



**PRÁCTICA DEPORTIVA Y CALIDAD DEL
AIRE EN ÁMBITOS URBANOS**

Diciembre 2018

Índice de contenidos

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Objetivos del estudio	4
2. ELEMENTOS CONTAMINANTES Y SU AFECTACIÓN EN LA SALUD.....	5
2.1. Elementos contaminantes relacionados con la calidad del aire.....	5
2.2. Efectos de una pobre calidad del aire en la práctica del deporte	8
3. METODOLOGÍA	12
3.1. Ciudades y ámbitos seleccionados	11
3.2. Dispositivos de medición de la calidad del aire.....	13
4. RESULTADOS	15
4.1. Barcelona.....	15
4.1.1. La calidad del aire en vías de uso frecuente por parte de <i>runners</i>	16
4.1.2. Ayuda a la toma de decisiones en Barcelona	18
4.1.3. Conclusiones	19
4.2. Madrid.....	21
4.2.1. La calidad del aire en vías de uso frecuente por parte de <i>runners</i>	22
4.2.2. Ayuda a la toma de decisiones en Madrid	24
4.2.3. Conclusiones	25
4.3. Málaga.....	26
4.3.1. La calidad del aire en vías de uso frecuente por parte de <i>runners</i>	27
4.3.2. Ayuda a la toma de decisiones en Málaga.....	29
4.3.3. Conclusiones	30
4.4. Sevilla	31
4.4.1. La calidad del aire en vías de uso frecuente por parte de <i>runners</i>	32
4.4.2. Ayuda a la toma de decisiones en Sevilla.....	34
4.4.3. Conclusiones	35
4.5. Donostia.....	36
4.5.1. La calidad del aire en vías de uso frecuente por parte de <i>runners</i>	37
4.5.2. Ayuda a la toma de decisiones en Donostia	39
4.5.3. Conclusiones	40
5. COMPARATIVA ENTRE LAS CIUDADES OBJETO DE ESTUDIO	41
5.1.1. Comparativa entre vías con tráfico y sin tráfico	41
5.1.2. Comparativa entre días laborables y festivos	42
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Actualmente, una amplia mayoría de las grandes áreas metropolitanas del mundo comparten la problemática de la contaminación del aire, y las grandes ciudades europeas y españolas no son una excepción, con niveles altos de concentración de contaminantes locales superiores a los recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la propia Unión Europea (UE). Algunos contaminantes que afectan a la calidad del aire, como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y las partículas en suspensión (PM₁₀ y PM_{2,5}), entre otros, ya forman parte del vocabulario técnico de campos tan distintos como el de la movilidad o el sector industrial y portuario por la incidencia directa que tienen estas actividades en la calidad del aire.

La movilidad motorizada en las vías de acceso y en las calles de nuestras ciudades genera grandes emisiones de este tipo de contaminantes, pero otras actividades como el transporte marítimo, la industria o el sector doméstico también colaboran ampliamente en las emisiones que afectan a la calidad del aire. Por otra parte, los factores meteorológicos (intensidad del viento, lluvia, inversión térmica, etc.) tienen un fuerte impacto en la dispersión de los contaminantes, es decir, en el transporte de los óxidos de nitrógeno y las partículas finas a través del aire.

A diferencia del CO₂ y de otros gases de efecto invernadero que inciden en el calentamiento global del planeta a largo plazo, los contaminantes locales como el NO_x y las PM afectan a la salud de las personas que residen o que se desplazan en el área cercana a la fuente de emisión. Por este motivo, las grandes ciudades crean las condiciones propicias para una máxima incidencia en las personas:

- Alta densidad de vehículos motorizados y de actividades económicas en las ciudades.
- Zonas con más población residente y personas que desarrollan su actividad profesional y deportiva dentro del ámbito urbano, donde la dispersión de contaminantes es menos factible que en entornos rurales.

Esta coincidencia se repite en las grandes ciudades, donde se están aplicando distintas medidas, especialmente desde la aprobación en 2008 de la Directiva Europea 2008/50/CE y la posterior entrada en vigor del Real Decreto 102/2011, que establece umbrales legalmente vinculantes que no se deben sobrepasar por su afectación directa en la salud de las personas.

La OMS, mediante sus directrices sobre calidad del aire (AQG, Air Quality Guidelines), define unos umbrales que suelen ser más estrictos que los objetivos y valores límite actuales de la administración europea.

El control de las emisiones en las ciudades se realiza a lo largo de todo el año con mediciones continuas, a través de un número reducido de estaciones estáticas de medición de los contaminantes, estimando los niveles de contaminación de todo el territorio mediante modelos de dispersión. Esta metodología permite disponer de información sobre la calidad del aire que respiran los ciudadanos, pero no resuelve otras dudas sobre la incidencia de los contaminantes en la salud humana y, en concreto, sobre las personas que recorren la ciudad y realizan deporte en el entorno urbano: ¿es saludable practicar deporte en la ciudad? ¿Hay zonas más recomendables que otras para salir a correr? ¿En qué medida los *runners* están más expuestos a los efectos de la contaminación atmosférica?

En muchos casos existe cierta falta de información sobre cómo afecta la contaminación al deportista, falsos mitos sobre la práctica del deporte en las ciudades e incluso contraindicaciones. Para aportar datos contrastados, el RACC, como club de servicios a la movilidad con experiencia en desarrollar análisis territoriales en relación con la movilidad y la calidad del aire, y la compañía aseguradora Zurich, cuyo objetivo es fomentar el deporte y una vida saludable a través de la organización de carreras deportivas y

maratones, han analizado la relación entre la calidad del aire y el *running* en cinco ciudades españolas: Madrid, Barcelona, Sevilla, Málaga y Donostia.

1.2. Objetivos del estudio

El presente estudio pretende aplicar una metodología novedosa para conocer los diferentes niveles de contaminación en varios puntos de la ciudad, en distintas horas y días, para orientar mejor a deportistas sobre cuándo y dónde es más saludable practicar deporte. El colectivo *runner* está en una tendencia al alza desde hace tiempo. Este aumento sostenido de los últimos años ha situado al *running* como tercer deporte más practicado por las mujeres españolas y el cuarto por los hombres, según la Encuesta de Hábitos Deportivos en España.

Asimismo, un 82% de las personas que practican deporte en España indican que lo hacen por razones relacionadas con la salud. Por eso, en los últimos años ha aumentado la preocupación por la contaminación atmosférica de las ciudades españolas y su afectación en la salud. Se trata de una inquietud fundamentada y que se debe, en parte, a las emisiones contaminantes provenientes de la combustión de los vehículos a motor.

Objetivo general: información a disposición del usuario

Sin duda, uno de los colectivos más expuestos a las emisiones contaminantes son las personas que corren y entrenan en las calles, avenidas y parques urbanos. La práctica del deporte va asociada a una vida saludable, pero actualmente se desconoce hasta qué punto la contaminación local puede contrarrestar el efecto positivo de la actividad física. La información al *runner* sobre el impacto de la calidad del aire en la práctica deportiva en zona urbana y el conocimiento de la calidad del aire, según el ámbito de la ciudad, el tipo de día de la semana (laborable/festivo) y las franjas horarias del día, aportan un valor añadido en la planificación de los entrenamientos que actualmente no está disponible a nivel de usuario.



El estudio realizado por el RACC, en colaboración con Zurich, se ha llevado a cabo para poder dotar al *runner* de la máxima información para la toma de decisiones relacionadas con la práctica del deporte y, específicamente, para la programación de sus entrenamientos. Pero también se focaliza en las personas

que hoy por hoy no practican deporte habitualmente y desean modificar sus hábitos hacia una vida más activa.

El estudio se estructura en dos áreas diferenciadas: un análisis de las opiniones de los expertos en la materia para determinar el impacto de los contaminantes locales sobre la salud humana y la práctica del deporte en general y una segunda parte en la que se aportan los resultados obtenidos en las mediciones de calidad del aire en cada ciudad, junto con una interpretación técnica de los resultados.

2. ELEMENTOS CONTAMINANTES Y SU AFECTACIÓN EN LA SALUD

Cada vez más personas se trasladan a vivir a áreas metropolitanas (más del 50% de la población mundial), una tendencia que aumenta el crecimiento urbano y la concentración de población y actividades económicas. Estos factores también propician una mayor contaminación del aire, que se está convirtiendo en una prioridad de salud pública en nuestras ciudades.

El objetivo de este capítulo del estudio es analizar los efectos de los distintos contaminantes sobre la población humana, especialmente su impacto en las personas que practican deporte. Por otra parte, también se establece una comparativa entre los efectos de realizar ejercicio al aire libre y el sedentarismo para sensibilizar sobre el impacto negativo de llevar una vida sedentaria a largo plazo.

2.1. Elementos contaminantes relacionados con la calidad del aire

La exposición que supone vivir en una ciudad donde la calidad del aire es inferior a los límites establecidos puede afectar negativamente a la salud de las personas de forma episódica o crónica: es episódica cuando la persona se expone a altas concentraciones de contaminantes durante un periodo corto de tiempo (horas o días), y se definen como crónicos los casos de exposición permanente y continuada, aunque sea a concentraciones relativamente menores.

La vía respiratoria es la entrada principal de los contaminantes que hay en el aire y pueden provocar la inflamación o reducción de la función pulmonar. Pero las afecciones sobre la salud humana no se limitan al aparato respiratorio, ya que existen otros efectos habituales como la irritación de mucosas (ojos, nariz y esófago) o las afectaciones sobre el sistema cardiovascular y el empeoramiento de algunos tipos de cáncer o diabetes, lo que puede acortar el tiempo de vida de las personas que sufren la contaminación.

El impacto del tráfico motorizado o de las actividades industriales sobre la concentración de contaminantes atmosféricos es relevante, pero es necesario indicar que la calidad del aire se ve fuertemente influenciada por la contribución regional y los siguientes factores:

- Proximidad de la fuente emisora.
- Altitud a la que se liberan los contaminantes.
- Condiciones meteorológicas (viento, calor, lluvia, inversión térmica).
- Transformaciones químicas (reacciones a la luz solar e interacciones de los contaminantes).
- Condiciones geográficas del territorio (topografía).

Este estudio se centra en el análisis de las partículas en suspensión (PM) y del dióxido de nitrógeno (NO₂), por considerarse los más importantes en cuanto a afectación en la salud de las personas y a nivel de concentración en la mayoría de las ciudades europeas. A continuación, se describen sus fuentes emisoras y consecuencias para la salud después de una exposición por tiempo prolongado.

Partículas en suspensión (PM)

Partículas en suspensión o partículas finas es el término general utilizado para una mezcla compleja de partículas (sólidas y líquidas) formadas por un conjunto de moléculas suspendidas en el aire que son uno de los contaminantes que mayor impacto tienen en la salud humana, ya que penetran en regiones

sensibles del sistema respiratorio y pueden causar problemas de salud en otros sistemas del cuerpo humano. Estas partículas son un indicador decisivo en la valoración de la calidad del aire.

Las PM pueden proceder de muchas fuentes y son una compleja mezcla heterogénea cuyo tamaño y composición química varía en el tiempo y en el espacio, en función de las fuentes de emisión y las condiciones atmosféricas y climáticas. Pueden ser de origen primario —son emitidas directamente a la atmósfera desde fuentes emisoras, como, por ejemplo, chimeneas— o de origen secundario —se producen en la atmósfera como resultado de reacciones químicas que involucran a gases precursores de las PM (SO₂, NO_x, NH₃) y compuestos orgánicos volátiles (COV)—. Del mismo modo, pueden ser generadas por dos tipos de factores:

- **Naturales:** aquellas que se emiten sin involucración del factor humano, como polvo del desierto, sales marinas, sulfatos marinos, cenizas volcánicas, microorganismos, polen, algas e insectos, entre otros.
- **Antropogénicos:** aquellas que se emiten por actividades en las que está involucrado el ser humano:
 - Tráfico: abrasión de firme, neumáticos y frenos, hollín (*black carbon*, principalmente de los motores diésel).
 - Quema de biomasa: compuestos derivados de su combustión.
 - Actividades industriales: cementeras, industria cerámica, metalurgia, centrales térmicas.

Las partículas finas se clasifican según su diámetro aerodinámico: las más grandes tienen 10 micras de diámetro o menos (PM₁₀). Sin embargo, las que más preocupan son las de 2,5 micras de diámetro o menos (PM_{2,5}), un tamaño suficientemente reducido como para pasar de las vías respiratorias al flujo sanguíneo a través de los alveolos, como las moléculas de oxígeno. Además, estas partículas de menor tamaño están compuestas por elementos más tóxicos que los que componen, en general, las partículas más grandes, ya que proceden de procesos de combustión, como los metales pesados y los compuestos orgánicos.

Existe un amplio consenso epidemiológico que atribuye a las partículas finas los efectos más graves sobre la salud, porque empobrecen la calidad del aire. Incluso en concentraciones por debajo de las directrices actuales de la Unión Europea relativas a la calidad del aire, es posible que las PM supongan un riesgo para la salud. Por esta razón, a nivel científico no se sugiere un umbral por debajo del cual no se puedan anticipar efectos adversos para la salud con la exposición a PM (OMS, 2006), debido a su potencial para provocar o agravar enfermedades cardiovasculares y pulmonares.

Hay una relación directa entre la exposición a altas concentraciones de PM y el aumento de la mortalidad a largo plazo. La exposición permanente a material particulado contribuye al riesgo de desarrollar:

- Problemas en el sistema nervioso central.
- Enfermedades crónicas cardiovasculares.
- Problemas respiratorios e irritación en ojos, nariz y garganta.
- Afecciones en el sistema respiratorio: irritación, inflamaciones, asma, reducción de la capacidad respiratoria, enfermedades de obstrucción pulmonar, así como cáncer de pulmón.
- Problemas en el sistema reproductivo.

