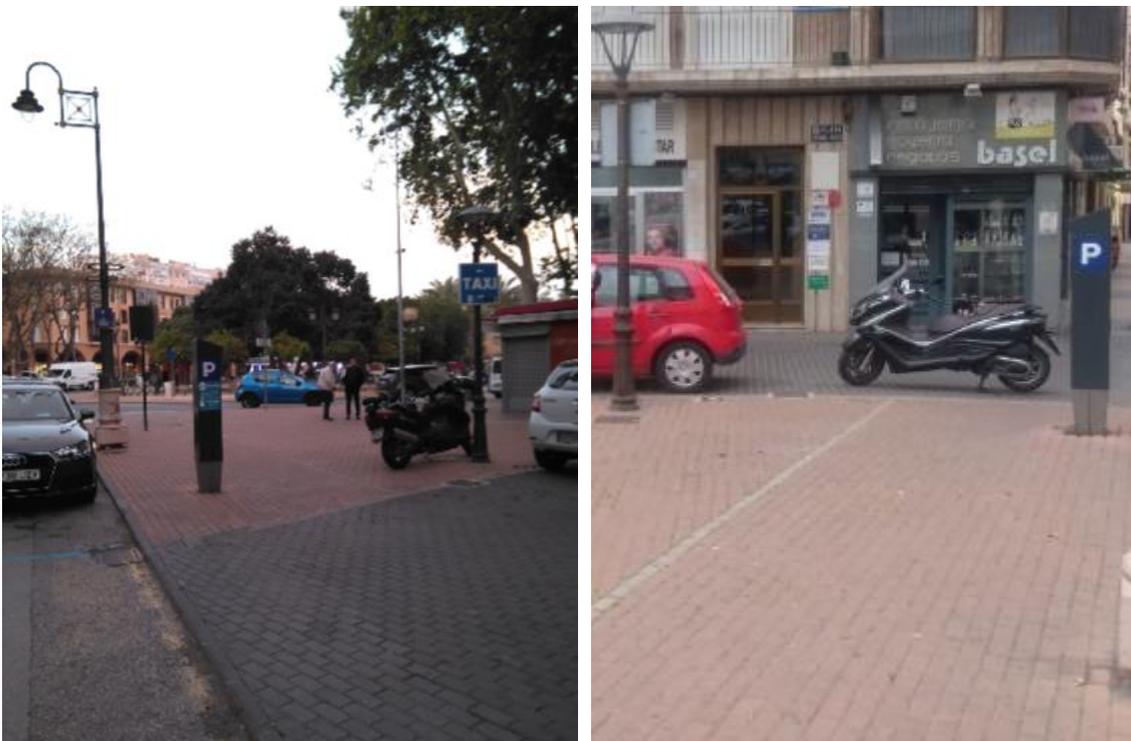


Figura 33. Punto 17 anillo exterior: Calle Salitre - Canales

Como ya se ha comentado en el apartado 4.1. de la memoria se han observado las variables **CO₂, CO, T^a, HR y O₃** con equipos autónomos en cada uno de los puntos y además se ha observado la el valor de PM₁₀ en la estación de medición de la Calidad del Aire de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia más cercana, que está situada en Mompeán, que aunque no es un valor tan fidedigno e ilustrativo como los tomados en cada uno de los puntos sirve para hacerse una idea de la situación de este contaminante en la ciudad. El hecho de no poder medir PM₁₀ en todos los puntos se debe a la imposibilidad de obtener un equipo para la correcta medición de este contaminante, ya que la empresa BIOSAFE S.L. no disponía del mismo, al tratarse de un contaminante para Calidad del Aire exterior principalmente.

Los equipos utilizados para las mediciones de las diferentes variables son los siguientes:

Para **CO, CO₂, T^a y HR**: Testo 440 con para IAQ modelo **0560 4401** con sonda para IAQ modelo **0632 1552** y sonda de CO mediante Bluetooth **0632 1271**.

Para O₃: Monitor Portátil de Ozono Marca Aeroqual Modelo S-200 con sensor de rango **0-0,15** ppm.

Para NO: Detector múltiple de gases **MX6** de Industrial Scientific.

Las mediciones se han llevado a cabo en el periodo comprendido entre el 1 de Abril y el 30 de Abril, ambos inclusive, con las siguientes consignas:

- Toma de datos a primera hora de la mañana (de 7:30 a 9:30) o a última hora de la tarde (de 18:30 a 20:30) coincidiendo con los movimientos propios del trabajo.
- De lunes a viernes, y sábado por la mañana do forma ocasional.
- El equipo medidor se coloca a la altura de la nariz para todas las mediciones, simulando la respiración humana.

Los resultados completos, incluyendo la fecha y la hora de los mismos se pueden observar en el Anexo I, aquí se muestran la media de los valores para cada uno de los días medidos, en mg/m³, excepto el O₃ que se mide en µg/m³.

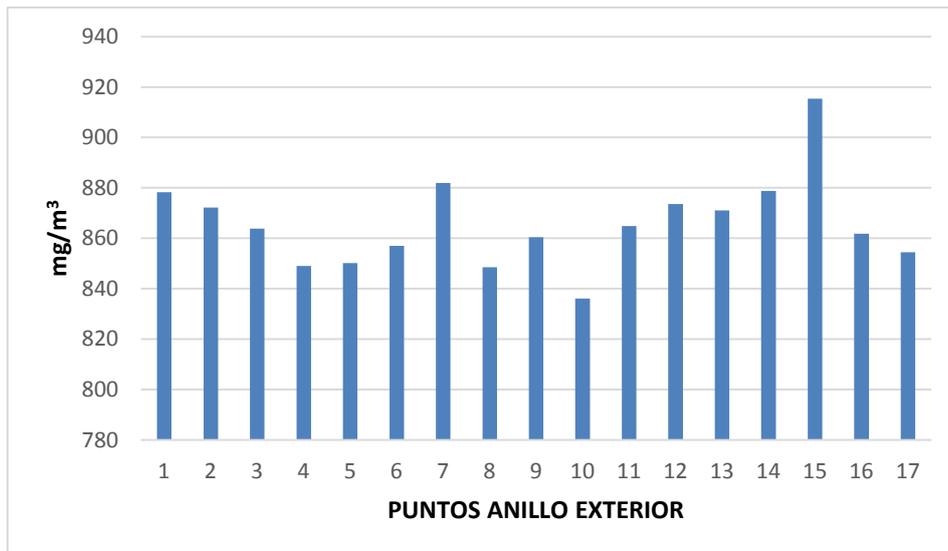


Figura 34. Media CO₂ en Anillo Exterior (mg/m³)

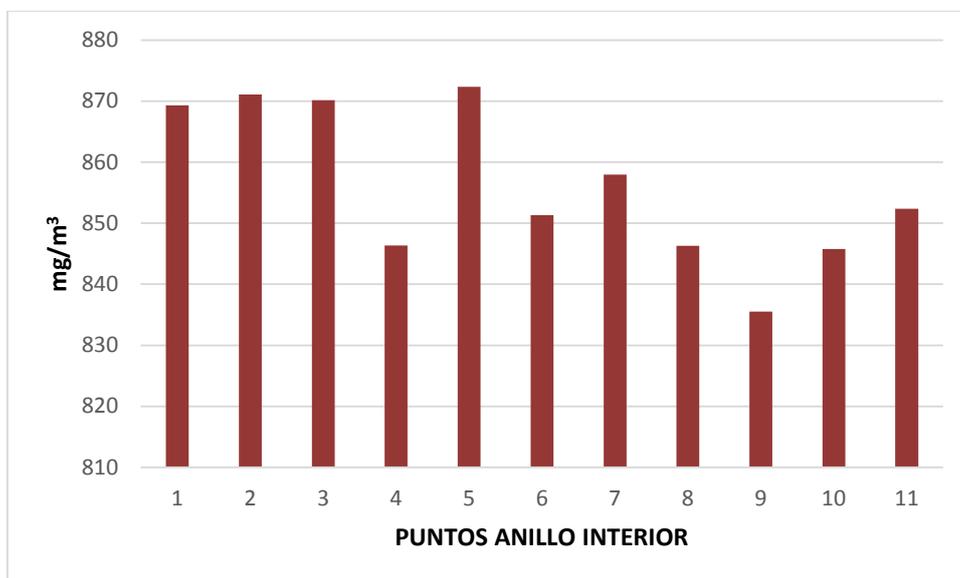


Figura 35. Media CO₂ en Anillo Interior (mg/m³)

En las figuras 34 y 35 se observa como el CO₂ se mantiene prácticamente constante en todos los puntos medidos, de hecho, no existe una diferencia palpable entre los puntos del anillo exterior e interior. Sí se percibe como en los puntos exteriores 7 y 15, calle Real y Plaza de España, respectivamente el valor del CO₂ es superior al resto de puntos, esto es debido a la existencia de un mayor flujo de tráfico en esta zona. No existe un valor límite para este contaminante por lo que se encuentra dentro de los parámetros considerados óptimos para todos los puntos, en su valor medio.

Los niveles de CO₂ atmosféricos se encuentran en máximos históricos año tras año, hace unos años se consideraba normal un valor de 400 ppm mientras que en este trabajo los resultados arrojados se encuentran alrededor de 480 ppm, lo que indica la magnitud de esta evolución prácticamente exponencial (Keeling, 2001)

El CO₂ no es tratado como un contaminante en sí, pero su contribución al efecto invernadero es muy significativa, contribuye al aumento de temperatura, y una polarización del clima esto desembocaría en un cambio de hábitat y los cambios de hábitat siempre van de la mano de numerosas enfermedades.

Por otro lado se considera que a partir de 800 ppm el CO₂ empieza a provocar problemas de olores, dolores de cabeza, somnolencia y falta de concentración, por lo que el aumento de la concentración exterior provoca que en el interior se consigan grandes concentraciones en menor tiempo (Berenguer et Bernal, 2000).

Estas concentraciones exteriores tan altas hacen necesario que se controle, en lugares donde haya aglomeración de personas, la concentración de CO₂ y la ventilación para vigilar que no se alcancen altas concentraciones y repercuta en la salud de los individuos.

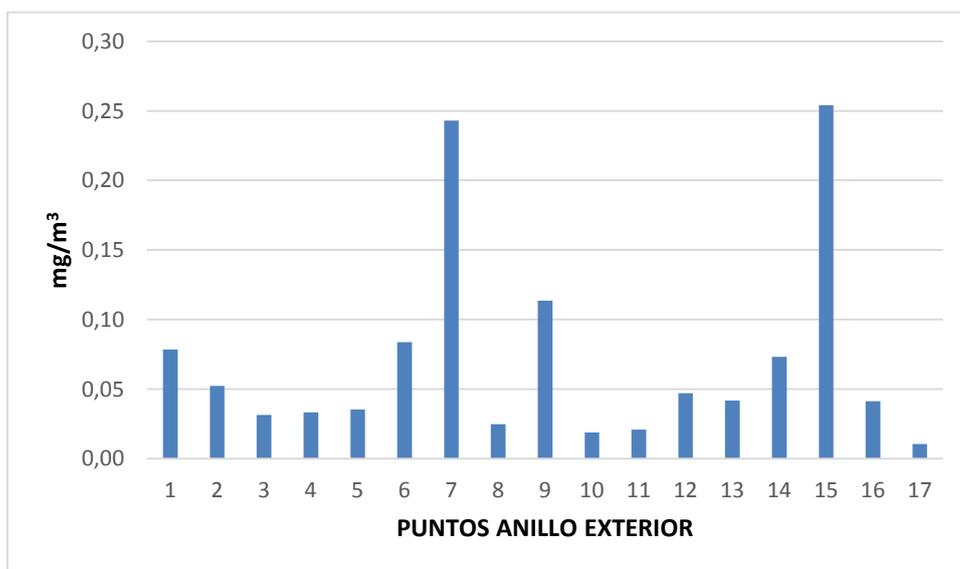


Figura 36. Media CO en Anillo Exterior (mg/m³)

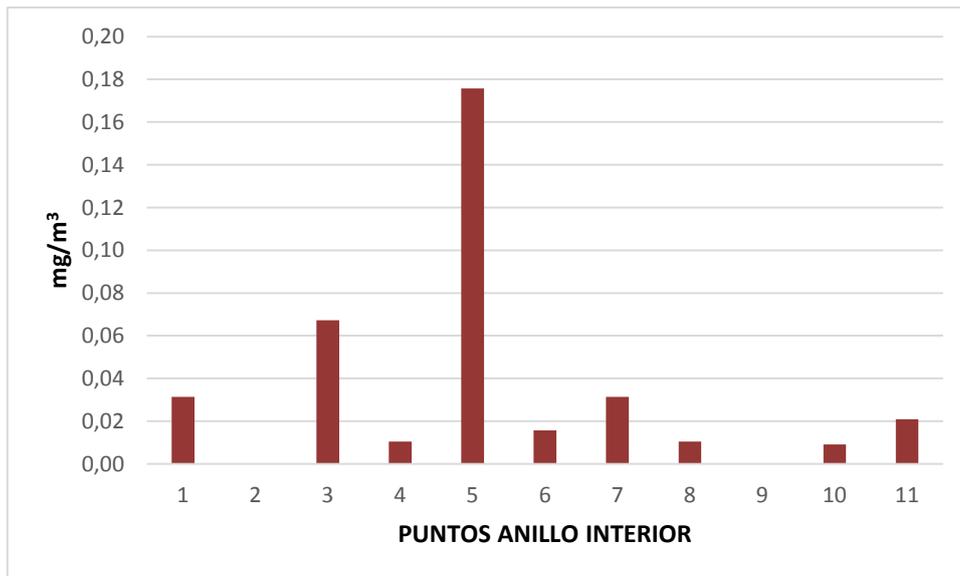


Figura 37. Media CO en Anillo Interior (mg/m³)

En lo referente al monóxido de carbono la respuesta es diferente, al ser un contaminante muy específico solamente advierten una presencia importante del mismo los puntos 7 y 15 del anillo exterior (figura 36) y del anillo interior el punto 5 (figura 37), que también mostraban altos valores de CO₂. Ningún punto supera en su valor límite medio el valor de 10 mg/m³ considerado como el valor límite ambiental. Existe una relación directa entre los valores de CO₂ y CO, ya que ambos tienen como fuente principal de emisión la combustión de combustibles fósiles en los vehículos.

La concentración de CO es inversamente proporcional a la eficiencia de los motores, ya que este gas proviene de combustiones incompletas (Giuliano, 1975). En las mediciones se ha comprobado que los vehículos de limpieza y las motocicletas provocan un aumento considerable de la concentración de este gas, siendo este incremento mayor que el de un automóvil.

Con respecto a la salud, una concentración alta de CO disminuye la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre provocando disfunciones cardíacas, daños en el sistema nervioso, dolor de cabeza, mareo y fatiga. Estos síntomas se pueden dar tanto en los seres humanos como en los animales (MITECO, 2018).

A nivel climático el CO magnifica el efecto invernadero, aunque este gas no contribuye al calentamiento global por sí mismo, al transcurrir unos 3 meses en

la atmósfera se oxida produciendo CO_2 y a su vez se genera O_3 , siendo ambos gases de efecto invernadero (MITECO, 2018).

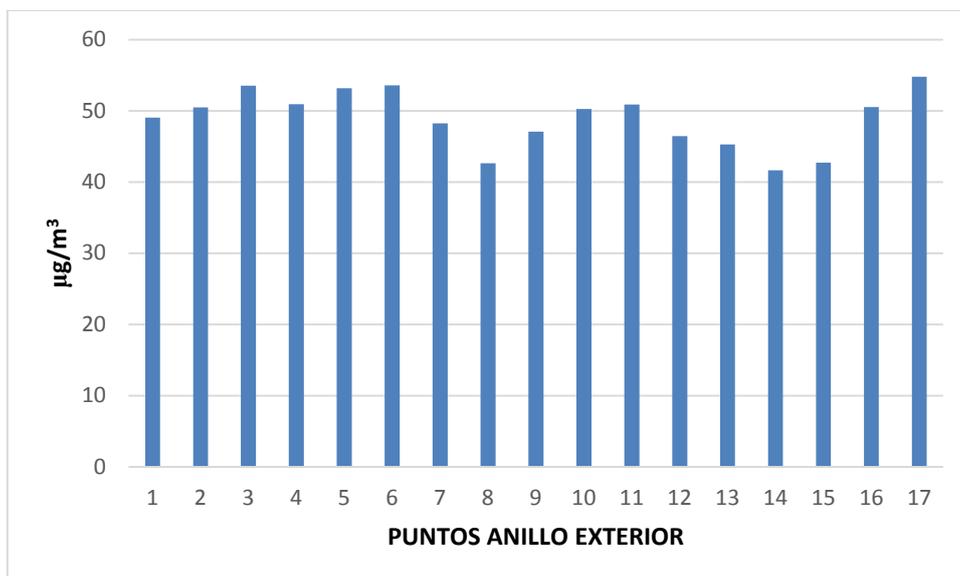


Figura 38. Media O_3 en Anillo Exterior ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

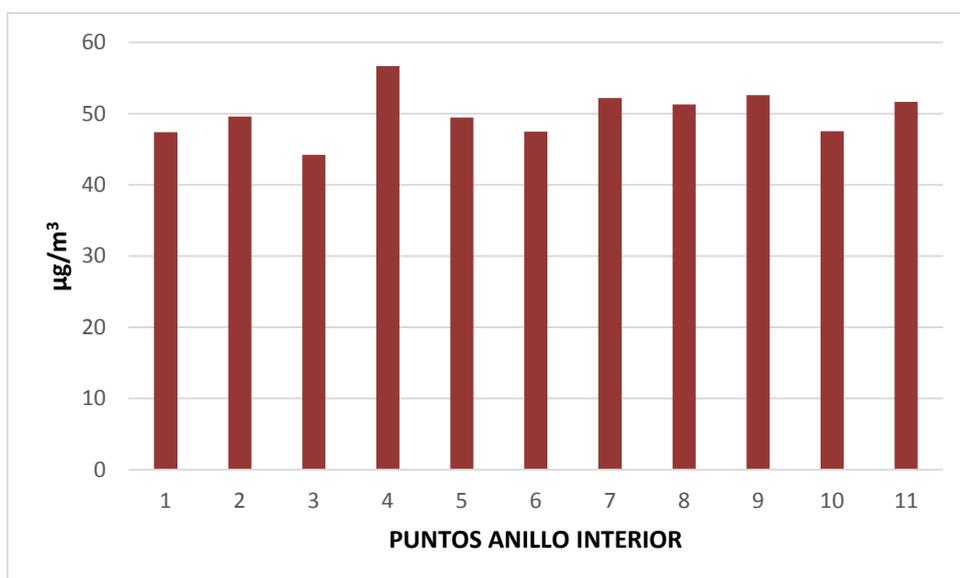


Figura 39. Media O_3 en Anillo Interior ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Por otro lado, se observa cómo los valores de ozono se encuentran bastante próximos entre sí tanto en el anillo exterior como en el interior (Figura 38 y 39), es un dato perfectamente plausible debido a que el ozono troposférico es un contaminante secundario, ya que no se emite directamente a la atmósfera, sino que es formado por la acción de la luz solar sobre otros contaminantes como

pueden ser los compuestos orgánicos volátiles no metánicos, monóxido de carbono y sobre todo óxidos de nitrógeno (MITECO, 2018).