En la Unión Europea, la esperanza de vida media se estima que es 8,6 meses menor debido a la exposición a las PM_{2,5} resultantes de las actividades humanas (OMS, 2008).

Debido a las repercusiones que estas partículas pueden tener en la salud, tanto la OMS como la Unión Europea han fijado valores umbrales que deben ser cumplidos:

Tabla 1. Valores umbrales de las PM

PM	Periodo	OMS	UE
PM _{2,5}	Media anual	10 µg/m ³	25 µg/m ³
	Media en 24 h	25 µg/m ³	--
PM ₁₀	Media anual	20 µg/m ³	40 µg/m ³
	Media en 24 h	50 µg/m ³	50 µg/m ³

Fuente: OMS y Unión Europea.

Dióxido de nitrógeno (NO₂)

Otro de los gases contaminantes que puede producir efectos nocivos en la salud humana y que se puede encontrar en altas concentraciones en las grandes áreas metropolitanas es el óxido de nitrógeno, en concreto el dióxido de nitrógeno (NO₂).

El NO₂ es un gas formado por dos átomos de oxígeno y uno de nitrógeno. Es reactivo y se forma principalmente por la oxidación del óxido de nitrógeno (NO), siendo las principales fuentes de emisión del NO₂ antropogénicas, principalmente de los procesos de combustión a altas temperaturas (calefacción, generación de electricidad y motores de vehículos y barcos). La cantidad de NO₂ emitida depende de las condiciones de la combustión y de la cantidad y tipología del combustible quemado.

Las afectaciones en la salud pueden darse incluso por exposición al NO₂ a corto plazo en concentraciones superiores a 200 µg/m³, ya que produce inflamaciones significativas de las vías respiratorias y cambios en la función pulmonar en los grupos vulnerables de la población. Una exposición más continuada y a largo plazo se asocia a la susceptibilidad a las infecciones respiratorias e irritación en ojos, nariz y garganta. Además, la exposición prolongada a NO₂ se relaciona con un aumento de los síntomas de bronquitis en niños y una disminución del desarrollo pulmonar, así como con afectaciones sobre el sistema sanguíneo.

Los valores fijados por la OMS y por la Unión Europea son:

 Tabla 2. Valores umbrales de NO₂

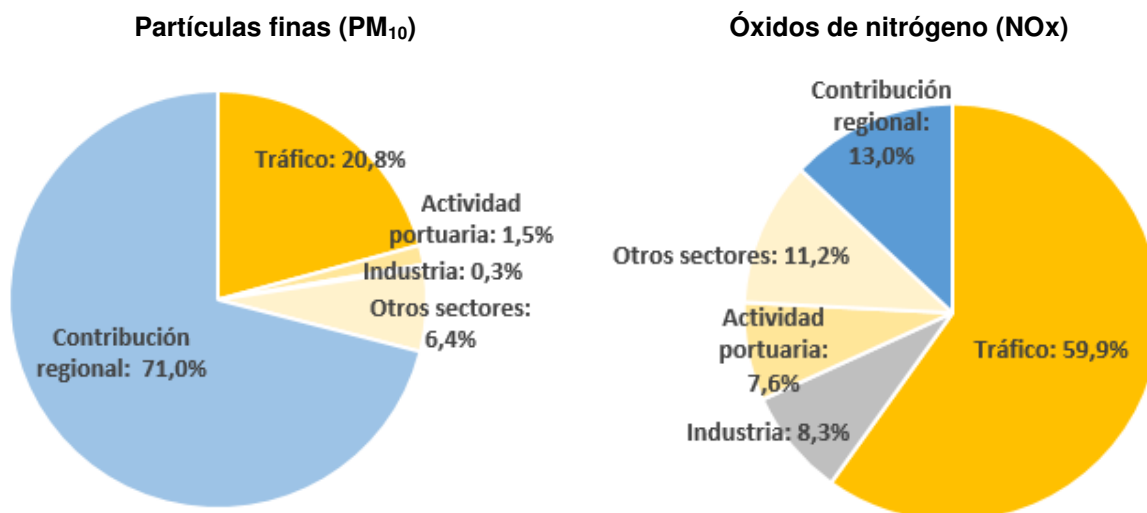
Contaminante	Periodo	OMS	UE
NO ₂	Media anual	40 µg/m ³	40 µg/m ³
	Media en 1 h	200 µg/m ³	200 µg/m ³

Fuente: OMS y Unión Europea.

Principales fuentes emisoras de contaminación atmosférica en las ciudades

Uno de los aspectos más relevantes sobre los contaminantes es la procedencia de las emisiones. Algunas administraciones han realizado un inventario de emisiones a nivel global (t/año) que permite asignar una cuota de participación de cada actividad económica.

Figura 1. Fuente de las emisiones en Barcelona



Fuente: Pla de Qualitat de l'Aire del Port de Barcelona, 2016.

Estos datos indican el alto impacto de la contribución regional en la contaminación por partículas, generalmente formada por material mineral. Por otra parte, tomando como referencia los datos de la ciudad de Barcelona, se observa que aproximadamente el 20% de las partículas finas y el 60% de los óxidos de nitrógeno provienen directamente de la movilidad rodada. De esta forma, se justifica que en la presentación de algunos resultados parciales se haya discriminado entre zonas con tráfico y zonas sin tráfico o con un impacto de la circulación motorizada menor.

2.2. Efectos de una pobre calidad del aire en la práctica del deporte

La práctica del deporte en ámbito urbano, y en concreto del *running*, implica un mayor tiempo de contacto directo con los contaminantes locales, así como una inhalación de aire superior debido a la propia actividad física. Este aumento de la exposición puede suscitar algunas preguntas entre el colectivo *runner*:

- ¿Es saludable salir a entrenar en la ciudad?
- En caso de vivir en una gran ciudad, ¿es mejor no salir a correr?
- ¿Qué diferencia hay entre salir a correr en un ámbito urbano o entrenar en un área verde?
- ¿Tengo que tomar alguna precaución?

Actualmente, la mayoría de los expertos en la materia se centran en los efectos de los contaminantes sobre el global de la población, haciendo hincapié en colectivos más vulnerables como los niños y las personas de la tercera edad, con algunas referencias a la práctica general del deporte en el ámbito urbano. La búsqueda en la red suele aportar disparidad de opiniones y posicionamientos sobre estas temáticas. Por el contrario, cada vez es más fácil acceder a la información pública sobre los índices de calidad de aire en tiempo real de las estaciones de medida de contaminantes, aunque estos indicadores no son representativos de toda la ciudad, teniendo desviaciones superiores al 50% en algunos casos. (Alastuey, Querol, 2018).

Afectaciones directas en las personas que practican deporte en entornos urbanos

La actividad física aumenta la frecuencia respiratoria y durante el esfuerzo físico se puede llegar a multiplicar por 40 la ventilación, una respiración que suele hacerse por la boca. En consecuencia, la cantidad de contaminantes que se inhala también aumenta de forma considerable. Las afecciones de estas sobreexposiciones se pueden considerar a corto plazo y también se han estudiado a largo plazo.

La exposición a corto plazo puede producir problemas pulmonares como la inflamación de aquellas partes por las que circulan los óxidos de nitrógeno al respirar, especialmente si la inhalación del aire se hace a través de la boca, ya que se pierde el filtro natural que suponen los pelos y la mucosa de la nariz, y las partículas acceden directamente por la garganta a los pulmones. Algunos efectos más comunes, en caso de situaciones de alta contaminación, suelen ser la sensación de falta de entrada de aire de manera regular y la de pitidos en los oídos. (Plan de Actuación para la Calidad del Aire, Horizonte 2020).

¿Afecta a todos por igual? Las personas con un entrenamiento recurrente y que no fuerzan su cuerpo durante el ejercicio físico tienen una menor necesidad de respiración por la boca, por lo que la afectación en estos casos es inferior. Se puede concretar que la forma de respirar y otros factores relacionados, como la condición física, la edad y las conductas habituales (trabajo, tabaquismo...), pueden provocar afectaciones debido a la contaminación.

Para reducir el impacto de los contaminantes en la salud durante la práctica deportiva, es recomendable respirar por la nariz, que actúa como filtro natural.

A largo plazo se observa que existe una interacción entre la actividad física y la contaminación del aire. En concreto, se han realizado estudios controlados de exposición en la vida real que han detectado una reducción de la función pulmonar asociada a la práctica de actividades que requieren cierto ejercicio físico (correr cerca del tráfico pesado de una vía principal o circular en bicicleta durante las horas pico) en un entorno urbano con altas concentraciones de contaminantes locales; en este caso, en una calle concurrida de una gran ciudad como Londres. (McCreanor et al., 2007; Zhang et al., 2009).

Por otra parte, ningún estudio ha concluido que una exposición a la contaminación del aire modifique los efectos beneficiosos para la salud que supone la actividad física, sin ningún efecto directo sobre la mortalidad de las personas.

La distancia al foco emisor y los recorridos por el verde urbano de las ciudades

Otro aspecto relevante es la distancia a la fuente de contaminación y las barreras que separan el recorrido del *runner* de la calzada por donde circulan los vehículos, caso que la fuente emisora sea el transporte terrestre.

Los contaminantes que afectan a la calidad del aire inciden en las personas en el mismo punto en el que han sido emitidos y, por lo tanto, la distancia respecto al foco de emisión tiene una relación directa con la calidad del aire que se respira. Algunos proyectos indican que alejarse tan solo un metro de la calzada puede reducir un 15% la exposición a contaminantes, y que cambiar de una calle con una intensidad alta de tráfico a otra sin apenas circulación puede suponer una reducción superior al 60%.

La presencia de vegetación es positiva gracias a su efecto barrera entre el foco de emisión y el itinerario de entrenamiento del *runner*. La exposición a la contaminación es substancialmente menor en caso de existencia de setos (de hoja no caduca), por lo que en algunas ciudades ya están aplicando barreras vegetales para limitar las afectaciones del tráfico en peatones y eventuales *runners*. Por otra parte, el verde urbano también se puede convertir en un elemento que impida la dispersión de contaminantes en el caso de arbolado en calles estrechas con edificios altos, una tipología urbana habitual en las capitales españolas analizadas. (Acero et al., 2010).

Comparativa entre vida sedentaria y práctica de deporte

A pesar de los problemas que supone la exposición a la contaminación del aire, existe un gran consenso científico que aconseja la práctica habitual de actividades deportivas, ya sea salir a correr, ir en bicicleta o incluso caminar (Andersen et al., 2015).

Se ha demostrado que los beneficios de practicar deporte son mayores que los posibles perjuicios derivados de la exposición a una mala calidad del aire.

La existencia de contaminación atmosférica en niveles moderados no está contraindicada con la práctica deportiva en la calle. De hecho, con los niveles actuales (obtenidos en las mediciones del presente estudio) de las distintas ciudades españolas, ocho horas diarias de exposición durante la realización de ejercicio en el exterior no tendría efectos negativos para la salud.

La actividad física desempeña un papel clave en la mejora de los mecanismos fisiológicos y activa la liberación de múltiples sustancias en el organismo, así como de hormonas que estimulan el sistema inmunológico. Esta realidad presenta una posible contradicción entre los efectos beneficiosos de la actividad física en el entorno urbano y los efectos perjudiciales de la contaminación atmosférica en la salud.

Al inhalar contaminantes, el organismo sufre daños e inflamaciones, pero el ejercicio tiene la capacidad de compensar este impacto negativo. Además, hay que tener en cuenta que el sedentarismo es un factor de riesgo cardiovascular más importante que el tabaquismo, la hipertensión, la diabetes o la propia exposición a contaminantes locales como el NO₂ o las PM del aire.

Las conclusiones indican que realizar actividades que requieren ejercicio físico en la vía pública, como correr, ir en bici o realizar cualquier actividad al aire libre, se asocia con una menor mortalidad, aspecto que no se modifica significativamente por la exposición al NO₂ en un entorno urbano: los beneficios estimados de la actividad deportiva sobre la mortalidad respiratoria se redujeron ligeramente, pero no se anularon para aquellos que viven en áreas con altos niveles de NO₂—no es el caso de las ciudades españolas, con excepción de la declaración de episodios de contaminación, de 0 a 5 días anuales—. En general, los beneficios a largo plazo de la actividad física en términos de reducción de la mortalidad superan el riesgo asociado con una mayor exposición a la contaminación del aire durante la actividad física.

En este sentido, únicamente se recomendaría no realizar deporte en días de episodios de contaminación a la población más vulnerable (niños y personas mayores, o cualquier persona que sufra enfermedades del corazón o respiratorias).

3. METODOLOGÍA

Las estaciones de la red de control y vigilancia de la calidad del aire, así como los modelos de dispersión que ofrecen un mapa de calidad del aire para todo el territorio urbano, ayudan a obtener una visión global de la contaminación atmosférica, pero no permiten disponer de información detallada en ámbitos específicos de toda la ciudad.

Debido a la limitación existente de los datos públicos, se ha procedido a la obtención de las concentraciones de los gases contaminantes utilizando dispositivos móviles (nodos) ubicados en diferentes puntos seleccionados estratégicamente en un total de cinco ciudades españolas. Se trata de una metodología que se ha acompañado de una tecnología innovadora, aplicada en un estudio comparativo por primera vez en España.

La selección de puntos de medición distintos en cada ciudad permite conocer las diferencias entre la calidad del aire que respiran los deportistas según el ámbito de la ciudad (grandes arterias viales, zonas verdes o paseos marítimos). Los puntos seleccionados se ubican en varias áreas de la ciudad, pero tienen un aspecto común: la gran afluencia de *runners*. Por otra parte, el estudio también pretende examinar qué días de la semana existe una mayor exposición a la contaminación local y cuantificar la afectación diferencial según las horas del día (mañana, mediodía y tarde).

3.1. Ciudades y ámbitos seleccionados

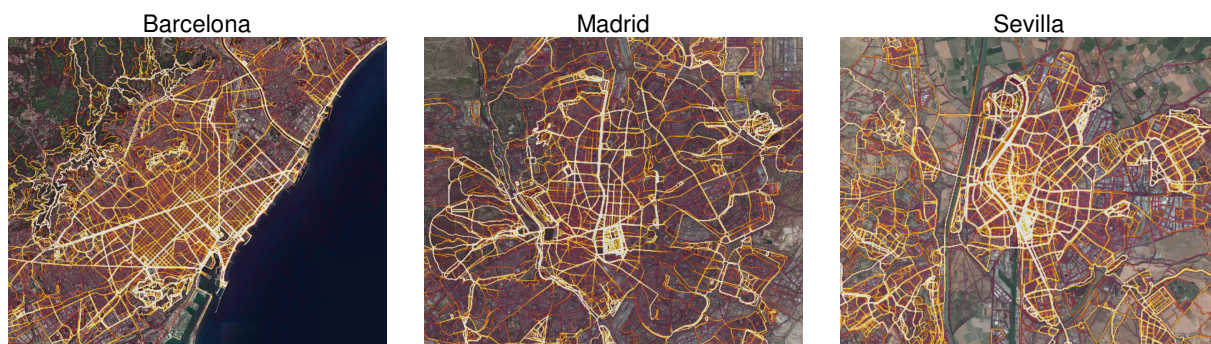
El ámbito del análisis son las cuatro ciudades españolas que acogen anualmente maratones organizados por Zurich: Barcelona, Sevilla, Málaga y Donostia, a las que se ha añadido la ciudad de Madrid. La ubicación geográfica de cada una de ellas, así como su climatología, densidad de población, etc., permiten disponer de un abanico de mediciones diferenciadas y obtener información de ámbitos metropolitanos con distinto impacto en la dispersión de los contaminantes que pueden afectar a la calidad del aire: temperatura, días de lluvia, influencia marítima, altitud, distribución urbana o número de habitantes.

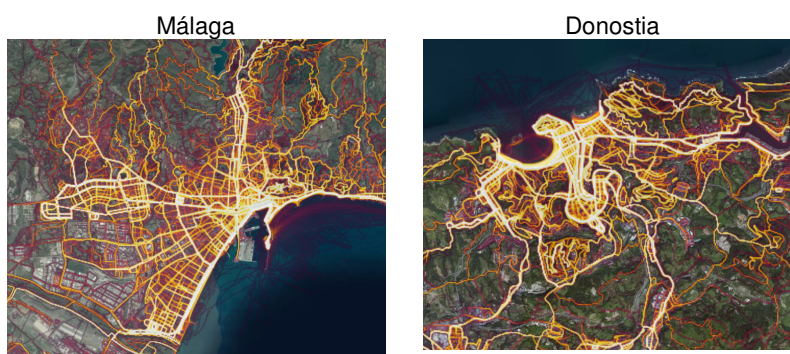
La selección de las vías o ámbitos de análisis de las concentraciones de gases contaminantes se ha realizado teniendo en cuenta dos factores a nivel cualitativo:

1. Afluencia de personas realizando deporte diariamente, concretamente *running*

La alta concentración de *runners* se ha determinado a través de los *heatmap* (mapas de calor), que indican de forma cualitativa los itinerarios y ámbitos con mayor afluencia de *runners* y que son publicados por algunas aplicaciones de actividades deportivas. En el presente estudio se ha escogido el modo Runner de la aplicación Strava, donde se puede visionar la agregación de datos de los deportistas que han registrado su entrenamiento mediante el GPS de la propia aplicación móvil. La información reportada indica la trayectoria del deportista o el tiempo recorrido, entre otras estadísticas publicadas.

Figura 2. Flujos de afluencia de personas practicando *running*





Fuente: Strava.

2. Ámbitos diferenciados: parques/zonas verdes y arterias principales de la ciudad

Se ha procedido a definir dos tipos de puntos de medición diferenciados según la intensidad de la actividad y densidad urbana. En cada ciudad se han seleccionado dos puntos ubicados en zonas verdes, parques o ámbitos alejados del tráfico motorizado, y dos puntos cercanos a alguna avenida con influencia del tráfico motorizado:

Tabla 3. Ámbito de estudio

Localización	Descripción	Tráfico
Barcelona		
Av. Diagonal	Vía principal	Elevado
Av. Paral·lel	Vía principal	Elevado
Paseo Marítim	Vía no principal	Bajo
Paseo de les Aigües	Parque natural	Sin tráfico
Madrid		
Paseo de la Castellana	Vía principal	Elevado
Av. Pablo Iglesias	Vía principal	Elevado
Casa de Campo	Parque	Sin tráfico
Parque del Retiro	Parque	Sin tráfico
Málaga		
Av. Editor Ángel Caffarena	Vía principal	Elevado
Av. Jorge Silvela	Vía principal	Elevado
Palmeral de las Sorpresas	Parque	Sin tráfico
Av. Manuel Alvar	Vía principal	Elevado
Sevilla		
Parque Miraflores	Parque	Sin tráfico
C/ Rey Juan Carlos/Puente de la Barqueta	Parque	Sin tráfico
Paseo Alcalde Marqués de Contadero	Vía principal	Elevado
Av. Isabel la Católica	Vía principal	Elevado
Donostia		
Plaza Ibaeta	Vía principal	Elevado
Anoeta	Parque	Sin tráfico
Paseo de Miraconcha	Paseo marítimo peatonal	Sin tráfico
Paseo del Urumea/Puente M ^{ra} Cristina	Vía principal	Elevado

Fuente: elaboración propia.

Días y horas de medición

La concentración de contaminantes en la atmósfera depende de varios factores y no se mantiene igual en el tiempo por distintos motivos. El día de la semana en la obtención de datos y la hora del día analizada probablemente arrojen resultados distintos debido a las variaciones de la actividad humana. Otro factor que puede impactar directamente en la obtención de los resultados finales son las condiciones meteorológicas como la lluvia, el viento o la presión atmosférica, que contribuyen directamente a la dispersión de contaminantes.

El estudio se ha realizado en un periodo de tiempo limitado de tres días por ciudad (tanto festivos como laborables), lo que no permite comparar los valores de las concentraciones de partículas y óxidos de nitrógeno con otros promedios anuales que se registran a través de las estaciones permanentes, pero sí son suficientes para llevar a cabo un análisis comparativo entre la calidad del aire de distintos puntos según la hora del día y el día de la semana.

- Madrid: mediciones los días 8, 9 y 10 de julio.
- Barcelona: mediciones los días 8, 9 y 10 de julio.
- Sevilla: mediciones los días 15, 16 y 17 de julio.
- Málaga: mediciones los días 15, 16 y 17 de julio.
- Donostia: mediciones los días 22, 23 y 24 de julio.

El 100% de las mediciones se han realizado en condiciones meteorológicas de ausencia de lluvia y viento durante el día del análisis *in situ* y los días precedentes, por lo que se ha reducido significativamente el impacto de la meteorología en la dispersión de contaminantes.

3.2. Dispositivos de medición de la calidad del aire

Los dispositivos Bettair cuentan con una novedosa tecnología que permite el mapeo de la contaminación de forma eficiente mediante nodos portátiles *low cost*. En este estudio se han empleado dispositivos portátiles que son perfectamente adaptables a cualquier ámbito urbano, no requieren fuente de alimentación externa y transmiten datos directamente a un servidor para su procesamiento en la nube.

Los nodos estáticos están compuestos por:

- Hasta tres sensores electroquímicos (ppb o $\mu\text{g}/\text{m}^3$) para medir: NO_2 , NO , CO , O_3 , H_2S y SO_2 .
- Contador óptico de partículas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para medir: PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ y PM_1 .
- Otros indicadores de calidad ambiental, como la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y la humedad relativa (% HR), también se miden.

La tecnología Bettair ha sido testeada por reconocidas entidades de investigación y desarrollo a nivel internacional, como el Massachusetts Institute of Technology (MIT), la Columbia University o el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), y ha sido validado en el proyecto CITI-SENSE por entidades referentes en la investigación de la salud como ISGlobal o el Instituto de Medicina Experimental de la Academia de Ciencias de la República Checa (CAS).

Estos dispositivos autónomos se instalan en farolas (o mobiliario urbano) a una altura de 1,5 a 2 m (altura similar a la de una persona) en una matriz densa distanciada entre 0,5 km y 1 km, lo que permite una alta



resolución espacial y temporal. Las mediciones se realizaron *in situ*, con personal propio que realizó las funciones de monitorización y de vigilancia de los nodos al estar en un emplazamiento público. Los desplazamientos urbanos entre los distintos puntos de medición realizados por el equipo del estudio se han realizado en modos de transporte sostenible: sistema de bici compartida y servicios de *motosharing*, según el ámbito de cada ciudad.

Figura 3. Ejemplo de ubicación de los dispositivos



Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS

4.1. Barcelona

El Ayuntamiento de Barcelona ha clasificado la calidad del aire en cinco niveles para facilitar su comprensión por parte de los ciudadanos, basándose en los umbrales de referencia de la OMS y en las diversas fases del protocolo municipal para episodios de alta contaminación. El escalado de los niveles se basa en las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO₂) y de partículas respirables (PM₁₀) presentes en la atmósfera. Las PM_{2,5} no han sido incluidas en dicha clasificación.

Tabla 4. Clasificación del estado de la calidad del aire del Ayuntamiento de Barcelona

EQAB	NO ₂ Máxima horaria (µg/m ³)	PM ₁₀ Media diaria (µg/m ³)
Bueno	0-40	0-20
Moderado	40-140	20-40
Regular	140-160	40-50
Malo	160-200	50-80
Muy malo	Más de 200	Más de 80

Fuente: Índice de calidad del aire de Barcelona.

Estos intervalos han sido tenidos en cuenta en la valoración de los resultados obtenidos en las mediciones realizadas en este estudio. A continuación se presentan los resultados de las mediciones llevadas a cabo en las cuatro localizaciones de la ciudad de Barcelona.

Figura 4. Puntos de medición de calidad del aire en Barcelona



Fuente: elaboración propia.

Como tramas urbanas densas a nivel urbanístico y con importantes volúmenes de tráfico, se han seleccionado los puntos de Avenida Diagonal y Avenida Paral·lel. En un ámbito intermedio, donde hay tráfico rodado pero un menor volumen de vehículos y donde existe influencia marítima, la localización

seleccionada ha sido el Paseo Marítim. Y por último, como ámbito periurbano de carácter natural, se ha ubicado un punto de medición en el Paseo de les Aigües (en concreto, en el Mirador dels Xiprers), en el interior del Parque Natural de Collserola.

4.1.1. La calidad del aire en vías de uso frecuente por parte de runners

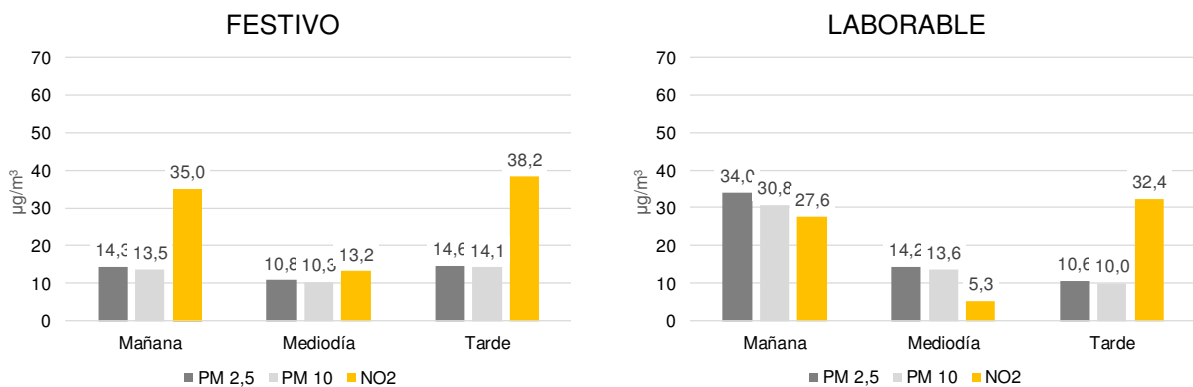
4.1.1.1. Avenida Diagonal (entre las calles Numància y Entença)

Los resultados de la toma de datos de la concentración horaria de contaminantes en día festivo en la Avenida Diagonal son relativamente bajos en los tres periodos del día analizados (mañana, tarde y noche), siendo los valores de PM muy estables. Sin embargo, la concentración de NO₂ es significativamente más elevada, sin superar en ningún caso los umbrales límite de los organismos de referencia y siendo considerados como buenos por parte del Ayuntamiento de Barcelona.

Por el contrario, el análisis en día laborable refleja que el periodo de la mañana es el peor de los tres para las PM y el NO₂.

El mejor momento del día para practicar deporte en día laborable sería a mediodía, cuando los valores tanto de PM como de NO₂ son mucho más bajos.

Figura 5. Barcelona: resultados Avenida Diagonal



Fuente: elaboración propia.