Aunque el ozono tiene un efecto positivo si se encuentra en la estratosfera, a cotas inferiores (troposfera) puede provocar graves problemas respiratorios, tales como, irritación, inflamación, insuficiencias respiratorias o asma (MITECO, 2018).

El impacto del ozono sobre la vegetación es muy significativo provocando síntomas visibles en las hojas, reducción de la producción y/o calidad de la cosecha, y un aumento de la sensibilidad frente a agentes patógenos. Este gas también provoca una disminución de la biodiversidad (Bermejo et al, 2009).

Tal y como se ha citado anteriormente el ozono es un gas de efecto invernadero, por lo que contribuye al calentamiento global.

En las siguientes figuras, se observa la comparación de las medias entre los valores tomados en horario de mañana y horario de tarde:

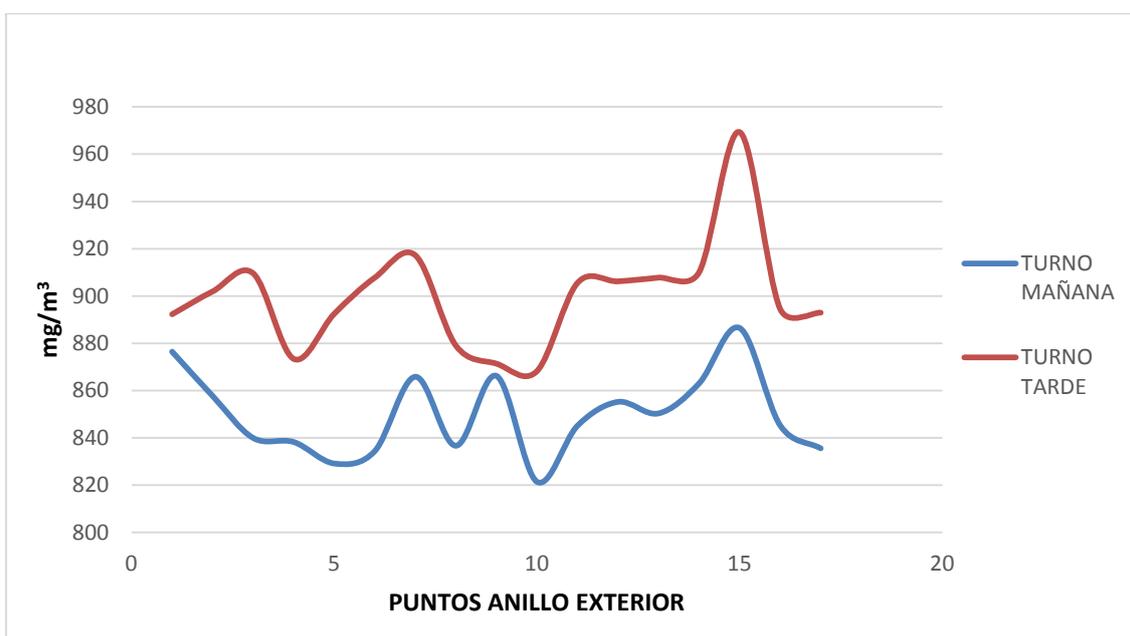


Figura 40. Media CO₂ en Anillo Exterior según turno mañana/tarde (mg/m³)

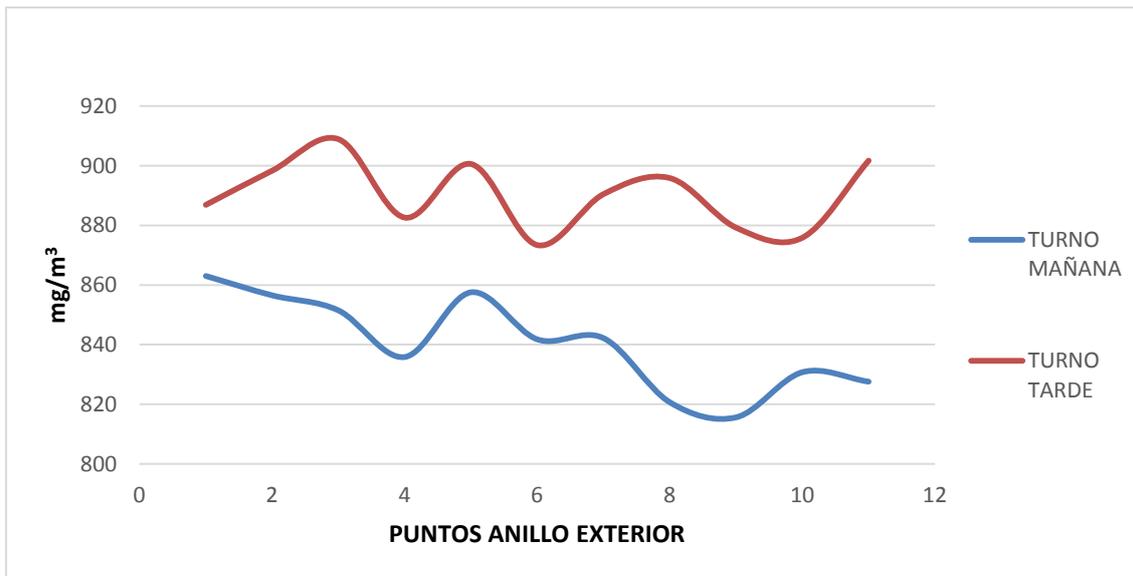


Figura 41. Media CO₂ en Anillo Interior según turno mañana/tarde (mg/m³)

En las figuras 40 y 41 se puede observar como el momento del día afecta de forma importante en el valor de CO₂ medido, ya que tanto para el anillo exterior como para el interior por la tarde se observa un valor aproximadamente un 6 % superior al valor tomado por las mañanas.

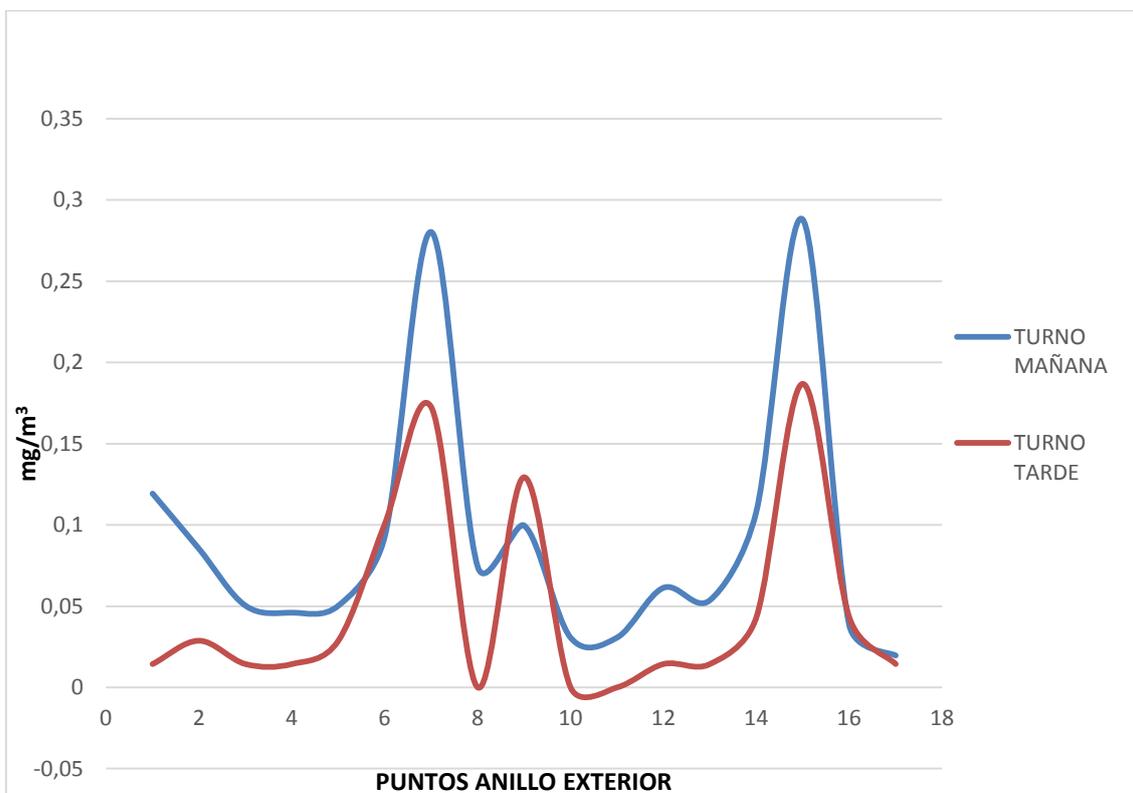


Figura 42. Media CO en Anillo Exterior según turno mañana/tarde (mg/m³)

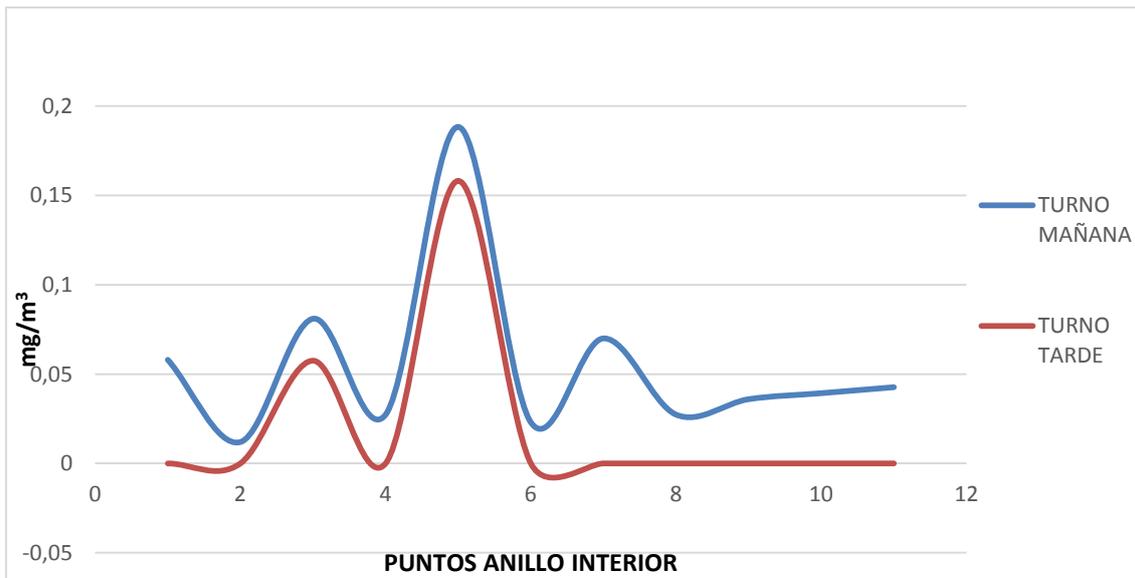


Figura 43. Media CO en Anillo Interior según turno mañana/tarde (mg/m³)

En las figuras 42 y 43, vemos cómo responde el monóxido de carbono según el momento del día en el que se toma, observando como para este caso las medidas permanecen prácticamente constantes a lo largo del día.

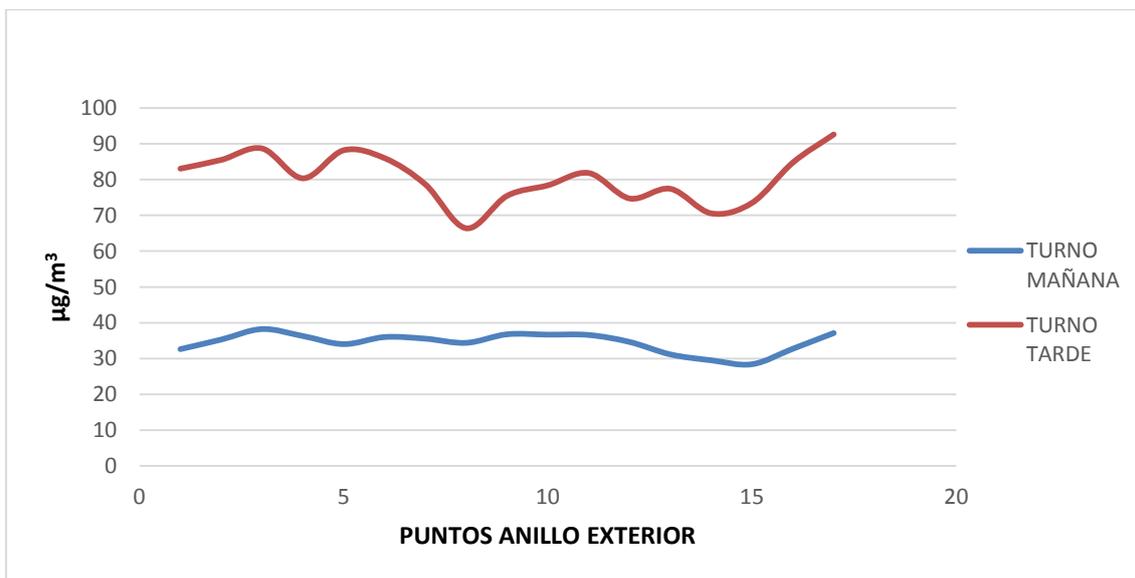


Figura 44. Media O₃ en Anillo Exterior según turno mañana/tarde (µg/m³)

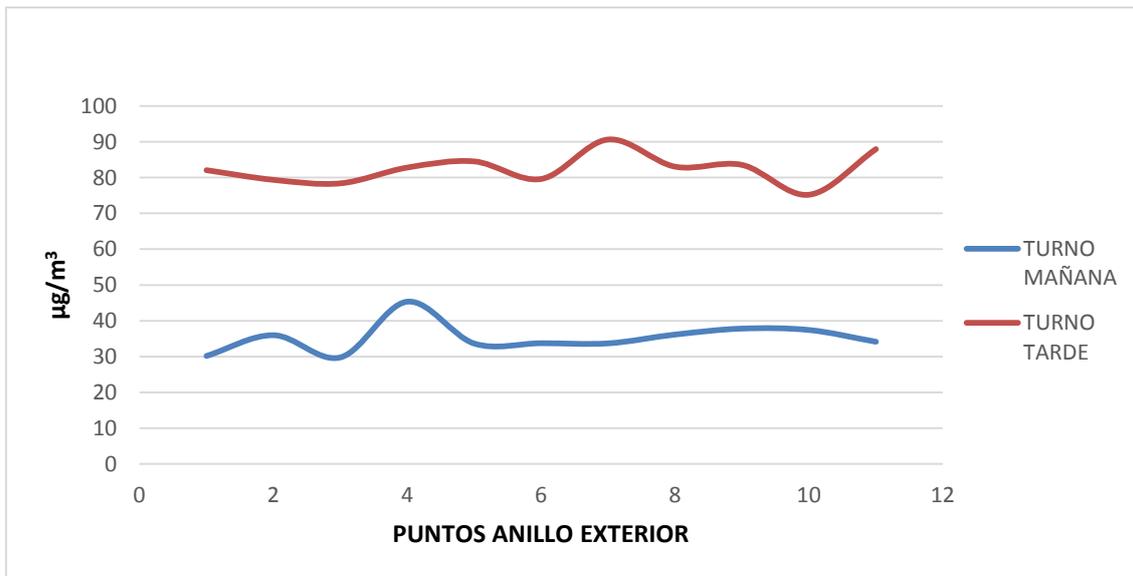


Figura 45. Media O₃ en Anillo Interior según turno mañana/tarde (µg/m³)

En las figuras 44 y 45 se observa como el ozono responde de forma parecida al dióxido de carbono pero de forma más brusca, ya que por la tarde los valores son un 250% superior al valor medido por la mañana.

Esta diferencia de comportamiento entre el CO₂, el O₃ y el CO es debido al tipo de contaminación y su posibilidad de acumulación. El CO₂ y el O₃ son contaminantes que se emiten en unas cantidades altas durante todo el día desde distintos puntos (en el caso del ozono no se trata de emisión si no de transformación a partir de NO_x) lo que provoca su acumulación y el fenómeno de que por la tarde el valor sea generalmente más alto que por la mañana. El caso del CO es opuesto, al emitirse en unas cantidades muy inferiores que al resto de contaminantes estudiados, la dispersión en la atmósfera es muy rápida por lo que la única forma de encontrar este contaminante es durante la emisión de los mismos (durante los atascos, emisión de los equipos de limpieza, etc.), pudiendo suceder a cualquier hora del día.

En la siguiente figura se muestran los valores máximos para cada uno de los puntos a lo largo de cualquier medida, bien por la mañana o bien por la tarde.

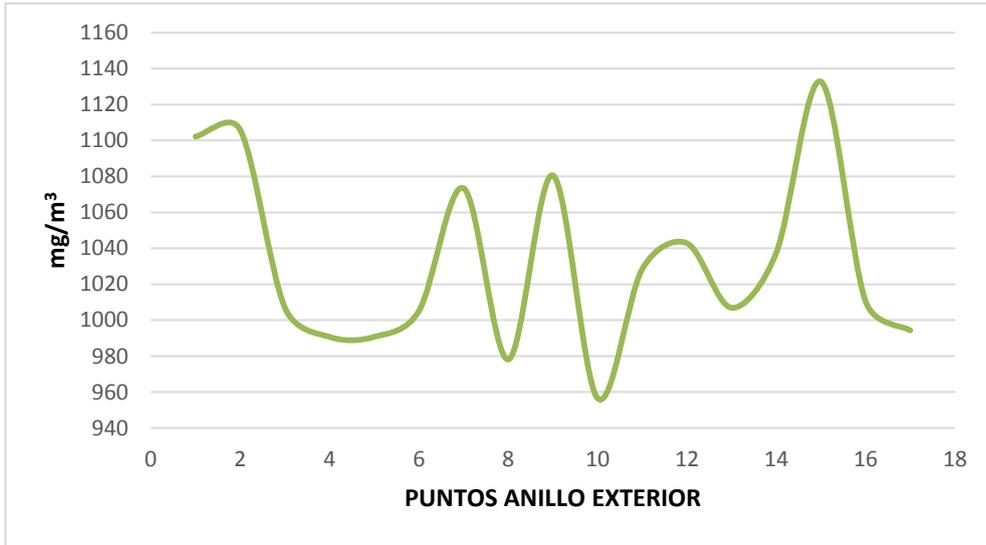


Figura 46. Máximo CO₂ en Anillo Exterior (mg/m³)

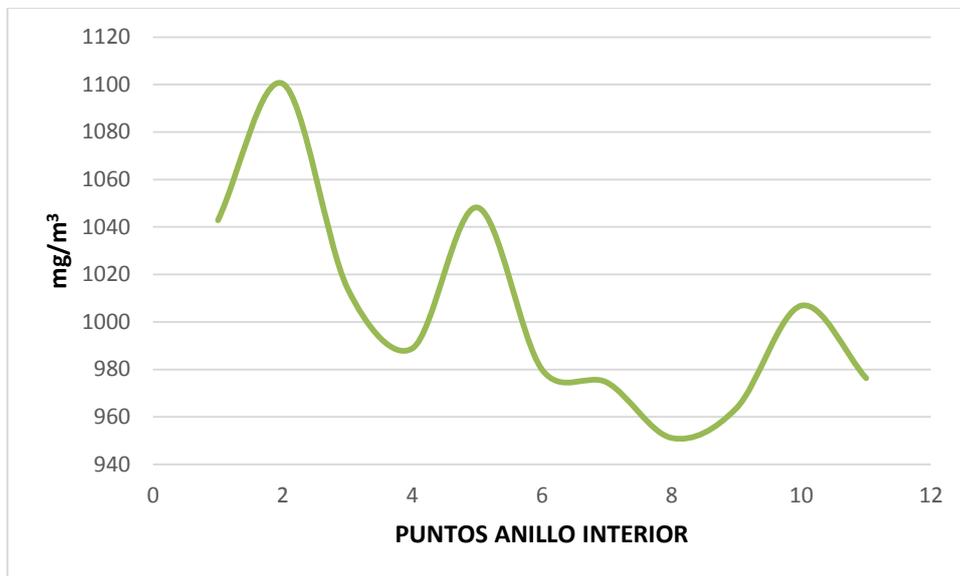


Figura 47. Máximo CO₂ en Anillo Interior (mg/m³)

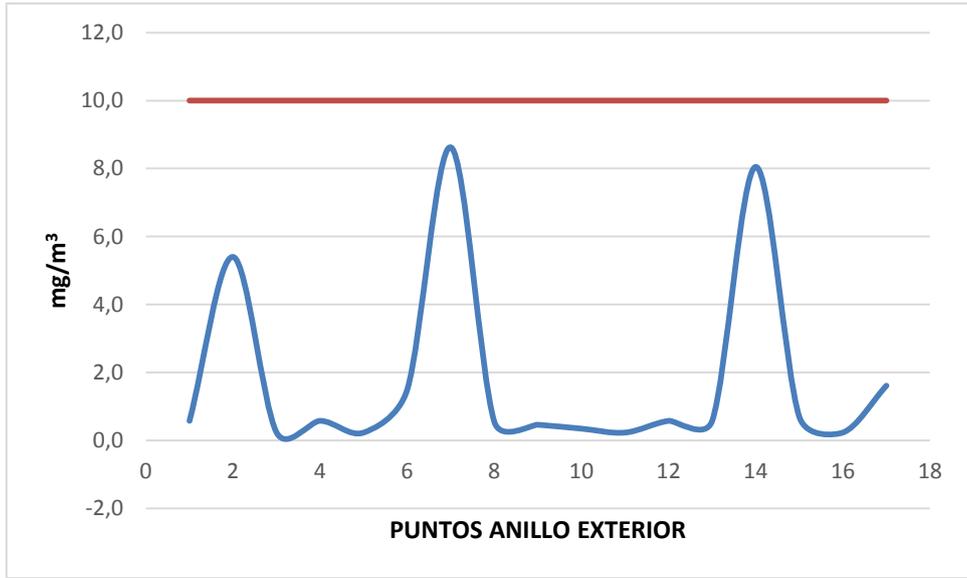


Figura 48. Máximo CO en Anillo Exterior (mg/m³)

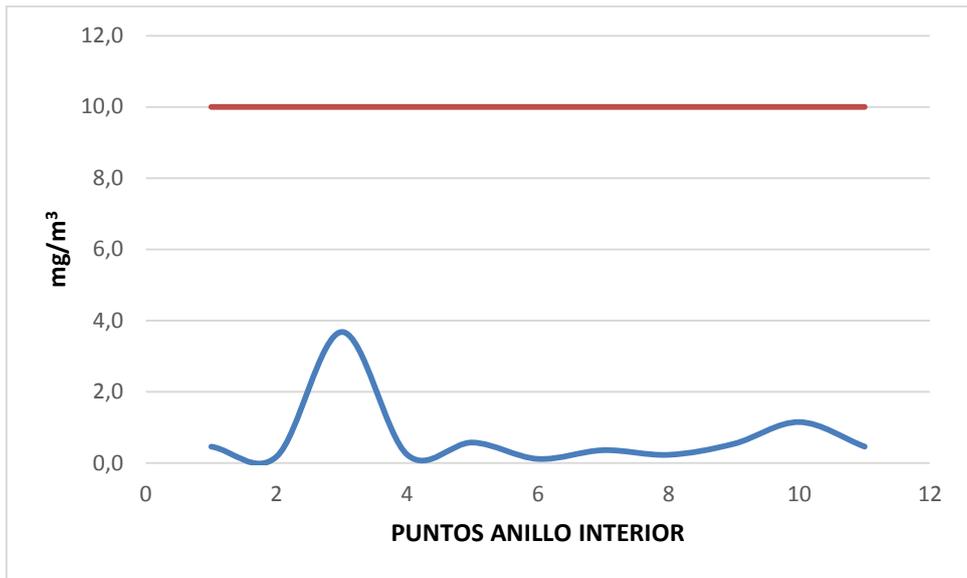


Figura 49. Máximo CO en Anillo Interior (mg/m³)

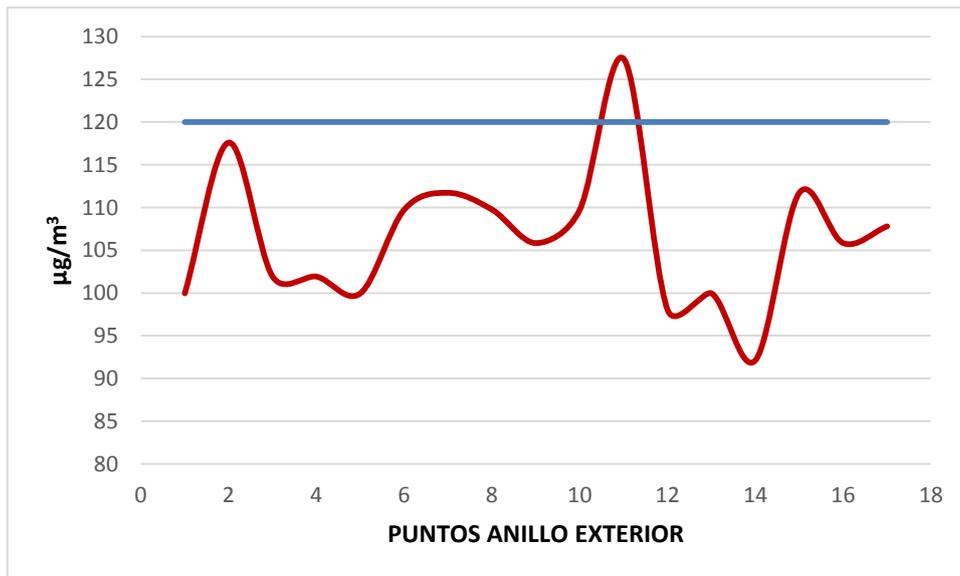


Figura 50. Máximo O₃ en Anillo Exterior (µg/m³)

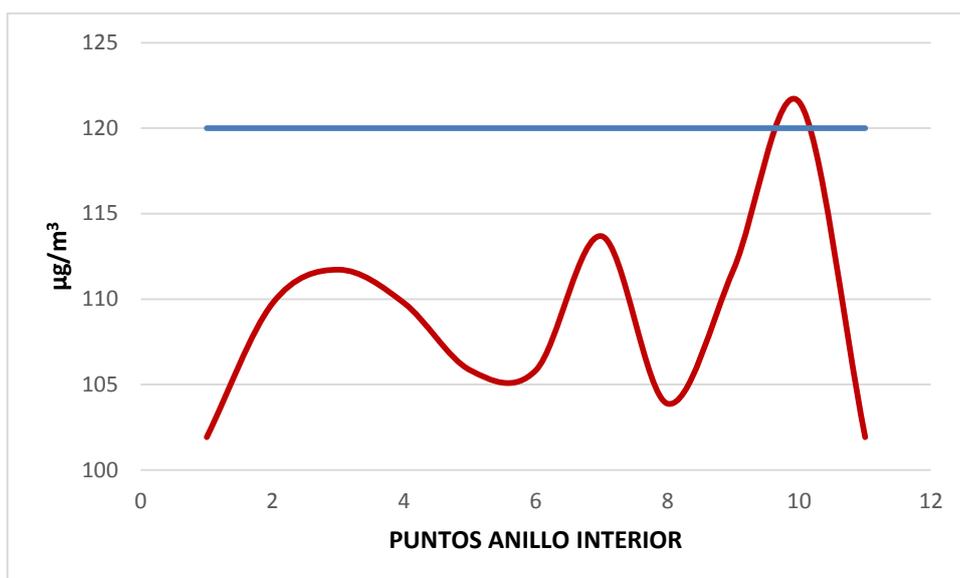


Figura 51. Máximo O₃ en Anillo Interior (µg/m³)

En las figuras anteriores se observa cómo no se supera en ningún caso el valor guía de 10 mg/m³ para el monóxido de carbono (Figura 48 y 49). En el caso del dióxido de carbono (Figura 46 y 47), al no disponer de un límite legal proporcionado no se puede alegar la superación de dicho límite, aunque sí podemos reseñar los altos valores máximos obtenidos debido a que éstos se corresponden con valores superiores a 500 ppm lo cual es una concentración demasiado alta para la contaminación exterior, que suele estar situada en 400 ppm.

Según las diversas normas de Calidad del Aire Interior, la calidad exigida con respecto al CO₂ es dependiente de la diferencia exterior-interior, por lo tanto si la concentración en el exterior es alta, el valor permitido en el interior aumenta y con ello los prejuicios que provoca en la salud un aumento del CO₂.

Con respecto al ozono, solo en los puntos 11 exterior y 10 interior, se ha superado el valor máximo de 120 µg/m³ que obligaría al aviso a la población según el Real Decreto 102/2011; pero la gran mayoría de puntos del anillo exterior (Figura 50) y todos los del anillo interior (Figura 51) se encuentran por encima de los 100 µg/m³ que establece la OMS como valor máximo admisible, pero sin superar los 120 µg/m³ que establece el Real Decreto 102/2011. Por lo tanto, en lo que respecta al ozono, se considera el estado actual, una situación mejorable.

Para el caso del PM₁₀, al no disponer del equipo adecuado y dada la importancia de este contaminante partimos de los valores diarios que nos proporciona la herramienta Sinqlair, tomados en la estación más cercana al núcleo urbano, situada en Mompeán. Que ha arrojado los siguientes datos:

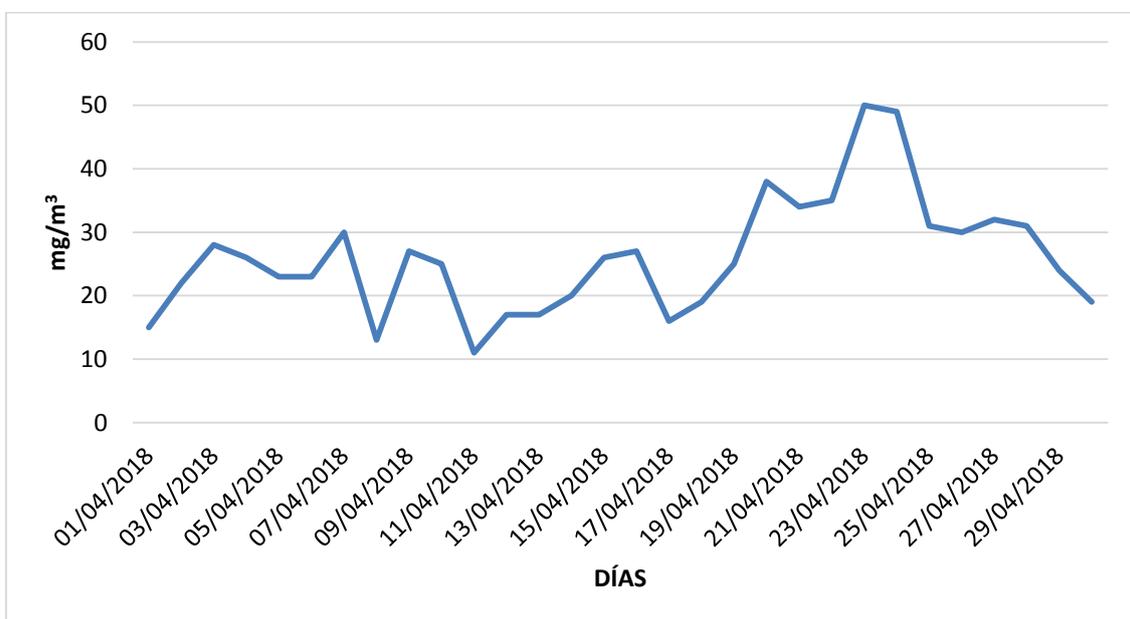


Figura 52. Media diaria Mompeán PM₁₀ (mg/m³)

En los cuales se observa como en la media diaria no se supera el valor límite proporcionado por el Real Decreto 102/2011 de 50 mg/m³ aunque sí que se supera dicho valor en un total de 26 horas durante este periodo de 30 días.

Motivado principalmente por el episodio de intrusión de polvo subsahariano que se produjo en nuestra ciudad de los días 19 a 28 de abril, ya que durante esas superaciones no ocurrió ninguna otra situación que provoque un aumento considerable de contaminación por PM₁₀.

4.4. Proyección Geo Espacial y obtención de curvas de calidad

En cuanto a la proyección geo espacial, ya se ha comentado la fuente para la selección de puntos para la medición de Calidad del Aire, en base a los parámetros de movilidad urbana estudiados en Ros-Mcdonnell et al. (2018), mientras que para la obtención de las curvas de Calidad, se ha utilizado un plano de la ciudad proporcionado gentilmente por el Ayuntamiento de la ciudad y se han realizado las curvas de Calidad para los valores máximos de cada uno de los contaminantes en cada uno de los puntos y para los valores promedio de los mismos.

Para la representación se ha utilizado el modelo de colores definido en Centro de Control de Vigilancia de la Calidad del Aire (2012) utilizando los colores verde, amarillo, rojo y marrón en función del valor del parámetro, de menos a mayor valor de contaminante respectivamente.

Los rangos para cada uno de los niveles de contaminación son los que se muestran en la tabla:

Tabla 6. Rangos niveles contaminación

Nivel de Calidad del aire	Color	Parámetro (mg/m ³)			
		Rango CO ₂	Rango CO	Rango O ₃	Rango PM ₁₀
Buena		0-1000	0-5	0-90	0-50
Admisible		1000-2000	5-10	90-180	50-90
Mala		2000--3000	10-15	180-240	90-150
Muy Mala		> 3000	>15	>240	>150

Las curvas de calidad para cada uno de los contaminantes en sus valores medios y máximos tanto para el anillo interior como exterior (Figuras 53 a 64), se presentan a continuación:

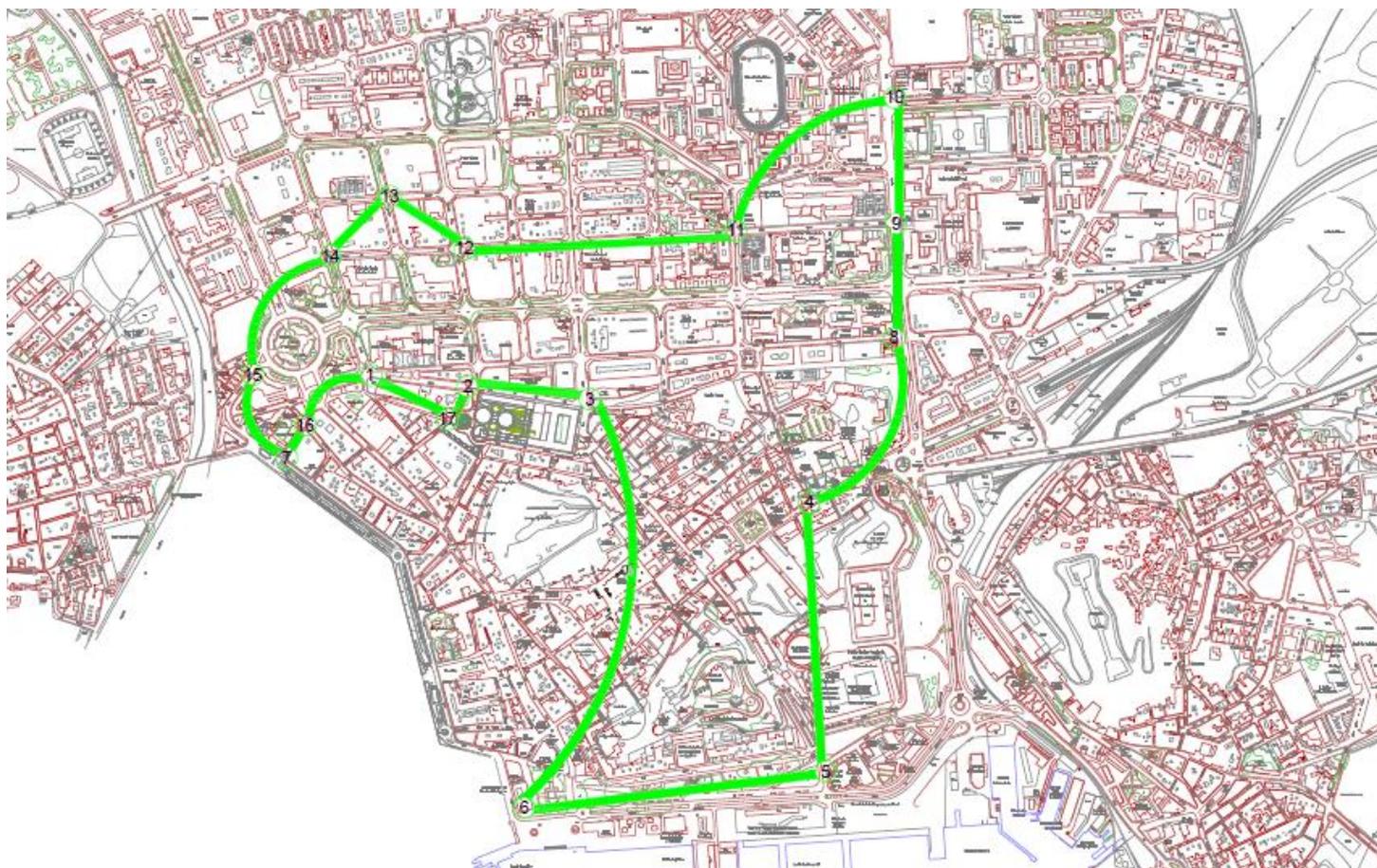


Figura 53. Curva de Calidad del Aire para valor medio de CO₂ en Anillo Exterior



Figura 54. Curva de Calidad del Aire para valor medio de CO₂ en Anillo Interior

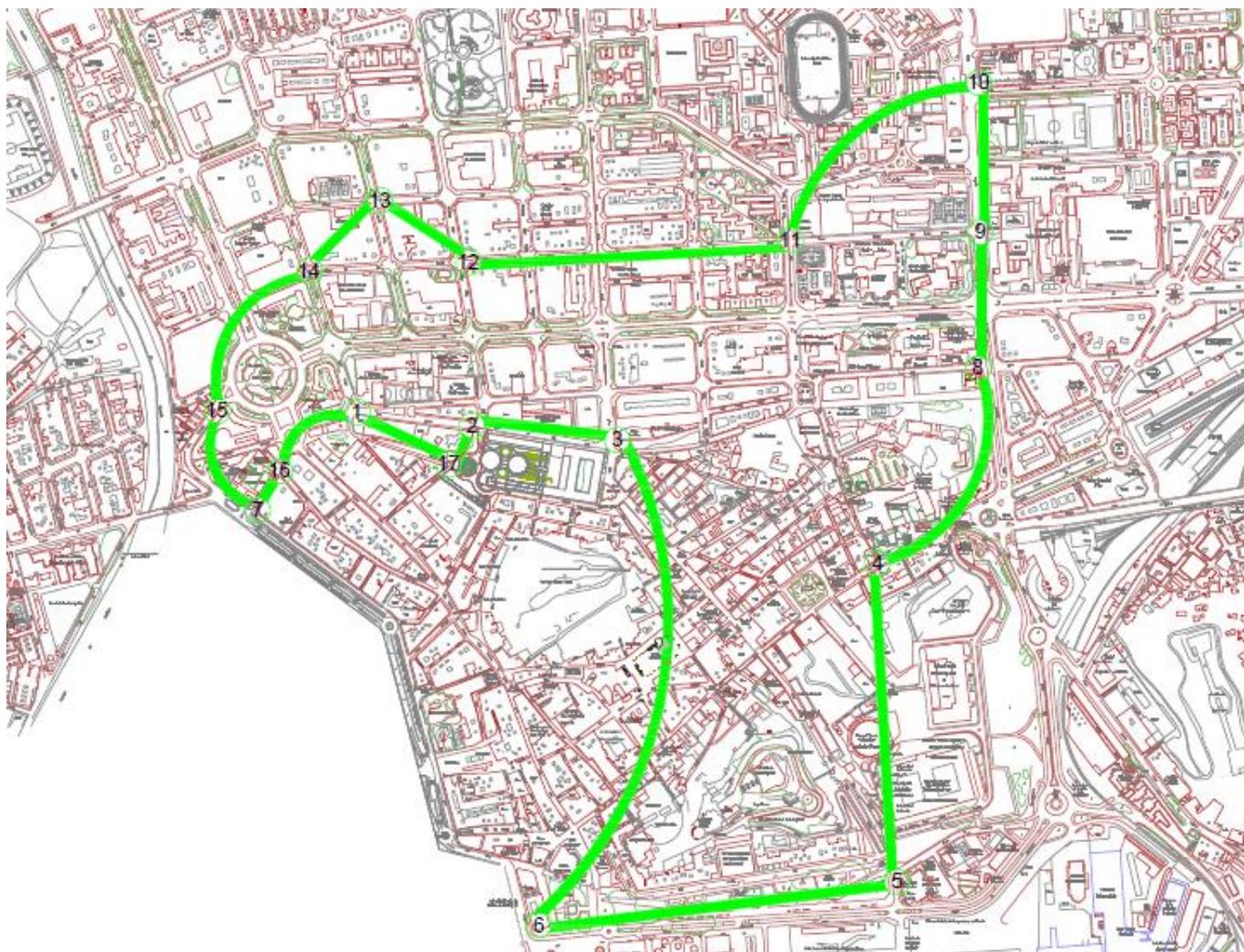


Figura 55. Curva de Calidad del Aire para valor medio de CO en Anillo Exterior

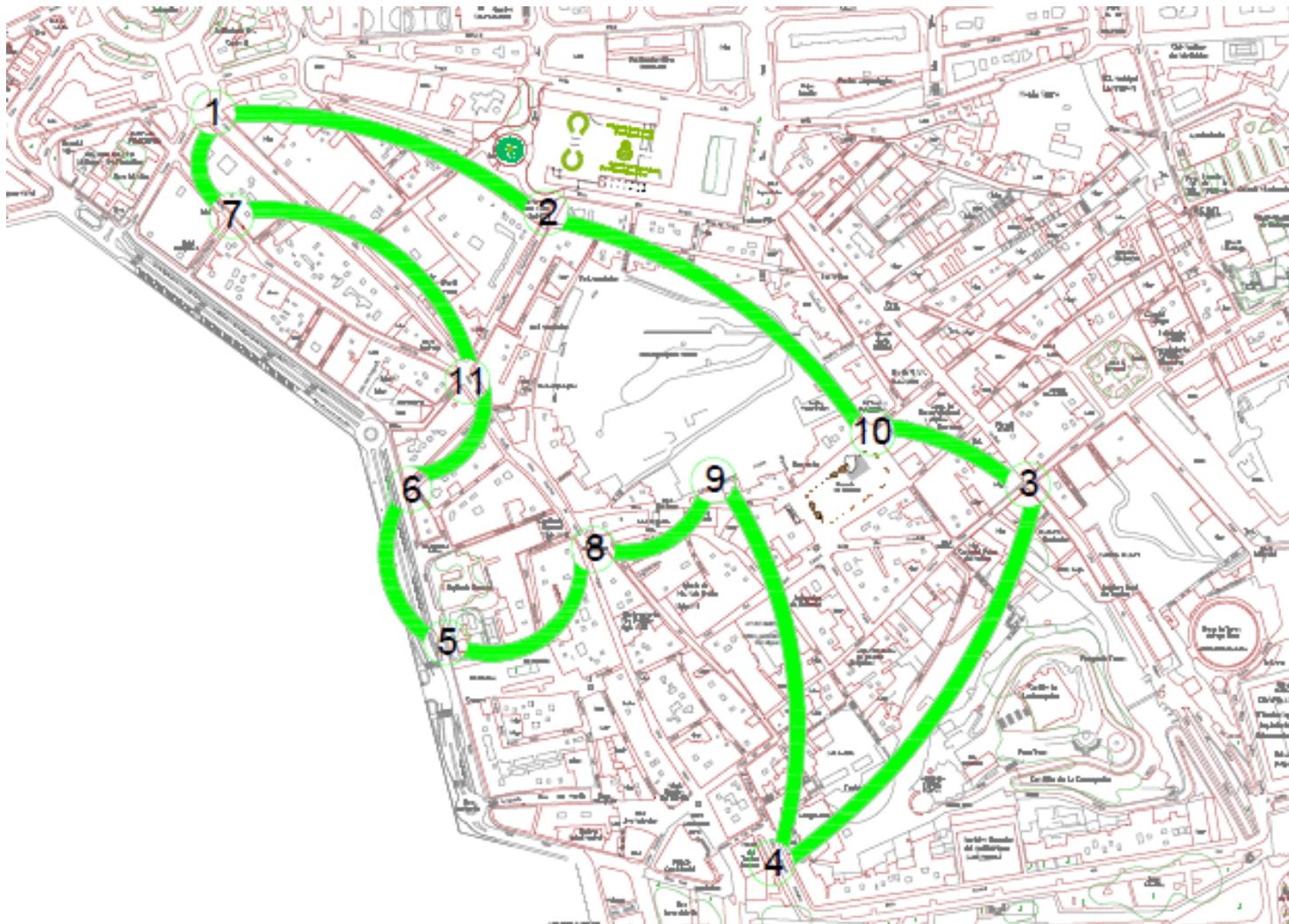


Figura 56. Curva de Calidad del Aire para valor máximo de CO en Anillo Interior

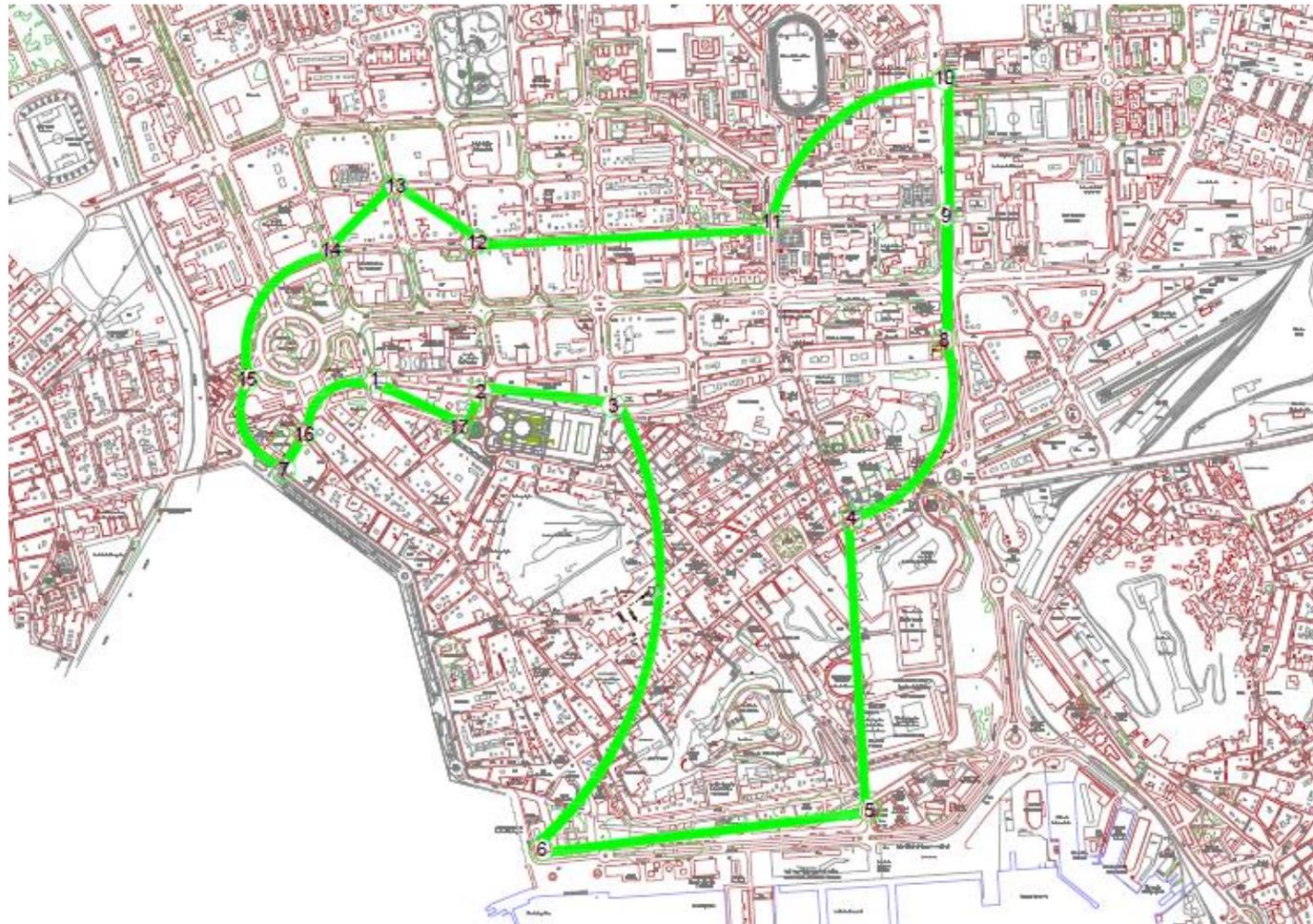


Figura 57. Curva de Calidad del Aire para valor medio de O_3 en Anillo Exterior

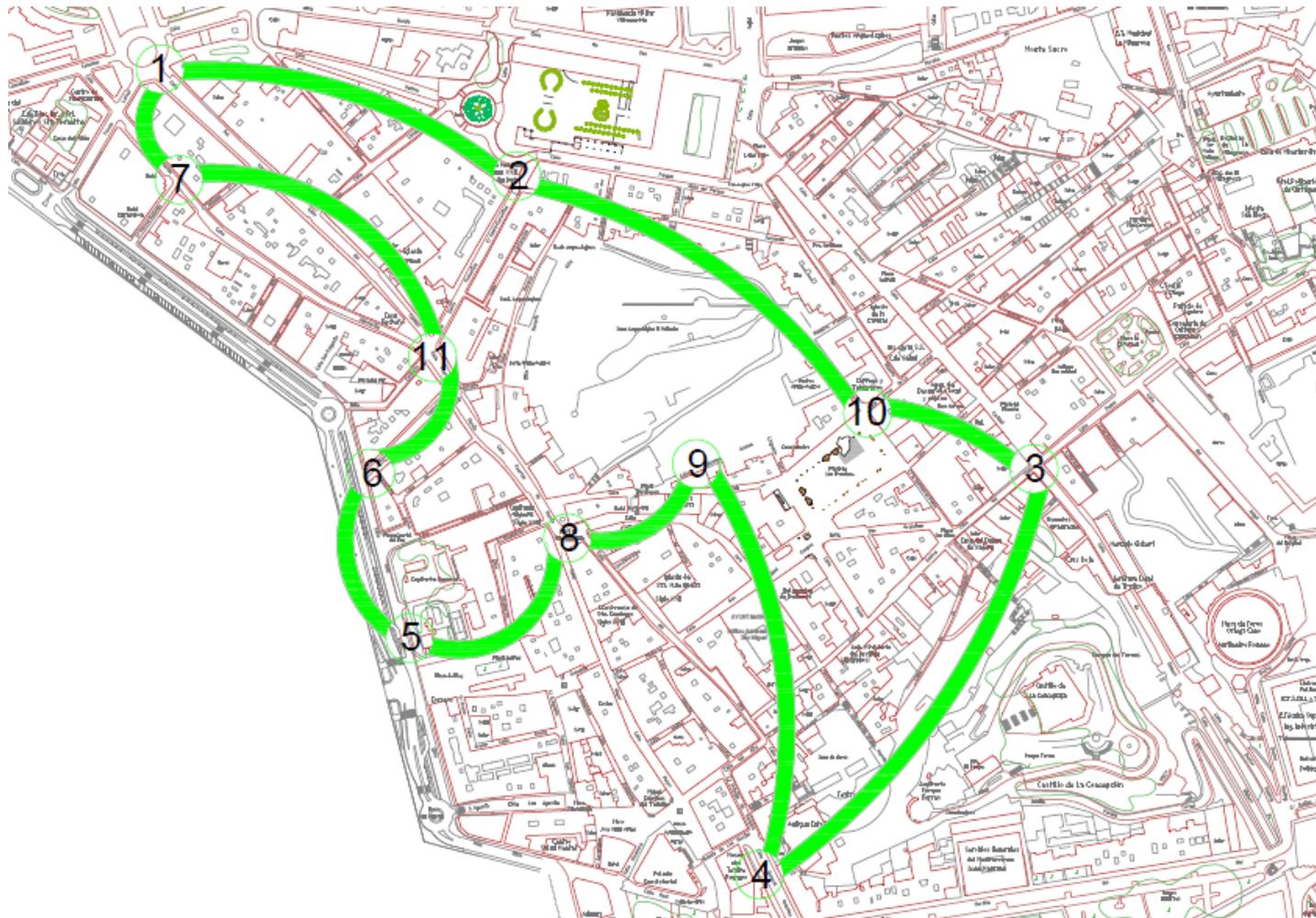


Figura 58. Curva de Calidad del Aire para valor medio de O_3 en Anillo Interior

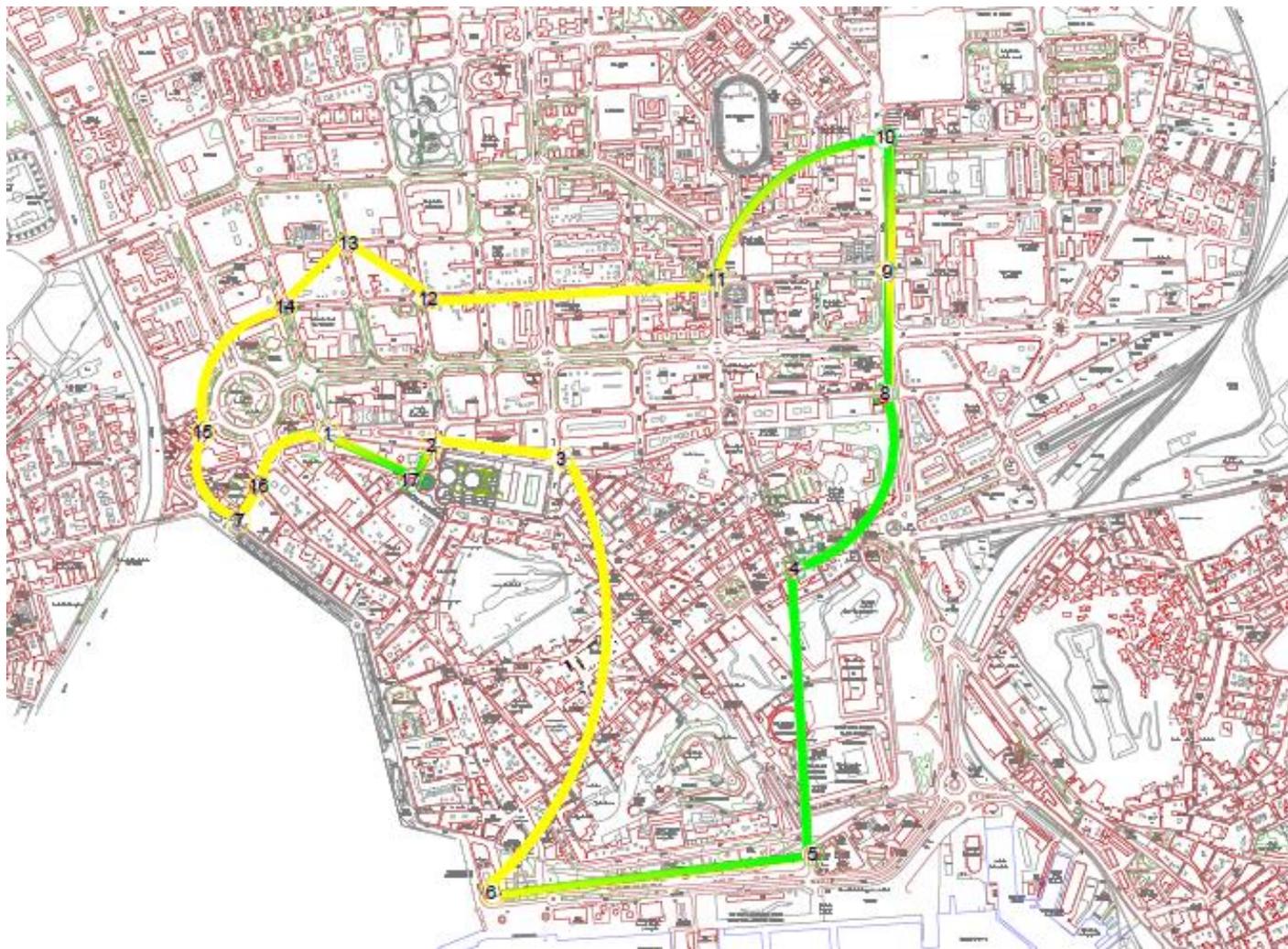


Figura 59. Curva de Calidad del Aire para valor máximo de CO₂ en Anillo Exterior

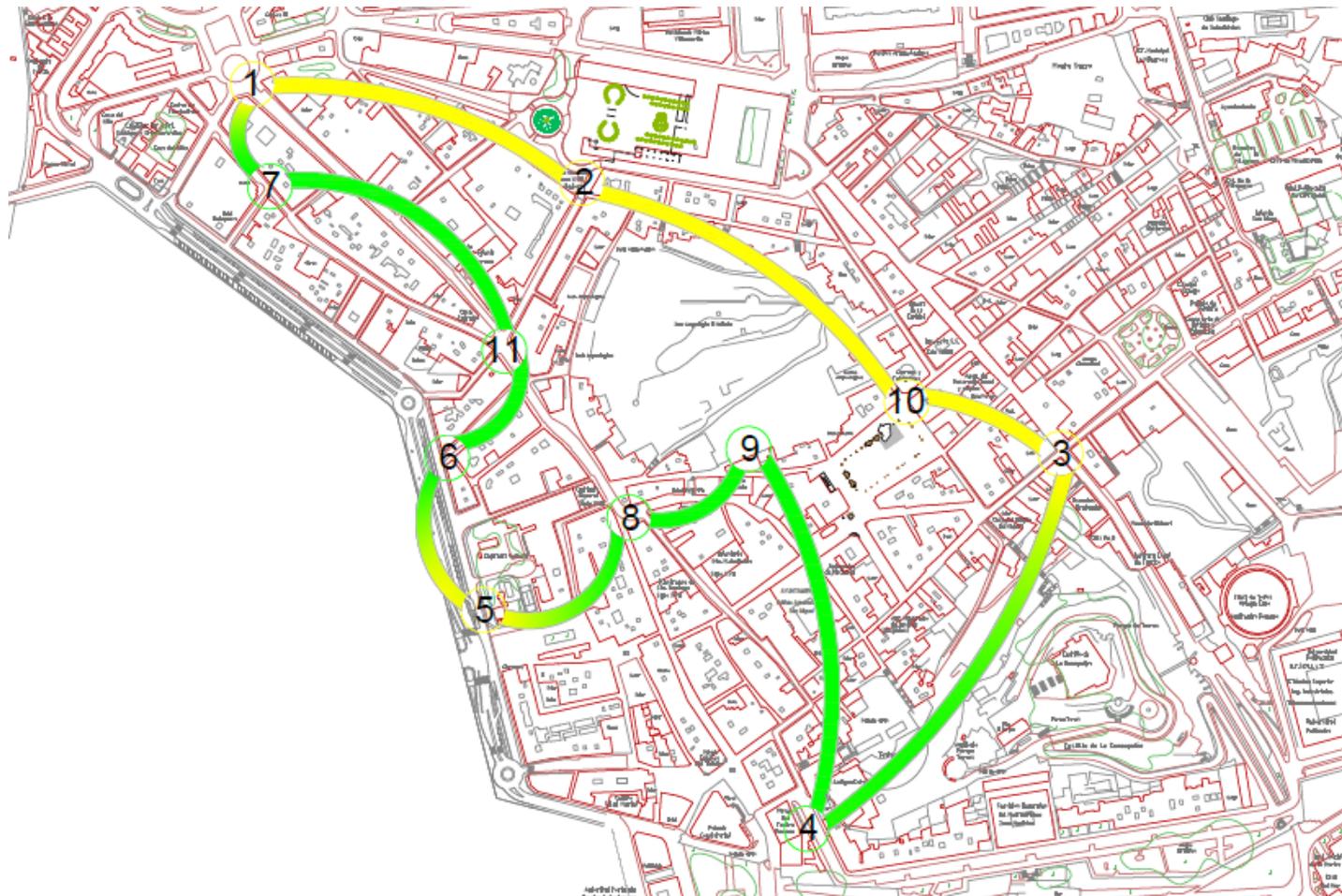


Figura 60. Curva de Calidad del Aire para valor máximo de CO₂ en Anillo Interior



Figura 61. Curva de Calidad del Aire para valor máximo de CO en Anillo Exterior



Figura 62. Curva de Calidad del Aire para valor máximo de CO en Anillo Interior

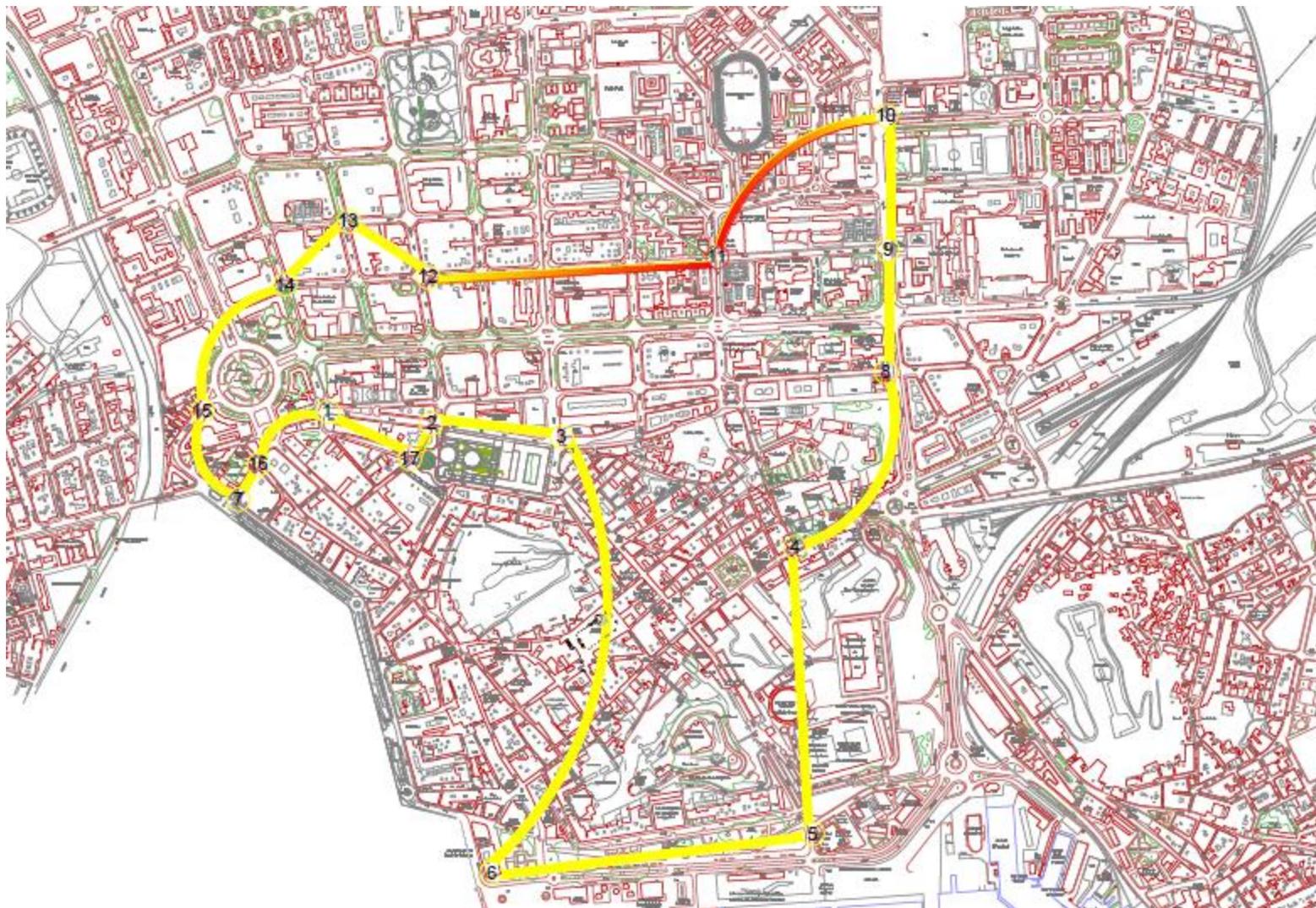


Figura 63. Curva de Calidad del Aire para valor máximo de O_3 en Anillo Exterior

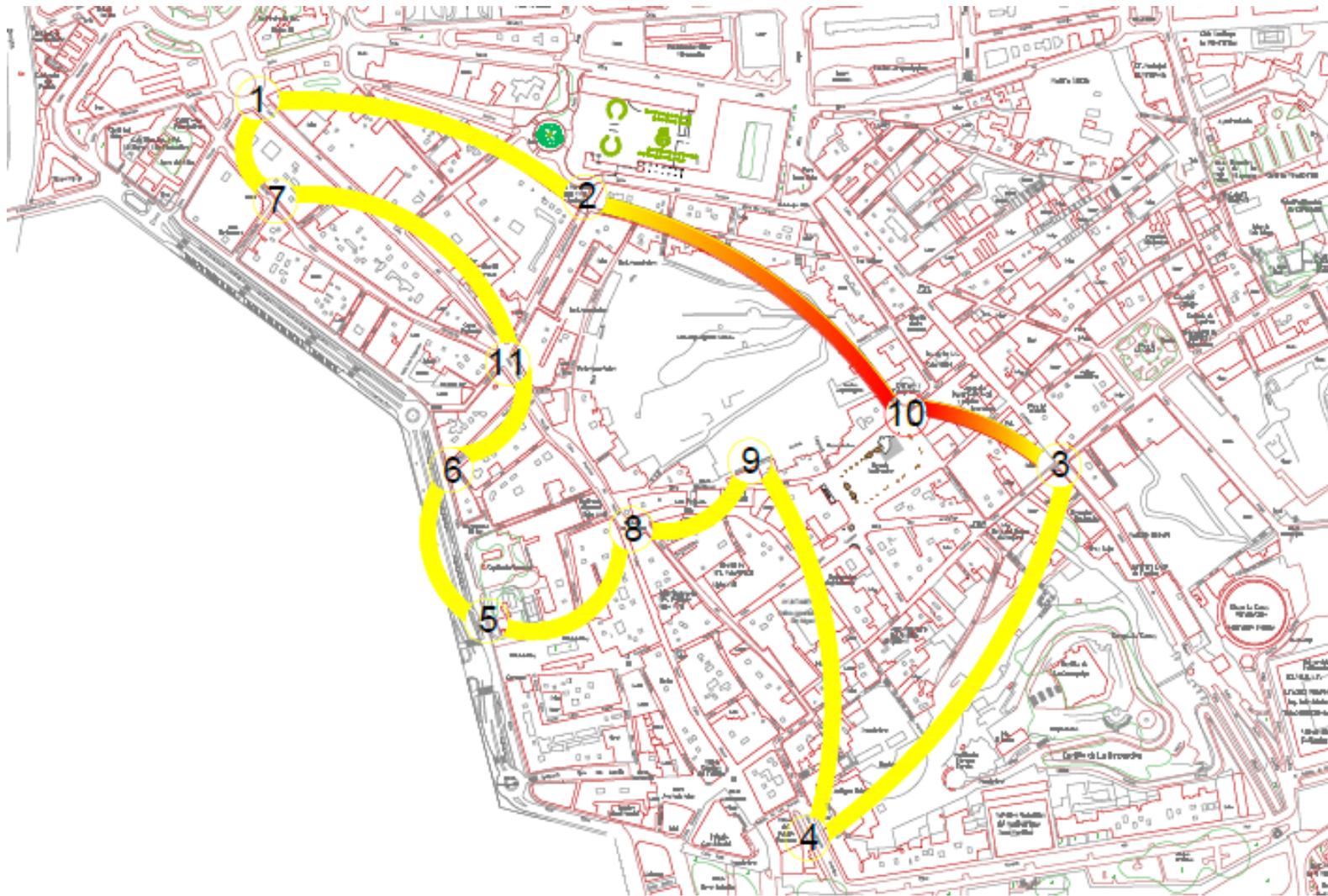


Figura 64. Curva de Calidad del Aire para valor máximo de O_3 en Anillo Interior

Tanto para el anillo interior como exterior, el valor medio se encuentra enmarcado en la categoría de Calidad del Aire buena para todos los contaminantes (Figuras 53 a 58).

Para el caso de los valores máximos que se han medido se deberá hacer un análisis más detallado.

Para el caso del dióxido de carbono en el anillo exterior (Figura 59), prácticamente la totalidad de la zona estudiada se encuentra en la categoría de Calidad del Aire admisible, exceptuando únicamente la zona próxima a la Universidad Politécnica de Cartagena y la del Cerro de San José, que coinciden con las zonas de mayor vegetación.

Mientras que en el anillo interior (Figura 60), se puede observar como la zona que conserva la calidad del Aire buena coincide prácticamente con las calles peatonales del casco histórico (Calle del Carmen, Calle Mayor y Puertas de Murcia) que no se encuentran influenciadas por el tráfico rodado.

En lo referente al monóxido de carbono en el anillo exterior (Figura 61), se puede demostrar que los únicos puntos que reducen la Calidad del Aire a admisible se encuentran en la Calle Real y en la Plaza de España. Se trata de los puntos con mayor congestión de tráfico de todos los estudiados, aspecto que se ve reflejado en las curvas de Calidad del Aire para este contaminante. Para este mismo contaminante en el anillo interior (Figura 62) no se ha mermado la Calidad del Aire buena en ningún momento de las distintas mediciones.

Por último, en el caso del ozono la distribución es totalmente distinta, más homogénea, ya que, como ya se ha comentado en el desarrollo de este trabajo, se trata de un contaminante secundario que no se produce cerca de la fuente, si no en otros puntos de la ciudad. Se trata claramente del contaminante con peor pronóstico debido a que todos sus puntos se encuentran en categoría admisible incluso dos de ellos se encuentran en la categoría de mala Calidad del Aire (Figuras 63 y 64). Concretamente, en la Plaza San Francisco-esquina de correos y en la calle Juan de la Cosa.

5. Conclusiones y recomendaciones

Del desarrollo de este trabajo se pueden destacar las siguientes conclusiones:

- Existe un marco normativo claro y conciso pero a su vez demasiado permisivo en cuanto a los valores permitidos, esto provoca que tanto la OMS como otros estamentos desarrollen sus propios valores guía. Este hecho provoca cierta confusión acerca de los valores objetivo y puede provocar alarma social.

- La mala Calidad del Aire es causante de numerosas muertes prematuras y de enfermedades respiratorias.

- Aunque se están desarrollando planes y programas para canalizar las actuaciones para la mejora de la Calidad del Aire, lo cierto es que la burocracia ralentiza en demasía dichas actuaciones, un ejemplo de facto es la aprobación del Plan Regional de Mejora de la Calidad del Aire en febrero de 2016 cuando estaba previsto para el año 2014. O incluso la constitución de la comisión de seguimiento cuando ya ha transcurrido más de la mitad del tiempo de vigencia del plan.