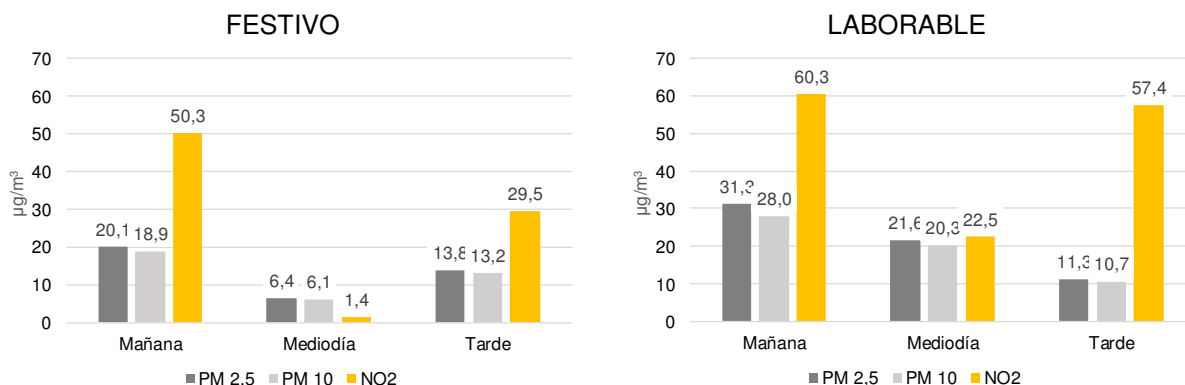
4.1.1.2. Avenida Paral·lel (Plaza Espanya)

En día festivo las concentraciones de contaminantes reflejan que en la Av. Paral·lel es más recomendable correr o realizar actividad física a mediodía, ya que los valores de PM y de NO₂ son muy bajos (las PM no superan los 6,5 µg/m³ y el NO₂ es de 1,4 µg/m³). En el periodo de la tarde los valores aumentan, sobre todo en el caso del NO₂, que alcanza los 29,5 µg/m³. Por la mañana los valores de PM_{2,5} son tres veces mayores a los obtenidos a mediodía y el valor de NO₂ es 35 veces superior por la mañana que en las horas centrales del día, lo que para este contaminante correspondería a una calidad del aire moderada (más de 40 µg/m³), según el Ayuntamiento de Barcelona.

En día laborable el mejor momento para salir a correr es por la tarde, cuando los valores de PM están por debajo de 12 µg/m³, lo que significa una buena calidad del aire, aunque los valores de NO₂ sean mayores (calidad del aire moderada según el Ayuntamiento de Barcelona). En el periodo de mediodía los valores de PM y NO₂ son medios y se consideraría un momento óptimo para salir a realizar actividades deportivas en este ámbito. Por la mañana los valores de PM_{2,5} son superiores a los 25 µg/m³ que establece como límite la OMS, por lo que, de mantenerse estos valores las 24 horas, no se estaría respetando este límite y las PM₁₀, con 28 µg/m³, generarían una calidad del aire moderada.

En el caso de la Avenida Paral·lel, el día laborable en horario de mañana sería el momento más desaconsejable para realizar actividades físicas, debido a que las mediciones obtenidas superan en los tres contaminantes a las tomadas a mediodía y por la tarde en el mismo ámbito.

Figura 6. Barcelona: resultados Avenida Paral·lel



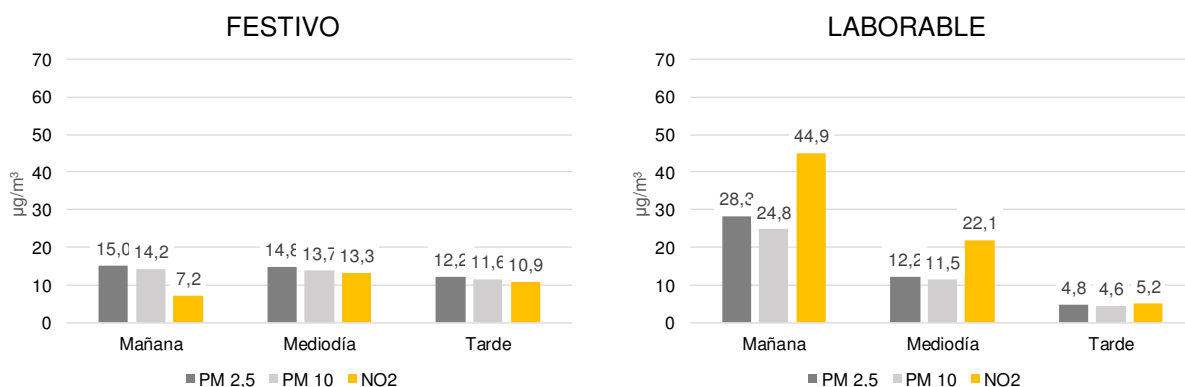
Fuente: elaboración propia.

4.1.1.3. Paseo Marítim

Los valores obtenidos en la medición en festivo reflejan que cualquier momento del día es recomendable para la realización de actividad física, encontrándose las PM_{2,5} siempre por debajo de los 15 µg/m³ y con valores de NO₂ que reflejan una buena calidad del aire.

En día laborable el momento del día más recomendable para ir a correr, por la escasa existencia de elementos contaminantes en el aire, sería el periodo de tarde, donde las PM no superan los 5 µg/m³ y el NO₂ está a 5,2 µg/m³. El mediodía también es un momento en el que los valores medidos no son elevados, por lo que la práctica deportiva es aconsejable. Por la mañana el valor de PM_{2,5} es el peor (casi seis veces más que por la tarde), por lo que es el momento del día menos recomendable para salir a correr. Los valores de PM₁₀ (24,8 µg/m³) y de NO₂ (44,9 µg/m³) muestran una calidad también muy superior al mediodía y por la tarde.

Figura 7. Barcelona: resultados Paseo Marítim

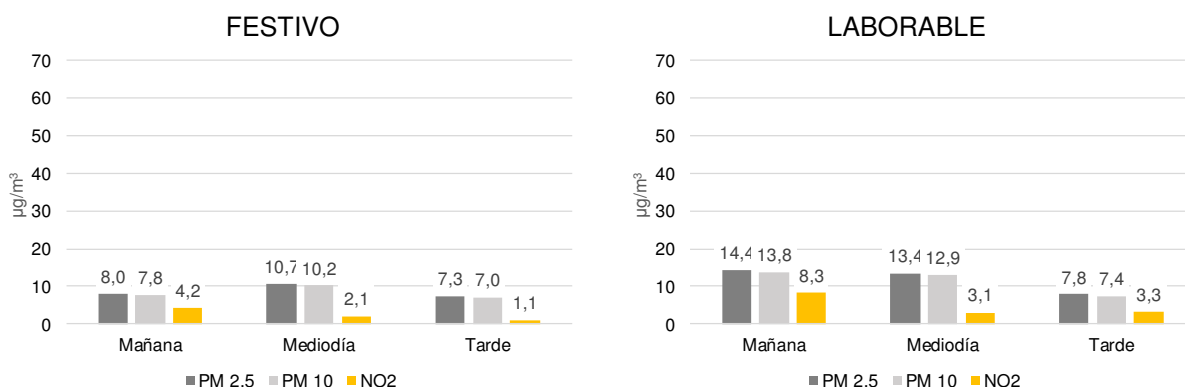


Fuente: elaboración propia.

4.1.1.4. Paseo de les Aigües (Mirador dels Xiprers)

El Paseo de les Aigües se encuentra en un parque natural muy cercano y con múltiples accesos a la ciudad, aunque alejado del tráfico de vehículos a motor. En este sentido, los valores medidos, tanto de PM como de NO₂, son relativamente muy bajos en jornada festiva en cualquier periodo del día, por lo que se convierte en un espacio muy adecuado para la práctica de deporte, siendo la calidad del aire buena según el Ayuntamiento de Barcelona. En días laborables los valores más bajos se encuentran en las horas de la tarde, aunque la concentración de PM o NO₂ no es elevada en ningún momento, por lo que se trata de un itinerario muy recomendable para el entrenamiento de *runners* en cualquier día de la semana y prácticamente a cualquier hora.

Figura 8. Barcelona: resultados Paseo de les Aigües



Fuente: elaboración propia.

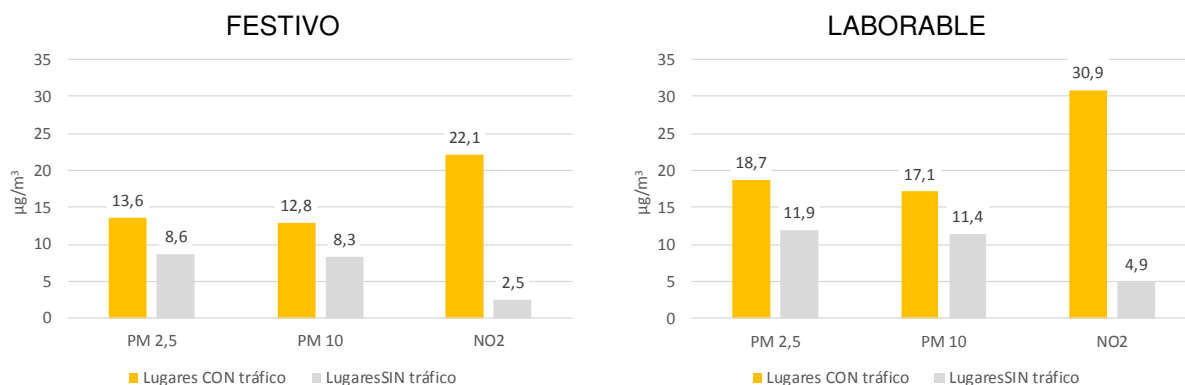
4.1.1.5. Comparativa según presencia de vehículos a motor de combustión

En Barcelona, tanto en día festivo como en laborable, la concentración de contaminantes es mucho menor en las vías donde el tráfico es inexistente (Paseo de les Aigües) o bajo (Paseo Marítim).

En general, hay una diferencia significativa de la concentración de NO₂ en función de la intensidad del tráfico: en festivo, la presencia de NO₂ es casi diez veces superior y, en laborable, seis veces superior y con valores más elevados.

Las partículas también tienen una menor concentración en los puntos con menos tráfico. Sin embargo, el impacto del tráfico es menor que con el NO₂.

Figura 9. Barcelona: contaminación según presencia de tráfico cerca o no



Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Ayuda a la toma de decisiones en Barcelona

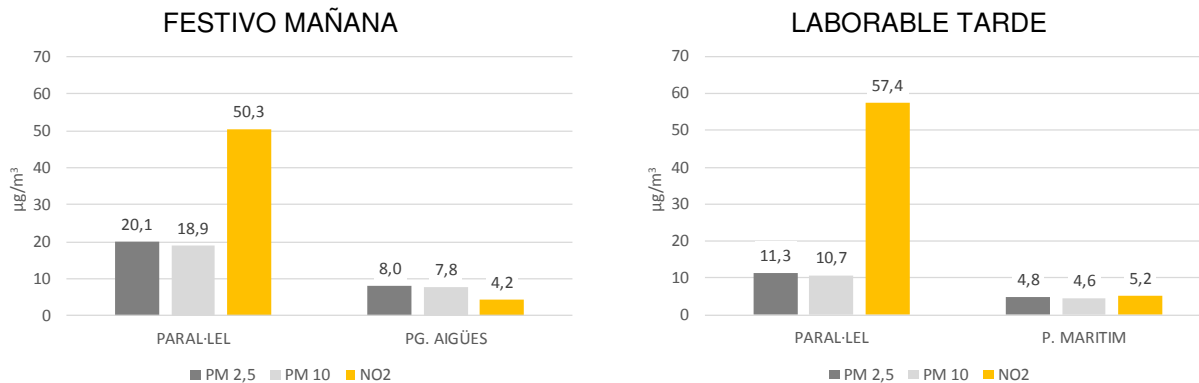
Dos de los momentos más habituales para salir a correr por parte de los *runners* son, o bien los días festivos por la mañana, o bien los días laborables a última hora, después de la jornada laboral.

En este sentido, se ha querido poner de relieve la diferencia en cuanto a concentración de los principales contaminantes que afectan a la calidad del aire, seleccionando, para esos dos momentos, el itinerario con mejor calidad del aire y el itinerario con mayor presencia de PM o NO₂.

En el caso de Barcelona, en días festivos a primera hora el lugar más recomendable para la práctica del deporte es el Paseo de les Aigües, en comparación con la Avenida Paral·lel, que presenta las concentraciones de PM, y sobre todo de NO₂, más elevadas. En días laborables la Avenida Paral·lel sigue siendo la vía con una peor calidad del aire (a pesar de presentar menos PM que en festivo), y el Paseo

Marítim, seleccionado como el mejor lugar para practicar *running* entre semana, registra valores por debajo de los del Paseo de les Aigües en festivo también.

Figura 10. Barcelona: comparativa según calidad del aire



Fuente: elaboración propia.

4.1.3. Conclusiones

Los datos obtenidos en el análisis de los elementos contaminantes causantes de una pobre calidad del aire urbano no reflejan en ningún caso valores que impidan llevar a cabo una actividad física, en ninguna de las localizaciones estudiadas ni en momentos del día en concreto, pero sí arrojan diferencias interesantes de cara a decidir el momento del día en el que realizar la actividad física.

En el caso de los datos obtenidos en día festivo, con una actividad industrial y de tráfico rodado mucho menor, los resultados son similares en todos los puntos analizados de la ciudad, situándose siempre claramente por debajo de los límites de la OMS y la UE.

Por otra parte, los datos en día laborable ofrecen concentraciones más elevadas, tanto de PM como de NO₂. En el caso de las PM_{2,5}, los datos en el periodo de la mañana superan los límites de la OMS en todos los puntos excepto en el Paseo de les Aigües.

El Paseo de les Aigües (punto de medición del Mirador dels Xiprers), por su carácter más natural y sin existencia de tráfico motorizado ni otras fuentes de contaminación, es uno de los itinerarios más recomendables para los *runners* en el ámbito de Barcelona, en cualquier momento del día y día de la semana, siendo la calidad del aire ligeramente peor en día laborable. Las PM_{2,5} son el contaminante con más presencia (comparativamente con el resto de Barcelona tiene concentraciones mucho menores) y el NO₂ es casi inexistente.

En el Paseo Marítim se dan comportamientos diferenciados: en días festivos la evolución horaria de los elementos contaminantes es estable durante el día y no presenta picos acusados, siempre por debajo de los límites de la OMS y la UE, por lo que es un itinerario recomendado para la práctica y entrenamiento deportivos. En día laborable el periodo matutino presenta valores mayores, siendo el resto del día muy adecuado practicar deporte en esta vía.