- La Calidad del Aire es un elemento vivo, y por ello es necesario un procedimiento de actuación mucho más ligero y libre de interferencias políticas.

- El tráfico rodado es el principal causante de la mala Calidad del Aire que existe en las grandes ciudades españolas, debido, entre otras cosas, a la "dieselización" y envejecimiento (media superior a 10 años) del parque de vehículos.

- El intervalo con mayor tráfico coincide con la entrada al trabajo y centros escolares a primera hora de la mañana, y con la salida del trabajo entre las 19 y 20 horas, de lunes a viernes.

- En cuanto a los resultados de los distintos contaminantes, se puede apreciar que el dióxido de carbono se mantiene prácticamente invariable entre el anillo exterior e interior, ni su valor medio ni su valor máximo supera los valores límite, debido a que este contaminante no dispone de un valor límite ambiental regulado. Sí se constata que por la tarde, debido a la acumulación de dióxido

de carbono durante el día existe mayor cantidad de contaminante que por la mañana.

- Referente al monóxido de carbono, los valores medios se corresponden con una buena Calidad del Aire, mientras que los valores máximos observados durante el muestreo pasan a categoría admisible en algunos puntos. En este contaminante no existe una diferencia palpable entre las mediciones tomadas por la mañana y por la tarde. Sí que se destaca que en algunos puntos con mayor tráfico hay más contaminante que en el resto.

- En referencia al ozono, los valores medios para todos los puntos se encuentran en la mejor categoría de Calidad del Aire, mientras que de acuerdo con la referencia escogida, los valores máximos de ozono para la mayoría de los puntos se encuentran en la categoría de Calidad del Aire admisible, incluso existen dos puntos donde el valor máximo se corresponde con una mala Calidad del Aire. Al tratarse de un contaminante secundario se observa como el valor vespertino es muy superior al tomado por la mañana, con una superioridad entorno al 250% con respecto al valor matinal.

- Durante el muestreo se ha constatado la ineficiencia de la maquinaria utilizada por la empresa concesionaria de limpieza del entorno urbano, ya que cada que vez que una de ellas se aproximaba, el valor de los óxidos de carbono se disparaba.

A continuación se tratan una serie de recomendaciones para su ejecución y tratar la mejora de la Calidad del Aire.

- Ya que los valores establecidos por el R.D. 102/2011 son demasiado permisivos, y al tratarse de una legislación estatal que no puede ser restringida por una ordenanza municipal, si que se puede establecer una restricción de tráfico a una llamada Zona Ambiental para vehículos que contaminen en exceso. Pero de los resultados y conclusiones de este trabajo se puede observar que el mayor problema con la contaminación se encuentra en el anillo exterior y no en el anillo interior por lo que limitar la Zona Ambiental al casco urbano puede ser inútil e ineficiente, así que se propone ampliar la Zona Ambiental al área metropolitana de esta Ciudad, aunque siendo conscientes del

shock que se puede originar se deben establecer unos parámetros de acceso a este área flexibles para que se vaya generando un cambio de la flota de vehículos de forma paulatina sin crear un conflicto grave en la economía local.

- Siendo conscientes de la dificultad de la medida anterior, también se puede aplazar dicha medida si son complementadas con otras políticas, actualmente la información sobre el transporte público es muy reducida, únicamente se dispone de transporte público mediante autobús. Y la única medida orientada a reducir este impacto, con la incluso de un servicio de préstamo de bicicletas fue abandonada hace unos años. Se debería seguir invirtiendo recursos en estas medidas, ya que para generar un cambio de hábito lo primero que se necesita es perseverancia por parte de las instituciones. Tenemos el ejemplo de éxito en la vecina ciudad de Murcia, que ahora se está apostando por un servicio de motocicletas eléctricas y aunque se destacan bastantes problemas, al final terminará calando en la ciudadanía.