En la Avenida Paral·lel los días festivos siguen la tónica habitual de valores bajos en concentraciones contaminantes, siendo los mejores días de la semana para la práctica del deporte al aire libre. En cuanto a los días laborables, el mediodía es el mejor momento (en general) para salir a correr en este ámbito del Eixample de la ciudad de Barcelona.

En la Avenida Diagonal, en días festivos, las concentraciones de PM son homogéneas y estables a lo largo del día y el NO₂ es más frecuente por la mañana y por la noche, por lo que se recomendaría realizar la actividad deportiva en las horas intermedias del día. En días laborables, al igual que en la Avenida Paral·lel, el mejor momento para la actividad física es el mediodía.

Tras el análisis entre vías con tráfico y sin tráfico, se evidencia que existe una importante influencia del tráfico en la concentración de NO_2 , pero en menor medida en la concentración de PM.

4.2. Madrid

El Ayuntamiento de Madrid ha generado un índice de calidad del aire horario para informar a la población de las condiciones de la calidad del aire en tiempo real. Se ha clasificado la calidad del aire en cuatro niveles para facilitar su comprensión.

El escalado de los niveles se basa en las concentraciones de SO₂, CO, O₃, NO₂ y PM₁₀, teniendo únicamente en cuenta en este estudio las dos últimas. Las PM_{2,5} no han sido incluidas en dicha clasificación.

Tabla 5. Clasificación del estado de la calidad del aire del Ayuntamiento de Madrid

Índice horario	NO ₂ (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)
Buena	0-100	0-50
Admisible	101-200	51-90
Deficiente	201-300	91-150
Mala	Más de 300	Más de 150

Fuente: índice de calidad del aire de Madrid.

Estos intervalos han sido tenidos en cuenta en la valoración de los resultados obtenidos para Madrid en las mediciones realizadas en este estudio.

Figura 11. Puntos de medición de calidad del aire en Madrid



Fuente: elaboración propia.

A continuación se presentan los resultados de las mediciones llevadas a cabo en las cuatro localizaciones de la ciudad de Madrid.

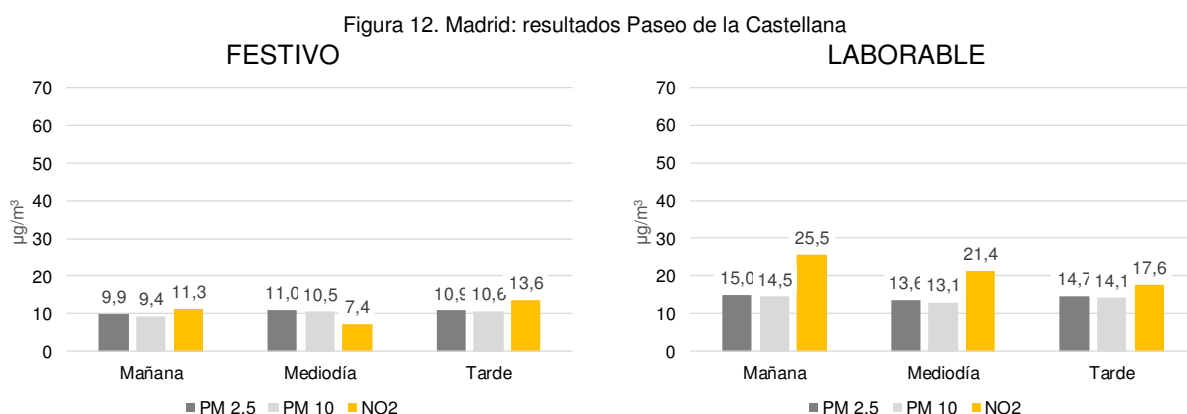
Las vías analizadas son algunas de las más utilizadas por los *runners* de Madrid: por un lado, el Paseo de la Castellana y la Avenida Pablo Iglesias han sido seleccionados como itinerarios donde la presencia de tráfico a motor es elevada. Y, por otro lado, se han estudiado rutas dentro de espacios más naturalizados a pesar de su carácter urbano, como son el Parque del Retiro y la Casa de Campo (donde se ha analizado una vía con escaso volumen de tráfico).

4.2.1. La calidad del aire en vías de uso frecuente por parte de runners

4.2.1.1. Paseo de la Castellana (Av. Concha Espina)

Los datos obtenidos en día festivo en el Paseo de la Castellana reflejan estabilidad durante toda la jornada y con datos de concentración de elementos contaminantes que se consideran bajos, por lo que la calidad del aire no tiene influencia alguna en la práctica de deporte en esta vía a lo largo del día.

En el análisis de día laborable, los valores de PM y NO₂ son ligeramente más elevados, pero se mantiene la dinámica de estabilidad a lo largo de las horas. Por lo tanto, continúa siendo una vía muy recomendable para hacer deporte también en días laborables, más por la tarde que por la mañana o al mediodía. Pese al elevado tráfico de esta importante avenida de Madrid, la presencia de barreras vegetales colabora en un menor impacto.

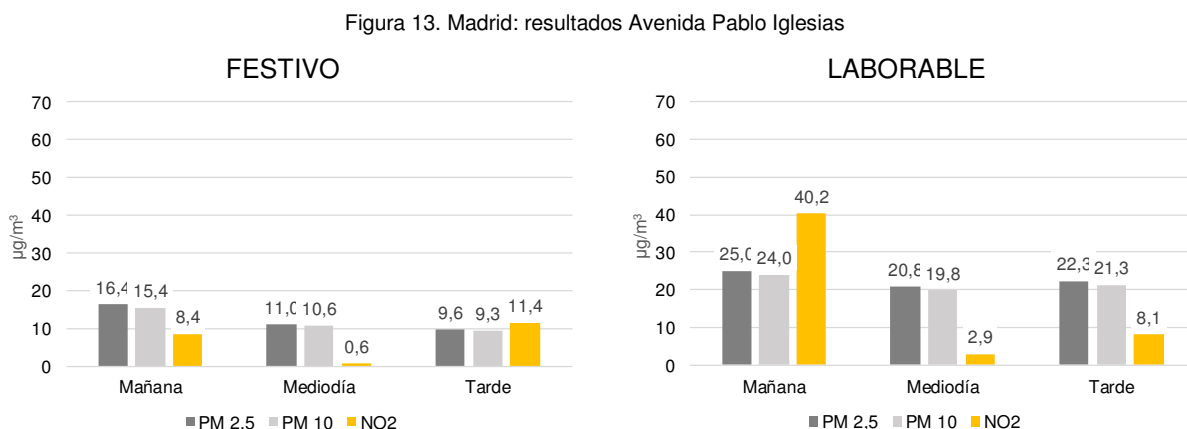


Fuente: elaboración propia.

4.2.1.2. Avenida Pablo Iglesias (Calle Almansa)

Las concentraciones de contaminantes reflejan que en la Avenida Pablo Iglesias en día festivo es muy recomendable la práctica de actividad física, ya que la calidad del aire es buena. Los momentos de menor presencia de PM y NO₂ son el periodo de tarde y mediodía.

En día laborable el mejor momento para salir a correr es al mediodía, cuando los valores de PM están por debajo de 21 µg/m³ y los valores de NO₂ son casi inexistentes. Por la tarde los valores de PM y NO₂ son ligeramente más elevados, pero también se consideraría un buen momento para salir a realizar actividades deportivas.



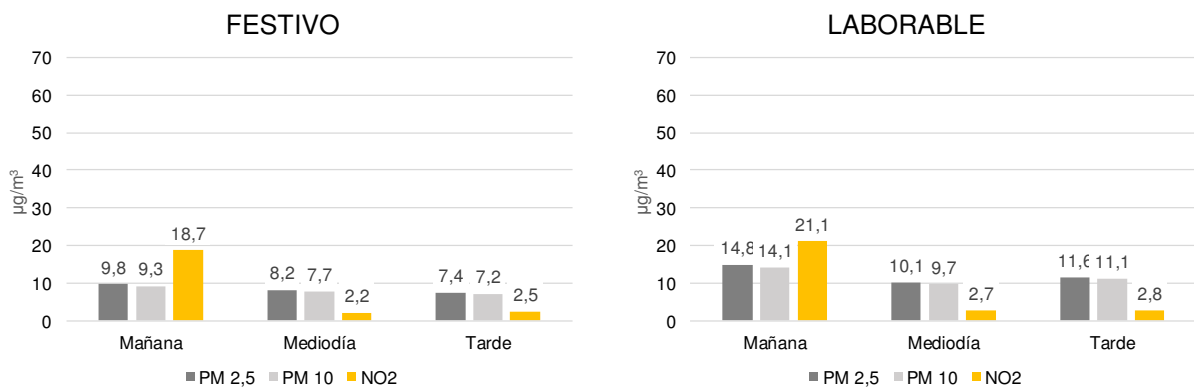
Fuente: elaboración propia.

4.2.1.3. Parque del Retiro (Paseo Venezuela)

Los valores obtenidos en la medición en día festivo reflejan que en cualquier momento del día es altamente recomendable la realización de actividad física, encontrándose las PM_{2,5} siempre por debajo de los 10 µg/m³ y no superando el NO₂ los 20 µg/m³ en ningún momento del día. Comparativamente, el horario tarde-noche sería en el que la calidad del aire registra valores más recomendables para la práctica de ejercicio físico en su conjunto.

En día laborable los valores de PM_{2,5} oscilan entre los 11,6 y los 14,8 µg/m³, por lo que el Retiro se considera un excelente espacio para entrenar gracias al mínimo impacto de los contaminantes atmosféricos. En este sentido, el momento del día más recomendable sería el mediodía o la tarde, ya que es cuando se presentan los valores más bajos tanto de PM como de NO₂.

Figura 14. Madrid: resultados Parque del Retiro



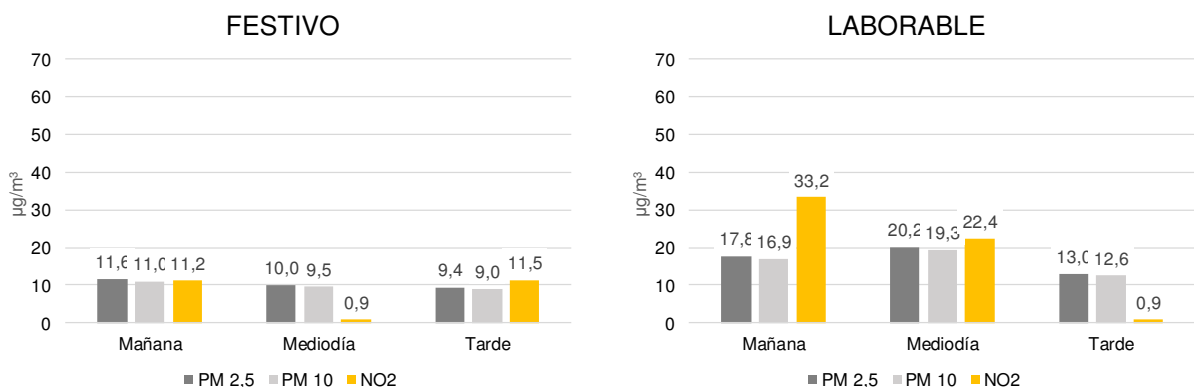
Fuente: elaboración propia.

4.2.1.4. Casa de Campo (Paseo del Embarcadero)

En jornada festiva los valores registrados de PM son muy estables, sin variaciones importantes a lo largo del día. Los valores mínimos de PM_{2,5} son 9,4 µg/m³ por la tarde y 11,6 µg/m³ por la mañana.

En días laborables el momento de menor presencia de contaminantes es por la tarde, cuando las PM son inferiores a 13 µg/m³ y el NO₂ es casi inexistente. Durante la mañana y el mediodía los valores son similares, sin que puedan considerarse, en ningún caso, afectaciones en la salud destacables para la práctica deportiva.

Figura 15. Madrid: resultados Casa de Campo



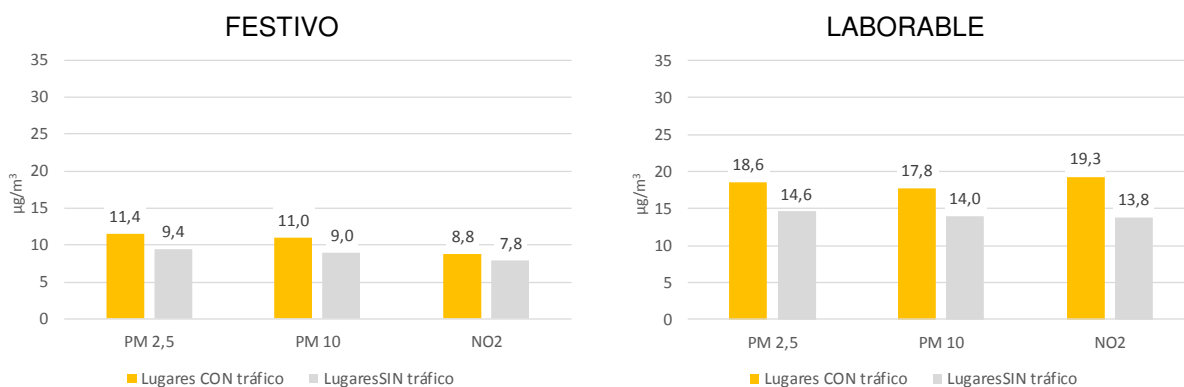
Fuente: elaboración propia.

4.2.1.5. Comparativa según presencia de vehículos a motor de combustión

En Madrid la diferencia de concentración de contaminantes entre lugares con mucho tráfico (Castellana y Pablo Iglesias) y lugares alejados del mismo, o bien es prácticamente inexistente (Retiro o Casa de Campo), o bien es menor.

En día festivo, en lugares con tráfico, las PM son un 22% mayores y el NO₂ un 12% mayor. En días laborables esta diferencia se hace más notable, ya que las PM son un 27% mayores y el NO₂ un 39% mayor en lugares con tráfico, en comparación con lugares sin él.

Figura 16. Madrid: contaminación según presencia de tráfico cerca o no



Fuente: elaboración propia.

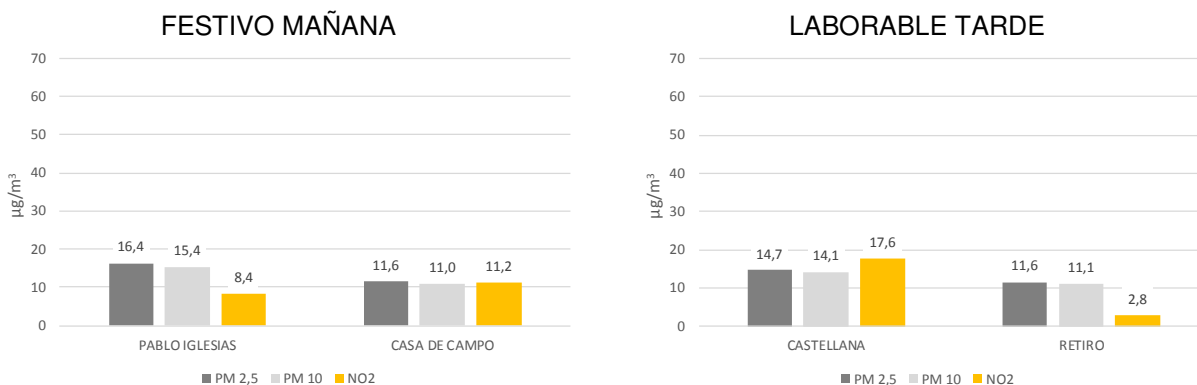
4.2.2. Ayuda a la toma de decisiones en Madrid

Dos de los momentos más habituales para salir a correr por parte de los *runners* son, o bien los días festivos por la mañana, o bien los días laborables a última hora, después de la jornada laboral.

En este sentido, se ha querido poner de relieve la diferencia en cuanto a concentración de los principales contaminantes que afectan a la calidad del aire, seleccionando, para esos dos momentos, el itinerario con mejor calidad del aire y el itinerario con mayor presencia de PM o NO₂.

En el caso de Madrid, los valores entre los itinerarios son semejantes, por lo que no hay diferencias tan señaladas entre correr por la Casa de Campo y la Avenida Pablo Iglesias un festivo por la mañana. En el caso de día laborable, se recomienda practicar deporte en el Retiro, pues presenta unas concentraciones de PM menos elevadas y muy poco NO₂.

Figura 17. Madrid: comparativa según calidad del aire



Fuente: elaboración propia.

4.2.3. Conclusiones

Los datos obtenidos en Madrid no reflejan en ningún caso valores que impidan llevar a cabo una actividad física, en ninguna de las localizaciones ni momentos del día, cuando las condiciones meteorológicas de dispersión son favorables.

Los datos obtenidos, tanto para día festivo como para laborable, no superan en ningún caso los valores umbrales de las organizaciones de referencia (OMS y UE), aunque en la Avenida Pablo Iglesias las $PM_{2,5}$ alcanzan los $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ puntualmente.

En relación con la preferencia de días para realizar actividad física, se recomienda salir a correr en días festivos, aunque la diferencia con los días laborables no es excesivamente relevante.

El Parque del Retiro, por su carácter de área verde despejada de tráfico a motor y otras fuentes próximas emisoras de contaminantes, es uno de los ámbitos más recomendables para los *runners* (en referencia a los niveles de calidad del aire) en la ciudad de Madrid, en cualquier franja horaria y día de la semana, siendo la calidad del aire ligeramente peor en día laborable.

La Casa de Campo puede considerarse un espacio totalmente apropiado para la práctica de deporte, tanto en día festivo como en laborable, pues las concentraciones de elementos contaminantes no son elevadas en ninguno de los periodos analizados.

En el Paseo de la Castellana los valores obtenidos en día festivo son de los más bajos registrados en todos los puntos, asemejándose a los del Retiro o la Casa de Campo. En este sentido, en cualquier momento de un día festivo se recomienda elegir la Castellana para salir a correr, especialmente en las zonas más alejadas del tráfico rodado y protegidas por las barreras vegetales existentes. En día laborable, cuando los valores son más elevados, es más recomendable la práctica deportiva por la tarde.

La Avenida Pablo Iglesias es de las vías analizadas la que presenta valores más elevados de todos los elementos contaminantes estudiados. A pesar de ello, cuando la meteorología es favorable la calidad del aire en este punto no sobrepasa valores no recomendados, por lo que, tanto en día laborable como en festivo, este itinerario es perfectamente indicado para las personas que elijan correr o realizar alguna actividad deportiva.

Tras el análisis entre vías con tráfico y sin tráfico, se demuestra que la diferencia entre contaminantes es evidente en los días laborables, con un 27% más de PM y un 39% más de NO_2 en vías con tráfico en comparación con aquellas sin tráfico.

4.3. Málaga

La Junta de Andalucía, a través de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, ha generado un índice de calidad del aire diario. Se ha clasificado la calidad del aire en cuatro niveles para facilitar su comprensión. El escalado de los niveles se basa en las concentraciones de SO₂, CO, O₃, NO₂ y PM₁₀, teniendo únicamente en cuenta en este estudio las dos últimas. Las PM_{2,5} no han sido incluidas en dicha clasificación.

Tabla 6. Clasificación del estado de la calidad del aire de la Junta de Andalucía

Índice diario	NO ₂ (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)
Buena	0-100	0-25
Admisible	101-200	25-50
Mala	201-300	50-75
Muy mala	Más de 300	Más de 75

Fuente: índice de calidad del aire de la Junta de Andalucía.

Estos intervalos han sido tenidos en cuenta en la valoración de los resultados obtenidos para Málaga en las mediciones realizadas en este estudio.

A continuación se presentan los resultados de las mediciones llevadas a cabo en las cuatro localizaciones de la ciudad de Málaga.

Figura 18. Puntos de medición de calidad del aire en Málaga



Fuente: elaboración propia.

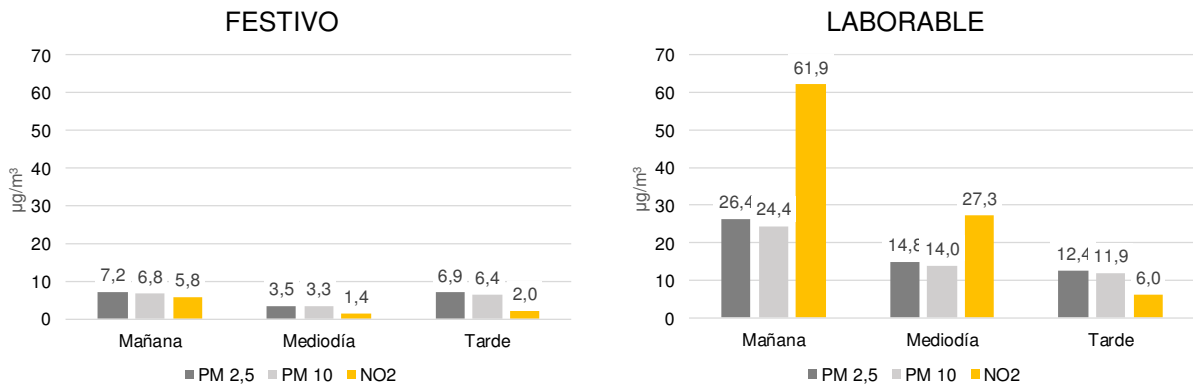
Como vías de uso frecuente por parte de los *runners* de Málaga, se han seleccionado las siguientes: Avenida Jorge Silvela, como vía situada en el centro de la ciudad y paralela al río Guadalmedina; Avenida Editor Ángel Caffarena, como ámbito que se localiza en las afueras de Málaga; Avenida Manuel Alvar, que es una vía que discurre paralela a la carretera nacional N-340; y, por último, el Palmeral de las Sorpresas, como área semipeatonal y cercana al Puerto de Málaga.

4.3.1. La calidad del aire en vías de uso frecuente por parte de runners

4.3.1.1. Avenida Jorge Silvela

En día festivo la práctica del *running* en la Avenida Jorge Silvela es totalmente recomendable en cualquier momento, pues los valores de PM o NO₂ son muy bajos: no sobrepasan en ningún periodo los 7,5 µg/m³ y están muy por debajo de los valores límite de la OMS y la UE, de acuerdo con el grado de buena calidad del aire según la Junta de Andalucía. En día laborable la concentración de los valores de contaminantes presenta importantes diferencias entre la mañana y la tarde. Por la mañana los valores de PM_{2,5} son el doble que por la tarde. Las PM₁₀ están en el límite de lo considerado por la Junta de Andalucía como buena calidad del aire (24,4 µg/m³), y el NO₂, a pesar de ser elevado, está dentro de los parámetros considerados como buenos en cuanto a calidad del aire por los mismos organismos. En días laborables es más recomendable practicar deporte por la tarde, ya que los valores son muy bajos, similares a los de un día festivo, con reducciones importantes respecto a los resultados obtenidos en la franja matinal.

Figura 19. Málaga: resultados Avenida Jorge Silvela

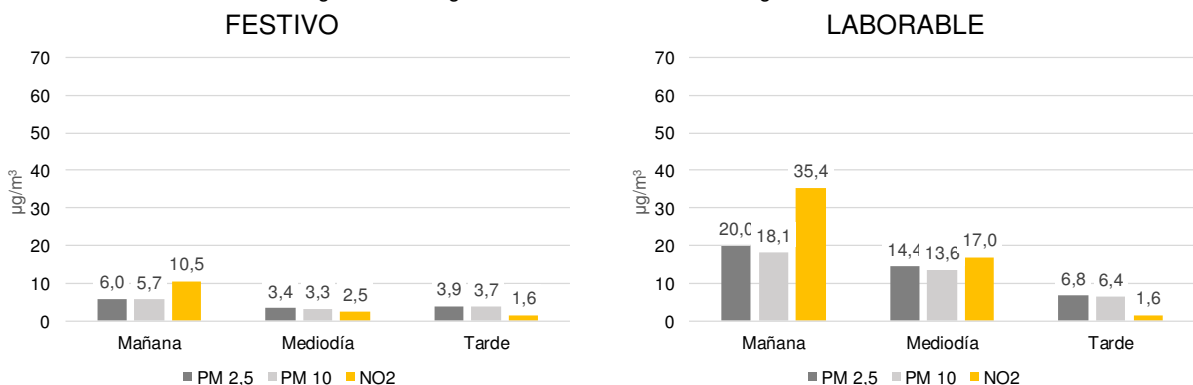


Fuente: elaboración propia.

4.3.1.2. Avenida Editor Ángel Caffarena

La concentración de PM_{2,5} y PM₁₀ en día festivo por la mañana (6 y 5,7 µg/m³, respectivamente) es la menor de los puntos evaluados de Málaga. Además, los valores de calidad del aire el resto del día son muy bajos, especialmente en las horas intermedias de la jornada; por lo que esta avenida es un lugar muy recomendable para la práctica del *running* en cualquier momento del fin de semana o en días no laborables. En un día laborable tipo, durante la mañana es cuando se captan mayores concentraciones de PM y NO₂. En concreto, por la mañana se contabilizan 20 µg/m³ de PM_{2,5}, mientras que por la tarde la concentración de PM_{2,5} desciende a los 6,8 µg/m³, tres veces menos. El mejor momento para la práctica del deporte entre semana sería por la tarde-noche, siendo la mañana el peor momento, en la misma línea que la Avenida Jorge Silvela.

Figura 20. Málaga: resultados Avenida Editor Ángel Caffarena



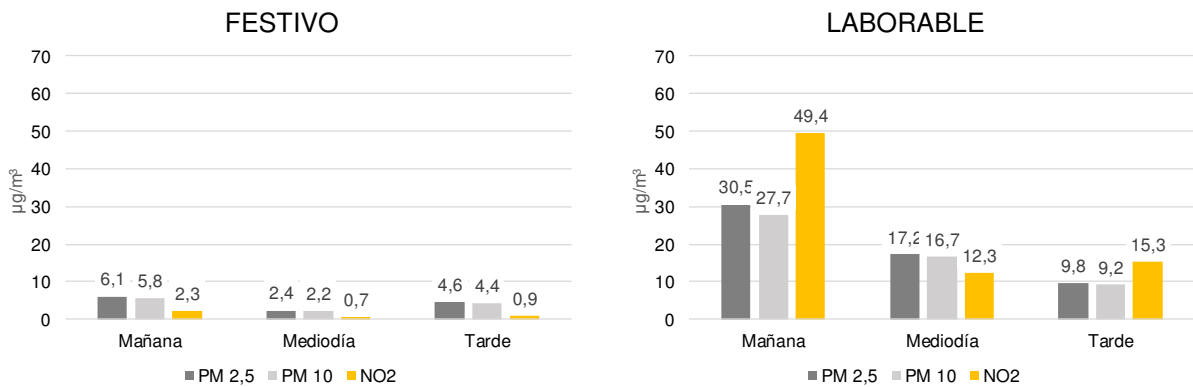
Fuente: elaboración propia.

4.3.1.3. Avenida Manuel Alvar

Los datos de concentración de contaminantes responsables de la calidad del aire en esta avenida son muy recomendables para la práctica del *running* en día festivo. Los valores de PM son inferiores a $6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, llegando a presentar valores de $2,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el periodo del mediodía y valores entre $0,9$ y $2,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2 . En día festivo el impacto de la calidad del aire es prácticamente nulo para la práctica del *running*.