- En consonancia con la medida anterior se tiene que continuar con la mejora de la flota de autobuses, ya que algunos vehículos ya han sido renovados por otros con tecnologías más eficientes. Además para que funcione correctamente y se incentive el uso del servicio municipal de Bicicletas se debería ampliar la red de carriles bici y sobre todo solventar las discontinuidades que aparecen en todo el recorrido actual.

- Es necesario mejorar el altavoz del consistorio con respecto a las medidas de Calidad del Aire, ya que si se pretenden ejecutar medidas drásticas para atajar los problemas de contaminación es vital que esta información llegue a toda la población para que se trabaje en la adaptación a la misma, ya que si no se experimenta un periodo de adaptación el rechazo será mayúsculo.

- Por otro lado, se hace necesario una modernización de la maquinaria de los servicios de limpieza, utilizando una tecnología menos contaminante.

6. Bibliografía

AAI (Abt Associates Inc) (2005) - *Environmental Benefits Mapping and Analysis Program (BenMAP Version 4.0.27)* - Bethesda, MD. Prepared for Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Innovative Strategies and Economics Group. Research Triangle Park, NC - Consultado el 10 de septiembre de 2018 - <http://www.abtassociates.com/>

Adamson IY, Prieditis H, Vincent R. (1999) - *Pulmonary toxicity of an atmospheric particulate sample is due to the soluble fraction* - *Toxicology and Applied Pharmacology* 157, 43-50.

Adamson I.Y, Prieditis H, Hedgecock C, Vincent R. (2000) - *Zinc is the toxic factor in the lung response to an atmospheric particulate sample* - *Toxicology and Applied Pharmacology* 166, 111-119.

Alfonso J, Duquesne C, Sánchez N, Menéndez J.M, Blanco N, Melero T. (2016) - *Urban mobility data management – the OPTICITIES project and the Madrid standardization proposal* - *Transportation Research Procedia* 14 (2016) 1260 – 1269

Alonso A, Monzón de Cáceres A, Cascajo R. (2015) - *Comparative analysis of passenger transport sustainability in European cities* - *Ecological Indicators*, 45, 578–592 - Consultado el 16 de septiembre de 2018 - <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.09.022>

May A, Stephen I. (2015) - *Encouraging good practice in the development of Sustainable Urban Mobility Plans - Case Studies on Transport Policy* 3 (2015) 3–11 - Consultado el 16 de septiembre de 2018 - www.elsevier.com/locate/cstp

Baucells N, Moreno C, Arce R.M. (2017) - *Smart Mobility and Smart Environment in the Spanish cities* - *Transportation Research Procedia* 24 (2017) 163–170

Belmonte P. y Luengo P. (2017) - *Informe calidad del aire de la Región de Murcia* - *Ecologistas en acción* - Consultado el 10 de septiembre de 2018 - www.ecologistasenaccion.org/regionmurciana

Berenguer M.J et Bernal F. (2000) - NTP 549: *El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior*. INSHT, 2000.

Bermejo V, Alonso R, Elvira S, Rábago I, García M. (2009) - *El ozono troposférico y sus efectos en la vegetación* - Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid 74 pp.

Boldo E, Linares C, Lumbreras J, Borge R, Narros A, García-Pérez J, Fernández-Navarro P, Pérez-Gómez B, Aragonés N, Ramis R, Pollán M, Moreno T, Karanasiou A, López-Abente G. (2011) - *Health impact assessment of a reduction in ambient PM_{2.5} levels in Spain* - Environment International 37 (2011) 342–348 - Consultado el 10 de septiembre de 2018 - www.elsevier.com/locate/envint

Centro de Control de Vigilancia de la Calidad del Aire (2012) - *Índice de la calidad del aire*

Comisión Europea (2011) - *Road Map to a Single European Transport Area: Towards a Competitive and Resource Efficient Transport System*

Costa P.B, Morais G.C, Bertolde A.I. (2017) - *Urban Mobility Indexes: A brief review of the literature* - Transportation Research Procedia, 25, 3645–3655 - Consultado el 15 de septiembre de 2018 - <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.330>

Dye J.A, Lehmann J.R, McGee J.K, Winsett D.W, Ledbetter A.D, Everitt J.I, Ghio A.J, Costa D.L (2001) - *Acute pulmonary toxicity of particulate matter filter extracts in rats: coherence with epidemiological studies in Utah Valley residents* - Environmental Health Perspectives 109, 3, 395-403

Elansky N.F, Ponomarev N, Verevkin Y. (2018) - *Air quality and pollutant emissions in the Moscow megacity in 2005–2014* - Atmospheric Environment 175 (2018) 54–64 - Consultado el 12 de septiembre de 2018 - www.elsevier.com/locate/atmosenv

El Periódico (2016) - *Un estudio relaciona la exposición al aire contaminado con partos prematuros* - Consultado el 10 de septiembre de 2018 -

<http://www.elperiodico.com/es/noticias/sociedad/estudio-relaciona-exposicion-aire-contaminado-conpartos-prematuros-5303049>

ELTISplus (2014) - *Guidelines: Developing and Implementing a Sustainable Urban Mobility Plan* - Consultado el 9 de septiembre de 2018 - www.mobilityplans.eu

España. Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. Boletín Oficial del Estado, 20 de julio de 2007, num. 207, p.p. 35931 a 35984

España. Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. Boletín Oficial del Estado, 28 de enero de 2011, num. 25, p.p. 9574 a 9626

EURLEX (2018) - Consultado el 27 de agosto de 2018 - <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html?locale=es>

European Environment Agency (2017) - *Exceedances of air quality objectives due to traffic*

Ghio, A. y Devlin, R. (2001) - *Inflammatory lung injury after bronchial instillation of air pollution particles* - American Journal of Respiratory Critical Care Medicine 164, 704-708

Giuliano, S. (1975) - *La combustión (teoría y aplicaciones)*. Dossat S.A. ISBN 8423704254

Gurjar B.R, Butler T.M, Lawrence M.G, Lelieveld J. (2008) - *Evaluation of emissions and air quality in megacities* - Atmos. Environ. 42, 1593–1606 - Consultado el 15 de septiembre de 2018 - <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231007009697>.

Hernández A. (2006) - *NTP 742: Ventilación general de edificios*. INSHT, 2006

IDAE (2006) - *Guía práctica para la elaboración e implantación de Planes de Movilidad Urbana Sostenible*

Keeling C.D, Piper S.C, Bacastow R.B, Wahlen M, Whorf T.P, Heimann M, Meijer A. *Exchanges of atmospheric CO₂ and ¹³CO₂ with the terrestrial biosphere and oceans from 1978 to 2000*. I. Global aspects, SIO References Series, No. 01-06, Scripps Institution of Oceanography, San Diego, 88 pages 2001.

López-Carreiro I. et Monzón A. (2018) - *Evaluating sustainability and innovation of mobility patterns in Spanish cities. Analysis by size and urban typology* - Sustainable Cities and Society 38 (2018) 684–696 - Consultado el 16 de septiembre de 2018 - www.elsevier.com/locate/scs

MAGRAMA (2017) - *Plan nacional de la calidad del aire y protección de la atmósfera 2013-2016*

Mauzerall D, Sultan B, Kim N, Bradford D.F. (2004) - *Charging NOx Emitters for Health Damages: An Exploratory Analysis* - NBER Working Papers 10824, National Bureau of Economic Research, Inc.

May A.D. et Matthews B. (2007) - *Decision making processes* - Marshall, S., Banister, D. (Eds.), *Land Use and Transport Planning: European Perspectives on Integrated Policies*. Elsevier, Oxford.

MITECO (2018) - Ministerio para la Transición ecológica - Consultado el 12 de septiembre de 2018 - <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/>

Monteiro A, Ferreira J, Ribeiro I, Fernandes A.P, Martins H, Gama C, Miranda A.I. (2015) - *Air quality over Portugal in 2020* - CESAM&Department of Environment and Planning, University of Aveiro, 3810–193 Aveiro, Portugal

Monteiro A, Russo M, Gama C, Lopes M, Borrego C. (2017) - *How economic crisis influence air quality over Portugal (Lisbon and Porto)?* - Atmospheric Pollution Research - Consultado el 12 de septiembre de 2018 - www.elsevier.com/locate/apr

Moreno T, Merolla L, Gibbons W, Jones T, Richards R. (2004) - *The study of source apportionment and oxidative potential of airborne particles in a high*

traffic and steelworks industrial environment: a case from Port Talbot, UK - The Science of the Total Environment 333, 59-73

Muñoz J.P, Simón de Blas C, García A.E. (2014) - *Disponibilidad y accesibilidad en el transporte público madrileño como garantía de equidad social ante la aplicación de un peaje urbano para la ciudad de Madrid* - Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa 20 (2014) 47–54 - Consultado el 9 de septiembre de 2018 - www.elsevier.es/iedee

OMS (2006) - *Guía de calidad de aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*

Palma J, Lima R, Rodrigues da Silva A.N. (2014) - *Evaluation and selection of alternatives for the promotion of sustainable urban mobility* - Procedia - Social and Behavioral Sciences 162 (2014) 408 – 418

Pastor, P. (2013) - *DTIE 2.05 Calidad del aire exterior: Mapa ODAs de las principales capitales de provincias de España* - ATECYR

Pope, C.A. y Dochery, D.W. (2006) - *Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect* - JAWMA, 56, 709-742.

Querol X, Alastuey A, Puigercus J.A, Mantilla E, Ruiz C, López-Soler A, Plana F, Juan R. (1998) - *Seasonal evolution of atmospheric suspended particles around a coal-fired power station: Chemical Characterization* - Atmospheric Environment, 32, 4, 719-731.

Querol X, Alastuey A, Moreno T, Viana M.M, Casanova J, Pérez L, Sunyer J, Künzli N. (2006) - *Calidad del aire urbano, salud y tráfico rodado* - Fundación Gas natural

Rodriguez S, Querol X, Alastuey A, Kallos G, Kakaliagou O. (2001) - *Saharan dust contributions to PM10 and TSP levels in Southern and Eastern Spain* - Atmospheric Environment 35, 2433 2447

Ros-Mcdonnell L, De-La-Fuente M.V, Ros-Mcdonnell D, Cardós M. (2018) - *Analysis of freight distribution flows in an urban functional area* - Cities 79

(2018) 159–168 - Consultado el 3 de septiembre de 2018 - www.elsevier.com/locate/cities

San José R, Pérez J.L, Morant J.L, González R.M. (2007) - *Real-Time Air Quality Operational Forecasting Systems in Spain: an Application of the MM5-CMAQ-EMIMO Modelling System* - Física de la Tierra 2007, 19 73-86

Soria y Valenzuela (2015) - *Dimensiones relevantes para la evaluación ambiental proactiva de la movilidad urbana* - Investigaciones Geográficas, boletín del Instituto de Geografía, UNAM

Steffens J, Kimbrough S, Baldauf R, Vladisakov, Brown R, Powell A, Deshmukh P. (2017) - *Near-port air quality assessment utilizing a mobile measurement approach* - Atmospheric Pollution Research 8 (2017) 1023e1030 - Consultado el 12 de septiembre de 2018 - <http://www.journals.elsevier.com/locate/apr>

Sydenham T. (1666) - *Methodus Curandi Febres, Propriis Observationibus Superstructura* - Winterdown Books

Tiner J.H. (1990) - *Louis Pasteur: Founder of Modern Medicine* - Mott Media

Troposfera (2018) - Consultado el 25 de agosto de 2018 - <http://www.troposfera.org/conceptos/calidad-aire/>

Villela M, Lahera T, Merino S, Zato J.G, Naranjo J.E, Jiménez F. (2012) - *Modelo para la Conducción Eficiente y Sostenible basado en Lógica Borrosa* - Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial 9 (2012) 259–266

WHO (2000) - *Evaluation and use of epidemiological evidence for environmental health risk assessment: WHO guideline document* - Environ Health Perspect 2000;108:997-1002

WHO (2018) - Consultado el 5 de septiembre de 2018 - <http://www.who.int/es/news-room/detail/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact>

Anexo I

Tabla 1. Datos tomados el día 2 de abril de 2018

Anillo exterior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	15,8	78,4	877,424	0	0,08232	20:48
2	15,8	78,3	970,92	0	0,0686	20:51
3	15,6	79,4	1006,88	0	0,09016	20:58
4	16,3	70,2	866,636	0	0,06076	19:46
5	16,1	75,2	888,212	0	0,07252	20:06
6	15,9	76,5	890,01	0,345	0,08624	20:13
7	15,6	78,3	907,99	0	0,0784	20:40
8	16,9	67,7	891,808	0	0,05292	19:40
9	17,3	65,3	882,818	0	0,0392	19:34
10	17,7	63,5	859,444	0	0,03528	19:31
11	15,7	78,7	913,384	0	0,08036	21:12
12	15,8	78,5	890,01	0	0,0784	21:03
13	16	79	1006,88	0	0,07252	21:04
14	15,7	78,5	888,212	0	0,08232	21:06
15	15,9	77,4	947,546	0,115	0,07252	20:43
16	16	76,4	924,172	0	0,0882	20:38
17	15,6	79,1	897,202	0	0,098	20:52
Anillo interior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	15,8	77,9	970,92	0	0,0784	20:46
2	15,7	78,5	884,616	0	0,07644	20:54
3	16,7	69,3	969,122	0	0,07644	19:52
4	16	76,5	922,374	0	0,09212	20:18
5	15,6	76,7	881,02	0	0,098	20:28
6	15,9	28,1	848,656	0	0,08232	20:31
7	15,8	77,1	929,566	0	0,08624	20:36
8	16,2	74,9	924,172	0	0,09604	20:22
9	16,3	74,2	899	0	0,0784	20:24
10	16,7	70,4	884,616	0	0,09604	19:57
11	16,1	75,5	913,384	0	0,08624	20:33

*T^a medida en °C, HR en %, CO₂ en mg/m³, CO en mg/m³, O₃ en µg/m³

Tabla 2. Datos tomados el día 3 de abril de 2018

Anillo exterior						
	Tª	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	15,1	72,8	976,314	0	0	9:52:00
2	18,1	63,9	951,142	0	0	10:08:00
3	17	66,7	924,172	0	0,02156	10:15:00
4	13,6	77,1	990,698	0	0,00588	8:40:00
5	14,3	74	969,122	0,115	0	8:59:00
6	14,3	74,3	931,364	0	0	9:07:00
7	15,2	74	992,496	0	0	9:39:00
8	13,2	77,7	940,354	0,345	0	8:29:00
9	13,5	76,2	1080,598	0	0,01176	8:22:00
10	14	72,4	934,96	0	0	8:18:00
11	17,3	65	906,192	0,115	0,02744	10:22:00
12	15,6	70,5	1042,84	0	0,00392	10:04:00
13	15,3	71	942,152	0	0	10:00:00
14	16,4	68,8	969,122	0,115	0	9:57:00
15	15,3	73,1	1121,952	0,46	0,0098	9:46:00
16	14,8	75	970,92	0	0	9:37:00
17	17,6	66	979,91	0	0	10:09:00
Anillo interior						
	Tª	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	15,3	72,8	1033,85	0	0	9:49:00
2	18,4	61,6	940,354	0	0	10:12:00
3	13,8	77	947,546	0	0	8:44:00
4	14,4	74,1	956,536	0	0	9:12:00
5	15	73,7	1032,052	0	0	9:23:00
6	14,5	73,8	960,132	0	0	9:27:00
7	14,3	78,1	970,92	0	0	9:35:00
8	14,2	74,8	951,142	0	0	9:15:00
9	14,1	75,2	963,728	0	0,0098	9:17:00
10	13,9	76,7	1006,88	0	0,0098	8:47:00
11	14,4	74,4	940,354	0	0	9:30:00

*Tª medida en °C, HR en %, CO₂ en mg/m³, CO en mg/m³, O₃ en µg/m³

Tabla 3. Datos tomados el día 4 de abril de 2018

Anillo exterior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	15,1	58	992,496	0,115	0	8:17:00
2	15,2	57,3	976,314	0	0	8:29:00
3	15,3	57,5	988,9	0	0	8:36:00
4	14,9	65,9	924,172	0	0,00392	7:26:00
5	14,5	70,2	915,182	0	0,00784	7:40:00
6	14,8	56,4	934,96	0	0,01568	7:45:00
7	15,2	54,8	1073,406	0,575	0	8:09:00
8	14,8	69,4	978,112	0	0,00196	7:21:00
9	14,4	77,8	1078,8	0,23	0,01176	7:17:00
10	14,8	74,4	956,536	0	0	7:14:00
11	15,7	56,3	967,324	0	0,00196	8:42:00
12	15,4	57,1	1006,88	0,115	0,00196	8:25:00
13	15,2	58,6	997,89	0	0	8:23:00
14	14,9	59,2	1006,88	0,115	0	8:20:00
15	14,6	62,7	1046,436	0,345	0,00196	8:12:00
16	15,8	50,2	981,708	0	0,01568	8:08:00
17	15,2	57,8	994,294	0	0	8:30:00
Anillo interior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	15,1	58,2	1042,84	0	0	8:16:00
2	15,3	56,5	1100,376	0	0	8:32:00
3	14,7	70	997,89	0	0,00392	7:29:00
4	15,2	55,3	988,9	0	0,05684	7:48:00
5	14,3	63,2	979,91	0	0,00196	7:58:00
6	15	61,1	979,91	0	0	8:01:00
7	15,4	54,4	943,95	0	0,00784	8:06:00
8	15,3	57,6	877,424	0	0,04116	7:52:00
9	13,8	67,6	920,576	0	0,00784	7:53:00
10	14,9	65,5	922,374	0	0,00196	7:32:00
11	14,8	61,7	920,576	0	0,01764	8:03:00

*T^a medida en °C, HR en %, CO₂ en mg/m³, CO en mg/m³, O₃ en µg/m³

Tabla 4. Datos tomados el día 5 de abril de 2018

Anillo exterior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	13	52,1	978,112	0,23	0,01372	8:27:00
2	13,4	52,3	1105,77	0	0,01568	8:41:00
3	13,6	49,5	970,92	0	0	8:51:00
4	12,1	55,3	947,546	0	0	7:34:00
5	12,6	52,4	940,354	0	0	7:48:00
6	12,7	51,9	929,566	0,23	0,00784	7:55:00
7	12,9	50,8	945,748	0	0,01176	8:19:00
8	11,9	54,6	960,132	0	0	7:28:00
9	12,2	53,5	967,324	0,345	0	7:22:00
10	12,6	51,5	943,95	0	0	7:19:00
11	13,5	50,1	956,536	0,115	0,03136	8:58:00
12	13,1	52,5	1003,284	0	0	8:36:00
13	13,2	51,5	992,496	0	0,01764	8:33:00
14	13,3	51,3	992,496	0	0	8:31:00
15	12,3	52,5	981,708	0,345	0,00392	8:22:00
16	13,1	51,7	992,496	0,115	0,00784	8:18:00
17	13,5	50,1	970,92	0	0,02352	8:44:00
Anillo interior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	12,9	51,9	1033,85	0,46	0,00588	8:25:00
2	13,3	51,1	974,516	0	0,01372	8:46:00
3	12,7	52,6	958,334	0,46	0	7:37:00
4	13	51,2	931,364	0	0,01568	7:58:00
5	12,7	52,9	1003,284	0,345	0,00588	8:08:00
6	12,9	52,7	969,122	0,115	0,0098	8:11:00
7	13,4	51,4	970,92	0,115	0,01176	8:17:00
8	12,4	52,8	942,152	0	0,00196	8:02:00
9	12,2	54	927,768	0	0,00392	8:04:00
10	12,9	54,8	951,142	0	0	7:40:00
11	13,2	51,9	943,95	0	0	8:13:00

*T^a medida en °C, HR en %, CO₂ en mg/m³, CO en mg/m³, O₃ en µg/m³

Tabla 5. Datos tomados el día 6 de abril de 2018

Anillo exterior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	17,1	76,7	877,424	0	0,0882	19:21:00
2	17,3	76,7	886,414	0	0,09408	19:33:00
3	17,2	76,2	895,404	0	0,098	19:39:00
4	19,2	68	872,03	0	0,09996	18:33:00
5	18	72,7	906,192	0	0,09016	18:46:00
6	18,4	72,3	965,526	0	0,08232	18:52:00
7	17,7	75	997,89	0,345	0,06076	19:13:00
8	18,7	68,7	893,606	0	0,0882	18:28:00
9	19,6	65,3	884,616	0	0,09604	18:22:00
10	19	67,3	821,686	0	0,10976	18:20:00
11	16,8	79	987,102	0	0,09212	19:46:00
12	17,6	75,4	952,94	0	0,098	19:29:00
13	17,6	75,7	879,222	0,115	0,0686	19:27:00
14	17,6	74,7	969,122	0,23	0,06664	19:24:00
15	17,7	75,7	1073,406	0,23	0,05488	19:16:00
16	17,2	75,9	886,414	0	0,10584	19:12:00
17	17,6	74,6	891,808	0,115	0,09408	19:34:00
Anillo interior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	16,9	77,3	866,636	0	0,098	19:19:00
2	16,9	77,2	868,434	0	0,10192	19:36:00
3	18,5	70,4	904,394	0	0,09996	18:36:00
4	17,9	71,8	855,848	0	0,09604	18:54:00
5	18,2	72,3	916,98	0	0,09408	19:04:00
6	17,1	71,6	875,626	0	0,07252	19:06:00
7	17,3	74,5	877,424	0	0,09996	19:11:00
8	17,5	73,5	870,232	0	0,08428	18:58:00
9	17,4	74,5	864,838	0	0,098	19:00:00
10	18,3	70,7	868,434	0	0,08232	18:39:00
11	17,4	74,4	900,798	0	0,10192	19:08:00

*T^a medida en °C, HR en %, CO₂ en mg/m³, CO en mg/m³, O₃ en µg/m³

Tabla 6. Datos tomados el día 7 de abril de 2018

Anillo exterior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	18,2	71,3	969,122	0,115	0,07252	11:01:00
2	18,6	69,3	882,818	0,115	0,0882	11:17:00
3	18,8	68,5	881,02	0,115	0,0882	11:26:00
4	17,8	71,4	938,556	0,115	0,07644	9:55:00
5	19,6	64	873,828	0	0,0784	10:13:00
6	20,7	59,3	839,666	0,115	0,0686	10:22:00
7	17,5	73,4	897,202	0,23	0,03332	10:53:00
8	17,4	72,4	906,192	0	0,05488	9:49:00
9	17,2	71,9	925,97	0	0,07252	9:42:00
10	17,1	71,8	872,03	0	0,08428	9:40:00
11	19,5	65,1	886,414	0	0,0882	11:34:00
12	18,3	69,9	877,424	0,115	0,08232	11:12:00
13	17,9	70,5	900,798	0,23	0,09016	11:08:00
14	17,6	71,6	895,404	0,23	0,07644	11:05:00
15	17,6	72	900,798	0,345	0,05292	10:56:00
16	17,4	72,5	895,404	0	0,0588	10:51:00
17	19	67,4	866,636	0,115	0,09408	11:20:00
Anillo interior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	17,7	72,6	934,96	0	0,0686	10:59:00
2	19	67,4	904,394	0	0,08036	11:21:00
3	18,2	71,2	961,93	0	0,05684	9:59:00
4	19,6	63,8	909,788	0	0,04704	10:27:00
5	18,2	69,5	882,818	0	0,0392	10:38:00
6	18,2	69,4	904,394	0	0,03528	10:42:00
7	17	72,9	855,848	0	0,06272	10:49:00
8	18,4	69,8	947,546	0	0,0392	10:32:00
9	18,4	68,3	879,222	0	0,049	10:34:00
10	17,4	73	864,838	0	0,0784	10:02:00
11	17,5	71,5	866,636	0	0,04508	10:46:00

*T^a medida en °C, HR en %, CO₂ en mg/m³, CO en mg/m³, O₃ en µg/m³

Tabla 7. Datos tomados el día 9 de abril de 2018

Anillo exterior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	13,8	65,8	1030,254	0,115	0,01372	8:01:00
2	13,6	63,7	934,96	0	0,0196	8:15:00
3	13,7	64,6	940,354	0	0,01568	8:21:00
4	14,3	70,3	909,788	0	0,04116	7:12:00
5	14,3	66,6	906,192	0	0,03136	7:25:00
6	14,3	66,2	916,98	0,115	0,04116	7:30:00
7	13,7	62,5	967,324	0,345	0,00588	7:53:00
8	14,4	71	915,182	0	0,0098	7:07:00
9	14,5	71	934,96	0,115	0,03136	7:03:00
10	15	69,2	893,606	0	0,06272	7:00:00
11	14,2	64,4	983,506	0	0,00392	8:27:00
12	13,7	64,6	1001,486	0,575	0,00392	8:11:00
13	13,9	63,4	952,94	0	0	8:09:00
14	13,9	63,7	979,91	0,575	0,00588	8:06:00
15	13,6	64,4	949,344	0,345	0,01372	7:56:00
16	14,1	61,9	943,95	0	0,02156	7:52:00
17	13,6	64,4	934,96	0	0,01176	8:16:00
Anillo interior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	13,7	63,6	969,122	0	0,01568	8:00:00
2	13,7	65,3	970,92	0	0,0098	8:17:00
3	14,5	68,4	934,96	0,115	0,0294	7:15:00
4	14,4	64,7	911,586	0	0,05096	7:33:00
5	13,9	61,9	942,152	0,115	0,02352	7:42:00
6	13,9	63	956,536	0	0,00784	7:44:00
7	14,8	61,9	970,92	0	0,01176	7:50:00
8	14,3	60,9	911,586	0	0,03724	7:37:00
9	14,1	63,1	909,788	0	0,04704	7:39:00
10	14,7	67,1	916,98	0	0,02352	7:18:00
11	14,2	61,1	951,142	0	0,01764	7:47:00

*T^a medida en °C, HR en %, CO₂ en mg/m³, CO en mg/m³, O₃ en µg/m³

Tabla 8. Datos tomados el día 10 de abril de 2018

Anillo exterior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	12,7	51,9	1102,174	0,23	0	8:07:00
2	13,3	49,4	972,718	0	0	8:18:00
3	13,6	49,9	978,112	0	0,00392	8:24:00
4	11,2	53,9	958,334	0	0	7:17:00
5	12,3	51,3	990,698	0	0	7:31:00
6	12,4	51,1	965,526	0,115	0,01176	7:36:00
7	12,1	49,9	969,122	1,15	0	7:58:00
8	11,5	51,6	949,344	0	0,00196	7:12:00
9	11,4	54	970,92	0,115	0	7:08:00
10	11,5	51,2	951,142	0	0	7:05:00
11	13,3	48,3	988,9	0	0	8:32:00
12	12,6	51	1015,87	0	0	8:14:00
13	13	49,7	1006,88	0	0	8:12:00
14	12,9	49,9	1037,446	0	0	8:09:00
15	12,3	49,9	1132,74	0,69	0,00196	8:01:00
16	12,5	49,4	978,112	0	0,00392	7:57:00
17	13,6	50	942,152	0	0,01764	8:19:00
Anillo interior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	12,4	49,1	1024,86	0,23	0	8:04:00
2	13,4	49,7	961,93	0	0,0098	8:22:00
3	11,8	51,9	996,092	0	0	7:21:00
4	12,6	49,8	943,95	0	0,01176	7:38:00
5	11,9	52,4	997,89	0,345	0,00392	7:48:00
6	12,2	50,1	978,112	0,115	0	7:51:00
7	12,6	48	974,516	0,115	0	7:56:00
8	12,7	50,8	943,95	0	0,0098	7:43:00
9	12,1	50,7	931,364	0	0,01176	7:44:00
10	12,6	49	956,536	0	0,00392	7:23:00
11	12,3	51,8	943,95	0	0,01372	7:53:00

*T^a medida en °C, HR en %, CO₂ en mg/m³, CO en mg/m³, O₃ en µg/m³

Tabla 9. Datos tomados el día 11 de abril de 2018

Anillo exterior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	13,2	50,7	974,516	0	0,09408	8:43:00
2	14,2	47,4	967,324	0,345	0,07252	8:55:00
3	14,9	44,4	877,424	0	0,09408	9:03:00
4	12,6	49,8	906,192	0	0,09604	7:50:00
5	12,5	50,4	897,202	0	0,09604	8:04:00
6	12,6	50,7	897,202	0	0,10976	8:10:00
7	12,8	48,8	899	0,23	0,11172	8:34:00
8	12,3	49,7	942,152	0	0,09212	7:45:00
9	12,5	50	945,748	0	0,05684	7:39:00
10	12,5	49,3	906,192	0	0,06272	7:36:00
11	15,9	42,5	925,97	0,23	0,07644	9:10:00
12	13,4	49,6	934,96	0	0,0882	8:52:00
13	13,7	48,2	929,566	0,575	0,04508	8:49:00
14	13,5	48,6	906,192	0	0,09212	8:46:00
15	12,9	49,3	924,172	0,23	0,09016	8:39:00
16	13,1	47,8	909,788	0	0,09996	8:32:00
17	14,2	46,6	897,202	0	0,08428	8:57:00
Anillo interior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	13,2	49	895,404	0	0,04704	8:41:00
2	14,2	46,5	916,98	0	0,08036	9:00:00
3	12,6	50,2	916,98	0,115	0,0294	7:54:00
4	12,6	49,7	906,192	0,23	0,10976	8:12:00
5	12,8	51,8	938,556	0	0,0392	8:22:00
6	12,7	50,2	899	0	0,10584	8:25:00
7	13,1	48	915,182	0,345	0,10388	8:30:00
8	12,9	49,9	904,394	0	0,0882	8:17:00
9	12,8	50	899	0	0,07252	8:18:00
10	12,9	49,9	920,576	0	0,0588	7:56:00
11	12,9	49,2	893,606	0	0,09604	8:27:00

*T^a medida en °C, HR en %, CO₂ en mg/m³, CO en mg/m³, O₃ en µg/m³

Tabla 10. Datos tomados el día 12 de abril de 2018

Anillo exterior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	15,1	37,2	918,778	0	0,05096	8:13:00
2	15,7	36,6	938,556	0	0,1176	8:25:00
3	15,8	36,2	915,182	0	0,08428	8:31:00
4	14,8	37,7	911,586	0,575	0,09408	7:23:00
5	14,4	38,8	907,99	0,23	0,05684	7:37:00
6	14,9	42,9	1005,082	0	0,07056	7:43:00
7	15,1	39,3	967,324	0,46	0,08624	8:05:00
8	15	37,3	888,212	0,23	0,10976	7:19:00
9	15,2	36,1	895,404	0,23	0,10584	7:14:00
10	15,2	36,9	884,616	0,345	0,10388	7:11:00
11	16,4	34,5	916,98	0	0,04312	8:37:00
12	15,2	38,2	911,586	0	0,07448	8:22:00
13	15,3	37,1	904,394	0	0,08624	8:19:00
14	15,1	38,3	940,354	0	0,05096	8:16:00
15	14,6	38,7	1005,082	0,345	0,03332	8:09:00
16	15,2	37	924,172	0,115	0,02744	8:04:00
17	15,7	37,9	916,98	0	0,0686	8:26:00
Anillo interior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	15	37,4	909,788	0	0,0686	8:11:00
2	15,6	37,9	913,384	0	0,06664	8:27:00
3	15	37,5	904,394	0,115	0,11172	7:27:00
4	14,4	39,5	895,404	0	0,07644	7:45:00
5	14,4	38,8	904,394	0,345	0,07252	7:54:00
6	14,9	38,5	929,566	0	0,0686	7:57:00
7	15,3	36,8	945,748	0	0,05292	8:03:00
8	14,8	37,9	890,01	0	0,098	7:49:00
9	14,3	39,8	882,818	0	0,08232	7:50:00
10	15	37,1	893,606	0,23	0,12152	7:29:00
11	15,1	38	902,596	0	0,05684	7:59:00

*T^a medida en °C, HR en %, CO₂ en mg/m³, CO en mg/m³, O₃ en µg/m³

Tabla 11. Datos tomados el día 13 de abril de 2018

Anillo exterior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	14,1	65,9	938,556	0,575	0,03136	8:12:00
2	14,2	66,5	927,768	0	0,01176	8:26:00
3	14,3	66,6	922,374	0,115	0,02744	8:32:00
4	13,8	67,5	895,404	0	0,06468	7:24:00
5	13,8	67	902,596	0	0,05292	7:37:00
6	13,9	66,7	913,384	0	0,06468	7:43:00
7	13,8	66,4	890,01	0,115	0,08232	8:05:00
8	13,9	67	904,394	0	0,07448	7:19:00
9	14	66,4	902,596	0,115	0,07252	7:15:00
10	14	63,8	907,99	0,115	0,08624	7:12:00
11	14,3	65,7	934,96	0	0,01568	8:39:00
12	14,1	66,5	900,798	0	0,01568	8:21:00
13	14,3	65,3	922,374	0	0,01372	8:19:00
14	14,1	66,2	913,384	0	0,01568	8:16:00
15	14,1	66	947,546	0,345	0,03528	8:09:00
16	14	65,5	897,202	0	0,0686	8:04:00
17	14,3	67,1	900,798	0	0,0392	8:27:00
Anillo interior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	14,1	66	915,182	0	0,05096	8:11:00
2	14,5	66,5	915,182	0	0,0196	8:29:00
3	13,9	66,8	906,192	0,115	0,04312	7:27:00
4	13,9	66	907,99	0	0,08624	7:45:00
5	14,1	66,3	951,142	0,575	0,08036	7:55:00
6	13,9	66,5	902,596	0	0,09212	7:58:00
7	13,9	65,4	907,99	0	0,07252	8:03:00
8	14,1	65,1	893,606	0	0,0784	7:50:00
9	14	66,2	890,01	0	0,0784	7:51:00
10	14,1	65,6	916,98	0	0,05292	7:30:00
11	14,1	65,9	897,202	0	0,05292	8:00:00

*T^a medida en °C, HR en %, CO₂ en mg/m³, CO en mg/m³, O₃ en µg/m³

Tabla 12. Datos tomados el día 14 de abril de 2018

Anillo exterior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	20,1	22,4	555	0,1798	0,050266	11:54
2	17,8	25,3	475	0,3596	0,045362	11:57
3	19,5	23,7	464	0,1798	0,063752	12:04
4	17,3	30,8	478	0	0,020842	10:15
5	21,5	21,9	471	0,1798	0,01839	10:21
6	19,5	26,7	478	0,3596	0,014712	10:23
7	18,4	26,1	493	0,1798	0,058848	11:44
8	15,8	32,8	519	0,5394	0,05517	9:50
9	17	29,5	637	0	0,06743	10:02
10	16,8	33	479	0	0,020842	9:57
11	21	22,2	486	0	0,062526	12:13
12	20,6	21,9	454	0	0,058848	12:11
13	20,7	22,5	451	0	0,047814	12:08
14	19,9	22,4	474	0,3596	0,066204	12:06
15	17,6	25,3	468	0,1798	0,057622	11:49
16	17,8	25,2	465	0	0,044136	11:45
17	19,5	22,7	472	0,1798	0,058848	11:58
Anillo interior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	17,8	25,1	512	0,1798	0,033102	11:46
2	18,7	23,8	465	0,1798	0,051492	12:00
3	18	27,9	499	0,1798	0,046588	11:26
4	18,4	26,9	581	0,1798	0,058848	11:17
5	17,5	27,3	475	0,1798	0,057622	11:34
6	17,3	28,1	472	0	0,064978	11:37
7	18,8	24,2	462	0,3596	0,056396	11:42
8	17,8	26,5	463	0,1798	0,03065	11:20
9	18	26,1	495	0,5394	0,038006	11:22
10	18,3	25,2	465	0,3596	0,057622	11:25
11	18	26,5	475	0,1798	0,051492	11:38

*T^a medida en °C, HR en %, CO₂ en mg/m³, CO en mg/m³, O₃ en µg/m³

Tabla 13. Datos tomados el día 16 de abril de 2018

Anillo exterior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	19,7	60,1	891,808	0	0,07644	19:26:00
2	18,7	59,9	881,02	0	0,09016	19:43:00
3	18,6	63	916,98	0	0,098	19:50:00
4	19,4	60,8	855,848	0	0,06076	18:37:00
5	18,7	68,5	866,636	0	0,09604	18:50:00
6	19,4	63,2	864,838	0	0,08232	18:55:00
7	20,1	47,3	857,646	0,345	0,1078	19:19:00
8	19,9	59,1	857,646	0	0,03136	18:32:00
9	21,6	54,2	803,706	0,115	0,04508	18:25:00
10	21,2	56,5	879,222	0	0,0588	18:24:00
11	18,2	62,8	920,576	0	0,09016	19:56:00
12	18,5	63,3	875,626	0	0,08428	19:40:00
13	18,7	61,6	891,808	0	0,09996	19:37:00
14	19	61,1	861,242	0	0,08232	19:29:00
15	20,9	47,9	918,778	0	0,0588	19:22:00
16	20,2	46,4	881,02	0	0,0882	19:17:00
17	18,7	60	913,384	0	0,0882	19:45:00
Anillo interior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	20,1	57,1	864,838	0	0,10192	19:24:00
2	18,7	59,4	881,02	0	0,08036	19:46:00
3	19,9	56,4	872,03	0	0,06664	18:40:00
4	19,1	66,2	857,646	0	0,07448	18:58:00
5	20,7	53,5	873,828	0,23	0,09604	19:08:00
6	20,6	52,2	854,05	0	0,08232	19:10:00
7	20,4	46,3	899	0	0,11368	19:15:00
8	19,1	62,5	911,586	0	0,07644	19:02:00
9	19,3	62,7	870,232	0	0,0882	19:03:00
10	20,4	53,3	864,838	0	0,03332	18:42:00
11	20,8	47,2	907,99	0	0,0882	19:12:00