Sin embargo, hay una diferencia importante respecto a los días laborables. En periodo de mañana, en días laborables, se han contabilizado cinco veces más $\text{PM}_{2,5}$ y PM_{10} , aproximadamente, y la concentración es 20 veces superior en NO_2 . En día laborable las $\text{PM}_{2,5}$ en periodo de mañana alcanzan los $30,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor que estaría por encima de lo estipulado por la OMS en caso de extenderse durante 24 horas. Las PM_{10} estarían por encima del valor considerado como adecuado por la Junta de Andalucía, por lo que la calidad del aire sería moderada. Entre semana lo más aconsejable es practicar *running* en horario de tarde o mediodía en Manuel Alvar, priorizando estas franjas horarias por delante de la mañana.

Figura 21. Málaga: resultados Avenida Manuel Alvar



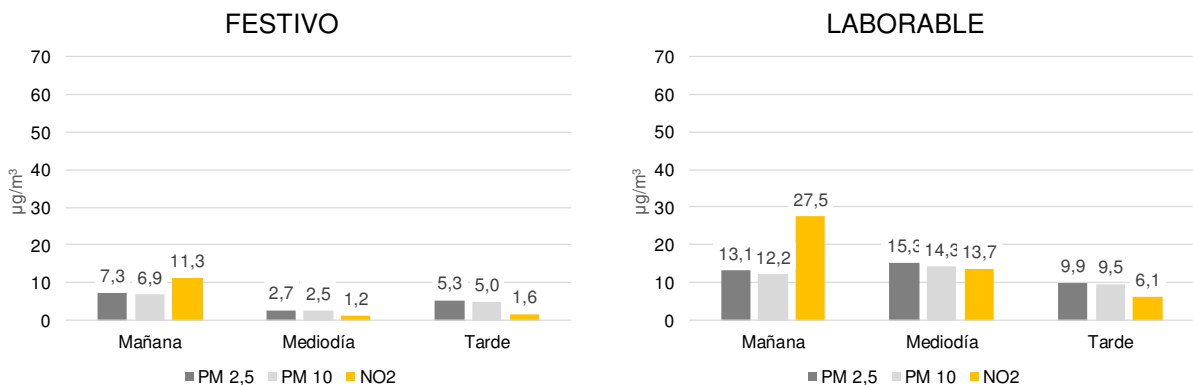
Fuente: elaboración propia.

4.3.1.4. Palmeral de las Sorpresas

Las concentraciones de contaminantes obtenidas en día festivo en el Palmeral de las Sorpresas son muy bajas, sobre todo en las horas centrales del mediodía y durante la tarde. Por lo tanto, se considera que la influencia de los contaminantes es prácticamente nula.

En los días entre semana lo más aconsejable sería correr en periodo de tarde, pues es cuando los valores de PM no superan los $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por la mañana las PM son algo superiores, pero no superan los $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, aunque es cuando hay mayor presencia de NO_2 . De todas las ubicaciones en Málaga el Palmeral de las Sorpresas es la más favorable para la práctica deportiva un día laborable por la mañana.

Figura 22. Málaga: resultados Palmeral de las Sorpresas

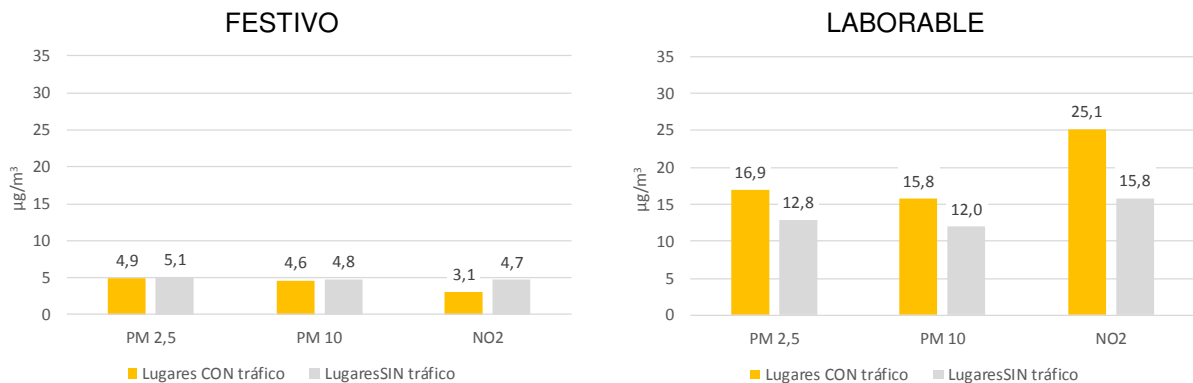


Fuente: elaboración propia.

4.3.1.5. Comparativa según presencia de vehículos a motor de combustión

En Málaga existen importantes diferencias entre los días festivos y las jornadas laborales en cuanto a la presencia de contaminantes en lugares con tráfico o sin tráfico. En los días festivos las diferencias entre PM y NO₂ son incluso imperceptibles; por lo tanto, la influencia del tráfico es nula en estos días. Sin embargo, en días laborables las vías evaluadas con tráfico presentan un 32% más de PM y un 59% más de NO₂.

Figura 23. Málaga: contaminación según presencia de tráfico cerca o no



Fuente: elaboración propia.

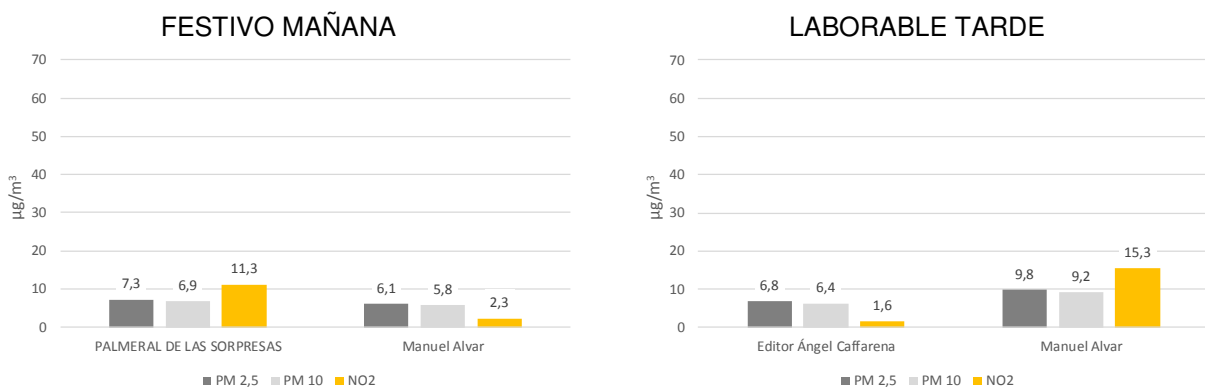
4.3.2. **Ayuda a la toma de decisiones en Málaga**

Dos de los momentos más habituales para salir a correr por parte de los *runners* son, o bien los días festivos por la mañana, o bien los días laborables a última hora, después de la jornada laboral.

En este sentido, se ha querido poner de relieve la diferencia en cuanto a concentración de los principales contaminantes que afectan a la calidad del aire, seleccionando, para esos dos momentos, el itinerario con mejor calidad del aire y el itinerario con mayor presencia de PM o NO₂.

En el caso de Málaga, los valores de mejor calidad del aire son muy similares en los dos periodos seleccionados. En festivo por la mañana lo más recomendable es correr por Manuel Alvar, y donde hay valores más elevados de concentraciones de NO₂ es en el Palmeral de las Sorpresas. En día laborable por la tarde salir a correr por Editor Ángel Caffarena es más aconsejable, mientras que lo es menos por Manuel Alvar.

Figura 24. Málaga: comparativa según calidad del aire



Fuente: elaboración propia.

4.3.3. Conclusiones

En Málaga los datos obtenidos de las mediciones de elementos contaminantes no señalan zonas o periodos donde no sea recomendable la práctica del ejercicio o de cualquier actividad física.

Los días más propicios para realizar actividad física en Málaga serían los festivos, en los que en cualquier periodo horario se disfruta de una buena calidad del aire. En los días laborables las recomendaciones serían correr en horario de tarde o en las horas centrales del día, aunque no se desaconseja hacer deporte al aire libre en horario de mañana, a pesar de que las concentraciones de contaminantes sean mayores, incluso en las avenidas Jorge Silvela y Manuel Alvar.

El Palmeral de las Sorpresas es uno de los espacios más recomendables para la práctica de deporte o entrenamientos de *running*, porque la calidad del aire es buena en cualquier momento del día, tanto en días festivos como en días laborables.

La Avenida Editor Ángel Caffarena puede considerarse un espacio totalmente apropiado para la práctica de deporte, tanto en día festivo como en laborable, pues las concentraciones de elementos contaminantes no son elevadas en ninguno de los periodos analizados, a pesar de que en las mañanas laborables la concentración de PM y NO₂ se incrementa.

En la Avenida Jorge Silvela los valores de contaminantes en días festivos hacen que sea una vía totalmente apta para la realización de actividad física. Cabe destacar que los valores de las mañanas laborables superan ligeramente los valores límite de la OMS, pero estos se establecen como media diaria, por lo que no se considera una vía con mala calidad del aire en ese momento del día. Sin embargo, en caso de poder elegir el momento, se advierte que la tarde y el mediodía son tramos con menos concentración de PM y NO₂.

La Avenida Manuel Alvar es uno de los itinerarios donde la práctica del deporte en día festivo es recomendable en cualquier momento. En día laborable se aconseja salir a entrenar por la tarde o a mediodía, ya que la mañana presenta concentraciones de contaminantes más elevadas.

En general, en día festivo no hay diferencia entre correr en ámbitos con y sin tráfico. En días laborables sí se observa diferencia, por lo que es más positivo utilizar vías sin tráfico a motor en las inmediaciones.

4.4. Sevilla

La Junta de Andalucía, a través de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, ha generado un índice de calidad del aire diario. Se ha clasificado la calidad del aire en cuatro niveles para facilitar su comprensión.

El escalado de los niveles se basa en las concentraciones de SO₂, CO, O₃, NO₂ y PM₁₀, teniendo únicamente en cuenta en este estudio las dos últimas. Las PM_{2,5} no han sido incluidas en dicha clasificación.

Tabla 7. Clasificación del estado de la calidad del aire de la Junta de Andalucía

Índice diario	NO ₂ (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)
Buena	0-100	0-25
Admisible	101-200	25-50
Mala	201-300	50-75
Muy mala	Más de 300	Más de 75

Fuente: índice de calidad del aire de la Junta de Andalucía.

Estos intervalos han sido tenidos en cuenta en la valoración de los resultados obtenidos para Sevilla en las mediciones realizadas en este estudio.

A continuación se presentan los resultados de las mediciones llevadas a cabo en las cuatro localizaciones de la ciudad de Sevilla.

Figura 25. Puntos de medición de calidad del aire en Sevilla



Fuente: elaboración propia.

Como vías en ámbitos de menor densidad urbana y más alejados del tráfico a motor, se consideran las siguientes: el Parque Miraflores, que no cuenta con tráfico en su entorno más inmediato, y la Avenida Isabel la Católica, ubicada al lado del Parque María Luisa. Por otra parte, se han seleccionado puntos con

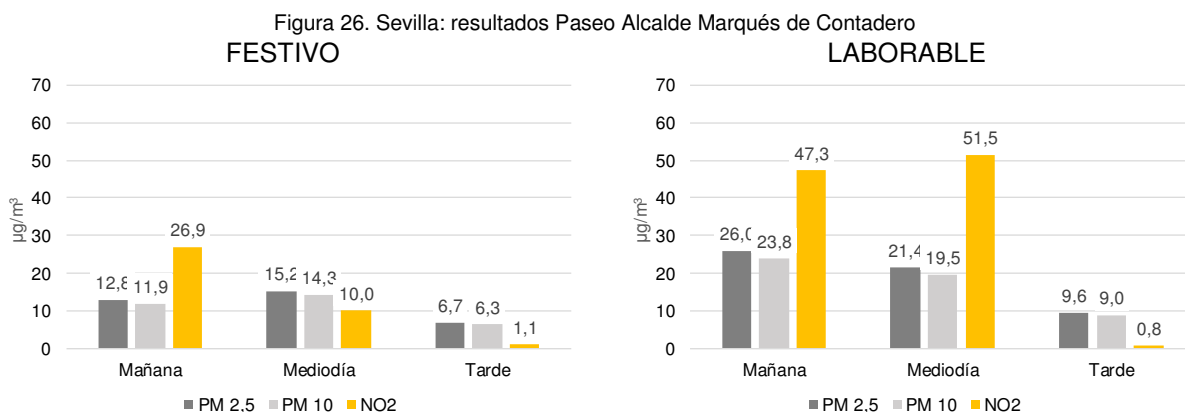
presencia de tráfico rodado a motor en el Puente de la Barqueta y en el Paseo Alcalde Marqués de Contadero.

4.4.1. La calidad del aire en vías de uso frecuente por parte de runners

4.4.1.1. Paseo Alcalde Marqués de Contadero

En este paseo que resigue el canal de Alfonso XIII, los valores obtenidos en las mediciones en día festivo reflejan que la calidad del aire es buena durante todo el día. A pesar de ello, el momento de menor concentración de elementos contaminantes es la tarde, cuando se registran la mitad de PM que durante la mañana o mediodía.

Los resultados de las mediciones en día laborable ofrecieron valores más elevados, sobre todo en los periodos de la mañana y del mediodía. Las PM_{2,5} en periodo de mañana superan el límite diario de la OMS, lo que se puede considerar una concentración elevada de este tipo de partículas. En general, durante la tarde se registran casi tres veces menos PM y más de 60 veces menos NO₂ que al mediodía. De este modo, no se desaconseja realizar actividad física en días entre semana, pero sí se recomienda hacerlo en horario de tarde-noche.