*T^a medida en °C, HR en %, CO₂ en mg/m³, CO en mg/m³, O₃ en µg/m³

Tabla 14. Datos tomados el día 17 de abril de 2018

Anillo exterior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	13,6	69,8	992,496	0	0,00588	8:14:00
2	14,8	68	1028,456	0,115	0	8:24:00
3	15	68,4	987,102	0,23	0	8:31:00
4	12,4	74,9	979,91	0	0	7:22:00
5	13,1	73,9	961,93	0	0,00784	7:37:00
6	13,2	73,9	943,95	0,115	0,00588	7:44:00
7	13,3	71,2	1060,82	0,23	0,00196	8:07:00
8	12,6	73,3	961,93	0	0	7:17:00
9	12,8	73	956,536	0,115	0,00392	7:12:00
10	13,1	71,2	938,556	0	0	7:10:00
11	15,3	66,7	1028,456	0	0	8:37:00
12	14,3	68,7	979,91	0	0	8:20:00
13	14,2	68,5	1005,082	0	0,00588	8:18:00
14	13,7	70,1	976,314	0,115	0,00196	8:16:00
15	13,3	71	979,91	0,115	0,00392	8:10:00
16	13,6	70,3	1010,476	0,23	0	8:05:00
17	14,8	67	981,708	0	0	8:26:00
Anillo interior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	13,6	69,8	956,536	0	0,00392	8:12:00
2	14,9	67,5	1019,466	0	0	8:27:00
3	13,2	76,1	1014,072	0,115	0	7:26:00
4	13,3	73,6	945,748	0	0,00784	7:46:00
5	13,3	72,7	1048,234	0,115	0,00392	7:56:00
6	13,3	72,4	956,536	0	0,00196	7:59:00
7	13,5	69,7	961,93	0	0	8:04:00
8	13,6	71	931,364	0	0,0098	7:50:00
9	13,2	72,7	942,152	0	0,00588	7:51:00
10	13,5	74,8	942,152	0	0	7:29:00
11	13,7	71,4	976,314	0	0	8:00:00

*T^a medida en °C, HR en %, CO₂ en mg/m³, CO en mg/m³, O₃ en µg/m³

Tabla 15. Datos tomados el día 18 de abril de 2018

Anillo exterior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	10,8	55,9	940,354	0,115	0,01176	8:38:00
2	11	56,3	920,576	0	0,0294	8:49:00
3	11,2	56,2	960,132	0	0,02156	8:56:00
4	9,7	57,1	911,586	0	0	7:42:00
5	9,8	58,3	895,404	0,115	0,00784	7:59:00
6	10	58,2	942,152	0,23	0,0098	8:06:00
7	10,5	55,9	981,708	0,345	0,01372	8:30:00
8	9,8	57,4	904,394	0	0	7:38:00
9	9,7	57,2	920,576	0,23	0,00196	7:33:00
10	9,7	57,3	895,404	0	0	7:30:00
11	11,4	56,4	925,97	0	0,04508	9:03:00
12	10,8	55,5	893,606	0,115	0,03136	8:45:00
13	10,7	55,3	976,314	0	0,01764	8:43:00
14	10,9	55,4	992,496	0	0,02352	8:40:00
15	10,6	55,8	947,546	0,115	0,00784	8:34:00
16	10,4	57,9	915,182	0	0,02548	8:28:00
17	10,9	55,7	920,576	0	0,04508	8:51:00
Anillo interior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	10,6	55,7	940,354	0	0,00784	8:36:00
2	11,1	55,4	981,708	0	0,03724	8:52:00
3	9,9	56,8	963,728	0	0	7:47:00
4	10,1	57,9	895,404	0	0,00588	8:08:00
5	10,2	56,8	920,576	0,345	0,00784	8:19:00
6	10,3	56,4	900,798	0,115	0,01176	8:22:00
7	10,3	58,3	938,556	0	0	8:27:00
8	10	57,7	879,222	0	0	8:12:00
9	10	57,4	875,626	0	0,01764	8:14:00
10	9,9	56,9	961,93	0	0	7:50:00
11	10,2	55,9	924,172	0	0,00392	8:23:00

*T^a medida en °C, HR en %, CO₂ en mg/m³, CO en mg/m³, O₃ en µg/m³

Tabla 16. Datos tomados el día 19 de abril de 2018

Anillo exterior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	16,5	57,7	899	0	0,08624	20:04:00
2	16,2	60,4	846,858	0	0,08428	20:17:00
3	15,9	55,4	893,606	0	0,09996	20:23:00
4	17,5	62,9	877,424	0	0,05292	19:07:00
5	17,3	63,5	895,404	0	0,07448	19:22:00
6	17,4	62,1	920,576	0,115	0,09408	19:28:00
7	16,9	59,5	942,152	0,23	0,08624	19:56:00
8	17,7	62,8	886,414	0	0,05096	19:01:00
9	17,8	63,5	872,03	0,115	0,10388	18:55:00
10	17,7	63,3	859,444	0	0,09408	18:54:00
11	15,7	53,2	881,02	0	0,07252	20:29:00
12	16,3	55,9	890,01	0	0,0784	20:14:00
13	16,4	55,8	864,838	0	0,06468	20:11:00
14	16,3	56,2	850,454	0	0,05684	20:08:00
15	16,6	58,7	958,334	0,23	0,09604	20:00:00
16	16,8	59,6	900,798	0,115	0,08036	19:54:00
17	16,3	60,2	886,414	0	0,07448	20:18:00
Anillo interior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	16,7	59,2	879,222	0	0,049	20:02:00
2	16,1	59,7	900,798	0	0,07252	20:20:00
3	17,6	62,7	902,596	0,23	0,08036	19:11:00
4	17,3	60,9	882,818	0	0,06664	19:31:00
5	16,9	59,8	929,566	0,46	0,06468	19:44:00
6	17	61,5	843,262	0	0,07448	19:46:00
7	16,9	59,8	888,212	0	0,08232	19:53:00
8	17,1	60,7	875,626	0	0,0686	19:37:00
9	17	61,1	859,444	0	0,0882	19:38:00
10	17,7	61,9	873,828	0	0,05488	19:13:00
11	16,8	60,5	855,848	0	0,0588	19:49:00

*T^a medida en °C, HR en %, CO₂ en mg/m³, CO en mg/m³, O₃ en µg/m³

Tabla 17. Datos tomados el día 20 de abril de 2018

Anillo exterior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	16,2	42,3	915,182	0,115	0,04508	8:22:00
2	16,3	40,8	931,364	0,23	0,05096	8:37:00
3	16,5	40,3	899	0,115	0,06076	8:44:00
4	15,8	45,5	940,354	0	0,05488	7:30:00
5	16	42,5	920,576	0	0,05684	7:42:00
6	16,1	42,7	958,334	0	0,03332	7:09:00
7	16,1	41,7	974,516	0,23	0,049	8:14:00
8	15,9	42,8	895,404	0	0,02548	7:24:00
9	15,9	44,8	927,768	0	0,03136	7:20:00
10	15,8	44,3	899	0	0,03528	7:17:00
11	16,6	43,5	879,222	0	0,07056	8:52:00
12	16,2	40,7	904,394	0	0,06076	8:31:00
13	16,3	41,2	915,182	0	0,05684	8:29:00
14	16,3	41,9	963,728	0,115	0,0294	8:26:00
15	16	41,5	1003,284	0,23	0,03724	8:17:00
16	15,9	41,9	920,576	0,115	0,02352	8:12:00
17	16,1	40,9	893,606	0	0,04508	8:38:00
Anillo interior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	16,1	41,7	911,586	0	0,05096	8:20:00
2	16,3	40,4	920,576	0	0,06076	8:40:00
3	15,7	45,8	900,798	0	0,03136	7:33:00
4	15,9	43,3	875,626	0	0,05488	7:52:00
5	16,1	43,2	920,576	0,23	0,06272	8:02:00
6	16,2	43,4	940,354	0	0,03724	8:05:00
7	15,9	41,7	954,738	0,115	0,03136	8:11:00
8	16	42,1	895,404	0	0,02156	7:57:00
9	16	41,9	866,636	0	0,03136	7:58:00
10	15,8	45,3	855,848	0	0,05096	7:35:00
11	16	41,9	913,384	0,46	0,06076	8:08:00

*T^a medida en °C, HR en %, CO₂ en mg/m³, CO en mg/m³, O₃ en µg/m³

Tabla 18. Datos tomados el día 23 de abril de 2018

Anillo exterior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	19	57,8	886,414	0	0,09408	19:43:00
2	19,1	59,4	875,626	0	0,0882	19:56:00
3	18,8	62,8	855,848	0,115	0,07252	20:04:00
4	19,9	60,1	890,01	0	0,09996	18:53:00
5	18,9	60,3	902,596	0,115	0,09604	19:06:00
6	18,9	60,5	940,354	0,23	0,07644	19:12:00
7	19,1	62,1	929,566	0,115	0,05684	19:34:00
8	19,9	59,2	868,434	0	0,07644	18:49:00
9	19,9	58,7	940,354	0,23	0,08232	18:42:00
10	19,3	59,5	918,778	0	0,07252	18:40:00
11	19	65,7	911,586	0	0,05684	20:10:00
12	18,9	64,2	886,414	0	0,03724	19:51:00
13	19	63,2	904,394	0	0,06468	19:49:00
14	19,2	63,4	933,162	0	0,06076	19:47:00
15	18,7	62,3	1023,062	0,345	0,08232	19:37:00
16	19,1	61,4	884,616	0	0,08624	19:32:00
17	19	61,9	859,444	0	0,09996	19:57:00
Anillo interior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	18,6	62,8	854,05	0	0,07644	19:40:00
2	18,4	64,2	891,808	0	0,0784	19:59:00
3	19,4	59,8	884,616	0,115	0,07644	18:57:00
4	18,9	61,2	855,848	0	0,07252	19:14:00
5	19	62,2	933,162	0,23	0,05684	19:24:00
6	19,1	63,3	915,182	0	0,07252	19:26:00
7	18,7	61,2	855,848	0	0,08232	19:31:00
8	18,8	60,9	882,818	0	0,07644	19:17:00
9	18,9	61,2	864,838	0	0,05684	19:19:00
10	19,2	58,9	893,606	0	0,08036	19:00:00
11	19	62,2	873,828	0	0,09604	19:27:00

*T^a medida en °C, HR en %, CO₂ en mg/m³, CO en mg/m³, O₃ en µg/m³

Tabla 19. Datos tomados el día 24 de abril de 2018

Anillo exterior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	20,4	48,4	863,04	0	0,09996	8:09:00
2	20,6	48,5	852,252	0,115	0,0784	8:21:00
3	20,7	48,9	890,01	0	0,09212	8:28:00
4	19,9	50,1	881,02	0	0,08624	7:19:00
5	19,9	50,7	884,616	0,115	0,09604	7:33:00
6	20	49,3	859,444	0,115	0,08624	7:39:00
7	20,4	47,1	875,626	0,115	0,0784	8:02:00
8	19,9	50,2	884,616	0	0,09016	7:14:00
9	19,8	50,7	848,656	0	0,08428	7:09:00
10	19,8	50,6	857,646	0	0,09408	7:07:00
11	20,5	50,3	890,01	0	0,08232	8:34:00
12	20,4	50	900,798	0	0,098	8:18:00
13	20,4	50,1	857,646	0	0,08624	8:15:00
14	20,4	49,1	897,202	0	0,08036	8:13:00
15	20,3	48,4	888,212	0,23	0,07644	8:05:00
16	20,5	46,8	873,828	0	0,09408	8:01:00
17	20,7	49	861,242	0	0,0686	8:23:00
Anillo interior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	20,4	48,4	864,838	0	0,09996	8:08:00
2	20,5	48,9	863,04	0	0,10976	8:24:00
3	20	49,1	870,232	0	0,09408	7:23:00
4	20	49,2	888,212	0	0,098	7:41:00
5	20,2	47,9	866,636	0,23	0,10584	7:52:00
6	20,2	48,3	877,424	0	0,07056	7:54:00
7	20,5	46,9	859,444	0	0,09408	8:00:00
8	20,2	48,4	879,222	0,23	0,08624	7:46:00
9	20,1	48,5	850,454	0	0,11172	7:47:00
10	20	49,3	886,414	0	0,10192	7:26:00
11	20,3	47,5	864,838	0	0,09604	7:56:00

*T^a medida en °C, HR en %, CO₂ en mg/m³, CO en mg/m³, O₃ en µg/m³

Tabla 20. Datos tomados el día 26 de abril de 2018

Anillo exterior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	18,7	73,5	875,626	0,115	0,06664	19:42:00
2	19,9	70,3	881,02	0,115	0,07448	18:55:00
3	19,8	72,3	882,818	0	0,06664	18:49:00
4	20,6	64,1	850,454	0	0,07644	18:33:00
5	19	75,1	895,404	0,115	0,08232	19:15:00
6	19,2	73,6	907,99	0	0,08428	19:24:00
7	20,5	69,5	918,778	0	0,06272	19:36:00
8	20,7	63,8	875,626	0	0,06272	18:30:00
9	20,9	64,4	845,06	0,115	0,07056	18:18:00
10	20,7	68	857,646	0	0,08036	18:16:00
11	20,8	64,9	800,11	0	0,07252	18:24:00
12	20,1	70,6	873,828	0	0,0686	18:44:00
13	19,9	70,3	863,04	0	0,0784	18:41:00
14	21	66,6	864,838	0,115	0,06468	18:39:00
15	18,7	74,1	936,758	0,23	0,05096	19:45:00
16	19,7	70,1	870,232	0	0,06076	19:37:00
17	19,7	71,6	873,828	0	0,0784	18:56:00
Anillo interior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	18,8	73,7	873,828	0	0,07644	19:41:00
2	19,7	72,7	911,586	0	0,07252	18:58:00
3	19	73,6	870,232	0	0,06272	19:09:00
4	19,6	72,4	873,828	0	0,06664	19:21:00
5	19,4	72,2	868,434	0,115	0,08036	19:29:00
6	20	69,9	873,828	0	0,05096	19:31:00
7	19,4	71,1	859,444	0	0,07252	19:38:00
8	19,5	73	873,828	0	0,08624	19:03:00
9	19,1	73,4	864,838	0	0,08624	19:04:00
10	19,1	73,5	881,02	0	0,07644	19:06:00
11	19,6	72	879,222	0	0,08624	19:00:00

*T^a medida en °C, HR en %, CO₂ en mg/m³, CO en mg/m³, O₃ en µg/m³

Tabla 21. Datos tomados el día 27 de abril de 2018

Anillo exterior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	18,5	78,9	925,97	0	0,08232	20:26:00
2	17,8	80	884,616	0	0,09408	20:40:00
3	17,8	80,4	915,182	0	0,10192	20:47:00
4	18,9	75,1	879,222	0,115	0,09016	19:30:00
5	18,4	78,2	907,99	0	0,09996	19:46:00
6	17,7	81,9	888,212	0	0,09408	19:54:00
7	18,7	76,2	897,202	0,115	0,0882	20:19:00
8	19,2	73,1	877,424	0	0,0588	19:26:00
9	19	72,7	872,03	0,23	0,08624	19:21:00
10	19,7	70,4	893,606	0	0,08428	19:19:00
11	18,1	79	907,99	0	0,06272	20:53:00
12	18,4	79	970,92	0	0,06272	20:36:00
13	18,3	78,4	922,374	0	0,08624	20:33:00
14	18,3	79	976,314	0	0,0784	20:30:00
15	19	76,1	990,698	0	0,06076	20:22:00
16	18,8	77,3	911,586	0,23	0,08428	20:18:00
17	17,9	80,5	931,364	0	0,09996	20:41:00
Anillo interior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	18,4	78,6	897,202	0	0,08428	20:25:00
2	18,2	79,2	895,404	0	0,08036	20:43:00
3	19,3	73,5	976,314	0,115	0,0588	19:34:00
4	17,8	80,5	888,212	0	0,09212	19:56:00
5	18,4	78,1	895,404	0	0,08232	20:08:00
6	18,3	77,8	881,02	0	0,098	20:10:00
7	18,6	77,2	904,394	0	0,09212	20:16:00
8	18,5	77,6	911,586	0	0,07252	20:01:00
9	18,5	78,6	920,576	0	0,06664	20:03:00
10	18,9	75,1	868,434	0	0,08232	19:37:00
11	18,6	76,7	927,768	0	0,08624	20:12:00

*T^a medida en °C, HR en %, CO₂ en mg/m³, CO en mg/m³, O₃ en µg/m³

Tabla 22. Datos tomados el día 30 de abril de 2018

Anillo exterior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	17,2	63,5	904,394	0	0,0882	20:06:00
2	17,1	65	988,9	0,115	0,09016	20:17:00
3	17	64,3	909,788	0	0,08232	20:24:00
4	17,3	60,2	895,404	0	0,10192	19:25:00
5	17,3	63,2	877,424	0	0,09408	19:34:00
6	16,8	63,5	884,616	0,115	0,0882	19:39:00
7	16,7	65,3	886,414	0,23	0,0882	20:00:00
8	17,4	59,7	881,02	0	0,10976	19:21:00
9	18,3	55,5	870,232	0,23	0,08036	19:16:00
10	18,1	54,9	855,848	0	0,09212	19:14:00
11	17,5	61,9	922,374	0	0,1274	20:30:00
12	17	64,3	909,788	0,115	0,09016	20:15:00
13	17,2	63,7	929,566	0	0,08428	20:13:00
14	17	64,5	936,758	0	0,07252	20:10:00
15	17	63,6	906,192	0,345	0,11172	20:03:00
16	17,1	63,8	897,202	0	0,08428	19:59:00
17	16,9	64	890,01	0	0,1078	20:18:00
Anillo interior						
	T ^a	HR	CO ₂	CO	O ₃	Hora
1	17,2	63,4	888,212	0	0,09212	20:05:00
2	17,3	63,3	952,94	0	0,07252	20:20:00
3	17,5	59,4	891,808	0	0,10584	19:28:00
4	16,9	64	924,172	0	0,10192	19:41:00
5	17	63,5	906,192	0,23	0,10388	19:51:00
6	17,1	63,2	895,404	0	0,10388	19:53:00
7	17	64	909,788	0	0,09604	19:57:00
8	17,4	62,4	916,98	0	0,10388	19:46:00
9	17,1	62,3	890,01	0	0,10584	19:47:00
10	17,1	61,8	872,03	0	0,09604	19:49:00
11	17,3	62,7	954,738	0	0,09996	19:54:00

*T^a medida en °C, HR en %, CO₂ en mg/m³, CO en mg/m³, O₃ en µg/m³