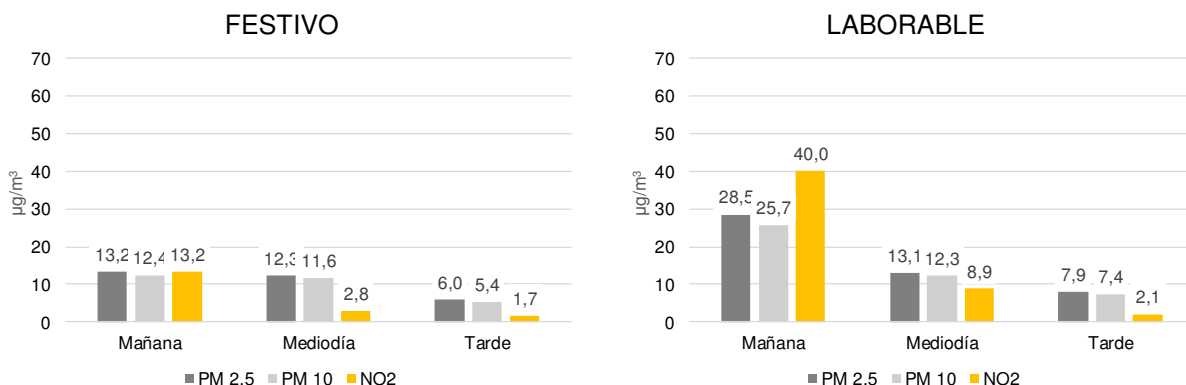
Fuente: elaboración propia.

4.4.1.2. Avenida Isabel la Católica

Los valores contabilizados en día festivo reflejan que en esta vía la calidad del aire es buena, por lo que se recomienda la práctica de ejercicio durante toda la jornada.

En día laborable, en horario de mañana, las PM_{2,5} superan los valores de la OMS y las PM₁₀ los de la Junta de Andalucía. Sin embargo, no se desaconseja la realización de ejercicio. La concentración de contaminantes cae a más de la mitad al mediodía para descender aún más por la tarde, por lo que este sería el momento más apropiado para salir a correr.

Figura 27. Sevilla: resultados Avenida Isabel la Católica



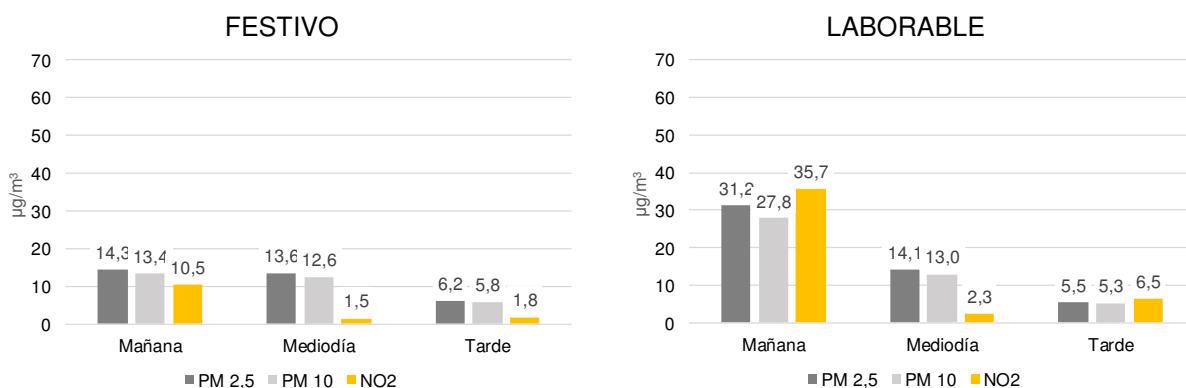
Fuente: elaboración propia.

4.4.1.3. Parque Miraflores

La medición en el Parque Miraflores en día festivo aporta datos de concentración de contaminantes que suponen una buena calidad del aire a lo largo de los tres periodos estudiados. Por ello, a pesar de que por la tarde los valores descienden a más de la mitad en cuanto a partículas, en los días festivos o de fin de semana hacer *running* en este parque es una excelente opción.

Por otra parte, los resultados obtenidos en las mañanas laborables son los más elevados de los cuatro puntos de Sevilla, superando las PM_{2,5} y las PM₁₀ los umbrales definidos por la OMS y la Junta de Andalucía como indicadores de buena calidad del aire. Estos valores descienden significativamente al mediodía, situándose las PM en 13-14 µg/m³, y, finalmente, por la tarde los valores son de 5,5 µg/m³ para los tres contaminantes estudiados.

Figura 28. Sevilla: resultados Parque Miraflores



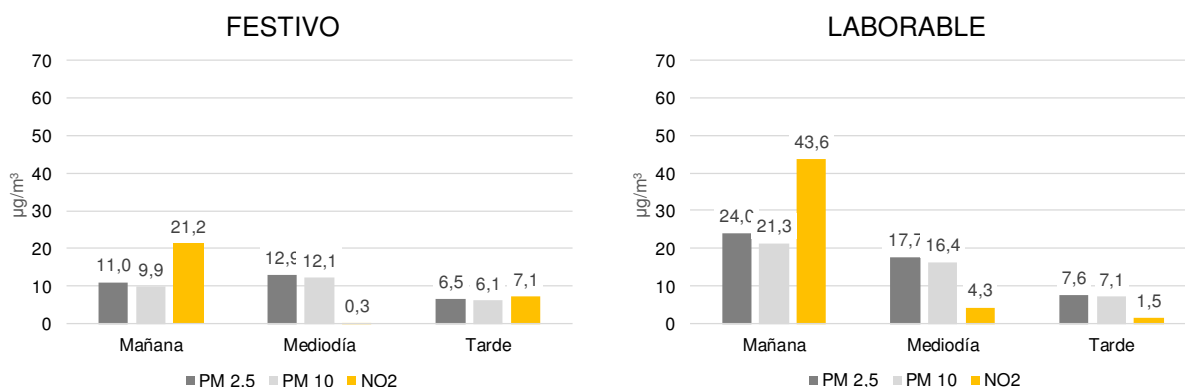
Fuente: elaboración propia.

4.4.1.4. Puente de la Barqueta

En días festivos la elección del Puente de la Barqueta para realizar actividad física es muy acertada, ya que los valores de PM y NO₂ se mantienen bajos durante el paso de las horas. Por lo tanto, aunque se podría aconsejar la tarde para salir a correr, ir por la mañana o al mediodía sería también recomendable.

Durante la semana los valores más elevados se registran por la mañana, aunque siguen asociándose a una buena calidad del aire, y al mediodía se reducen. Por la tarde la concentración de PM_{2,5} desciende un tercio en relación con la de primera hora de la mañana. De este modo, aunque no se desaconseja salir a correr o hacer deporte en días laborables, se considera más positivo hacerlo por la tarde o al mediodía en este ámbito de la ciudad.

Figura 29. Sevilla: resultados Puente de la Barqueta

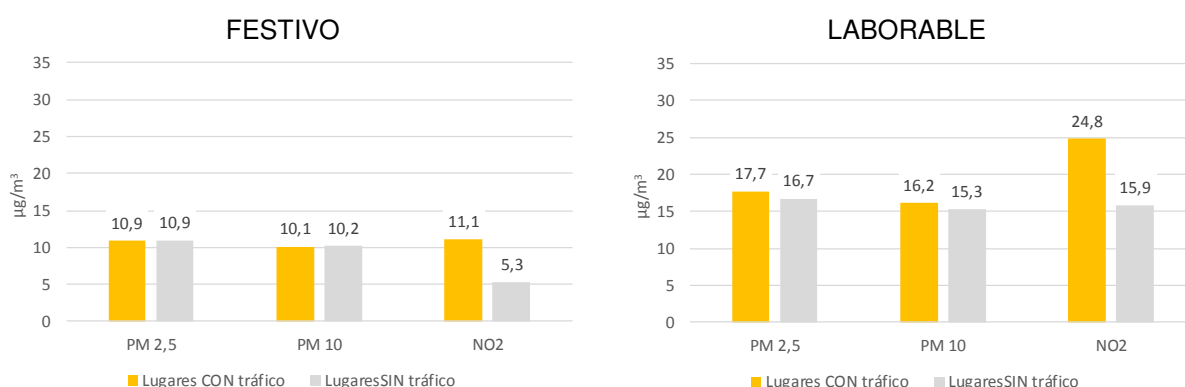


Fuente: elaboración propia.

4.4.1.5. Comparativa según presencia de vehículos a motor de combustión

En Sevilla, en los días festivos, no se observan diferencias en función de la existencia de tráfico a motor, a excepción del NO₂, que es el doble en días con tráfico. Durante las jornadas laborales las PM son un 6% más elevadas en lugares con tráfico, y el NO₂ es un 56% superior.

Figura 30. Sevilla: contaminación según presencia de tráfico cerca o no



Fuente: elaboración propia.

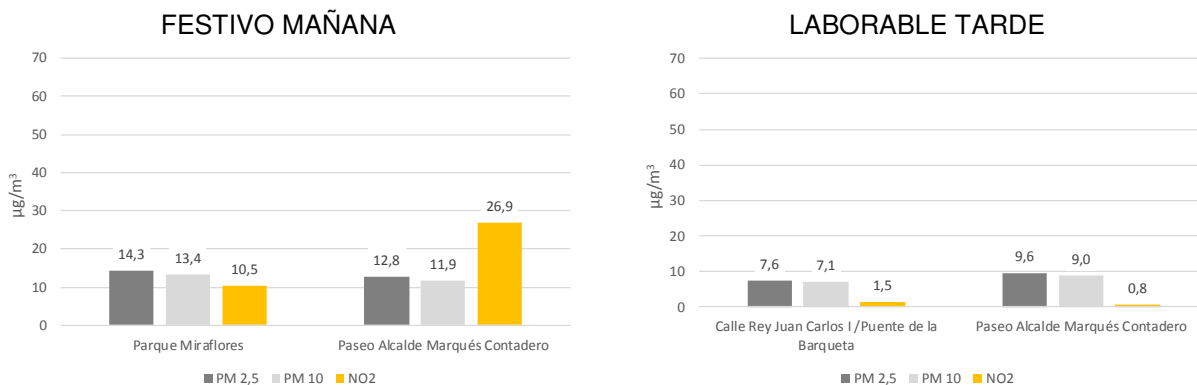
4.4.2. Ayuda a la toma de decisiones en Sevilla

Dos de los momentos más habituales para salir a correr por parte de los *runners* son, o bien los días festivos por la mañana, o bien los días laborables a última hora, después de la jornada laboral.

En este sentido, se ha querido poner de relieve la diferencia en cuanto a concentración de los principales contaminantes que afectan a la calidad del aire, seleccionando, para esos dos momentos, el itinerario con mejor calidad del aire y el itinerario con mayor presencia de PM o NO₂.

En Sevilla resulta más recomendable salir a correr un día laborable por la tarde que en la mañana de un festivo. En cualquier caso, a primera hora de la mañana en día festivo los valores del Parque Miraflores son más óptimos que los del Paseo Alcalde Marqués de Contadero, ya que a pesar de tener una ligera presencia de PM superior, la concentración de NO₂ es muy inferior. En días entre semana, en el momento de la tarde, el itinerario que muestra mejor calidad del aire es el de la Calle Rey Juan Carlos I (Puente de la Barqueta), y los valores más extremos se midieron en el Paseo Alcalde Marqués de Contadero. Sin embargo, las diferencias entre las concentraciones son prácticamente insignificantes en ambos itinerarios.

Figura 31. Sevilla: comparativa según calidad del aire



Fuente: elaboración propia.

4.4.3. Conclusiones

Las rutas utilizadas por los *runners* para sus entrenos que han sido analizadas en este estudio tienen una calidad del aire que se podría considerar como buena. No hay ninguna vía en la que se desaconseje totalmente la práctica de deporte, aunque sí hay momentos y zonas más aconsejables por sus bajos niveles de concentración de contaminantes.

Los registros obtenidos en días festivos en todas las localizaciones muestran una buena calidad del aire. Es en días entre semana cuando en la mayoría de los lugares analizados las PM_{2,5} son superiores al umbral límite definido por la OMS para la media diaria y las PM₁₀ superan la media establecida por la Junta de Andalucía.

El Paseo del Alcalde Marqués de Contadero es un itinerario recomendado en día festivo gracias a su buena calidad del aire. En día laborable se recomienda correr por este espacio en horario de mediodía o tarde, ya que por la mañana las concentraciones de PM son ligeramente elevadas.

La Avenida de Isabel la Católica, ubicada dentro de los jardines de María Luisa, es un lugar idóneo para correr en día festivo en cualquier horario. Sin embargo, en día laborable se recomienda hacer ejercicio por la tarde y al mediodía, ya que en el periodo de mañana las concentraciones de PM superan los 25 µg/m³.

En el Puente de la Barqueta los valores obtenidos en día festivo son de los más bajos registrados en todos los puntos. En este sentido, en cualquier momento de un festivo se recomienda elegir esta vía para salir a correr. En día laborable los valores, aunque más elevados, siguen otorgando a esta vía buenas condiciones en cuanto a calidad del aire para practicar deportes; incluso en el periodo de la mañana se han registrado los valores más bajos de la ciudad, con menos de 25 µg/m³ en PM.

En el Parque Miraflores se localizan las concentraciones de PM más elevadas durante las mañanas laborables, por lo que es preferible correr en esta zona al mediodía o por la tarde. En día festivo los registros de las mediciones aportan niveles bajos de contaminantes, así que se trataría de un espacio muy recomendable.

En general, en día festivo las diferencias de PM por la existencia de tráfico son inexistentes, mientras que en jornada laborable se observa un 6% más de presencia en calles con tráfico. La alta contribución regional limita el impacto de las partículas finas procedentes de la movilidad u otras actividades económicas. El NO₂ sí que es ampliamente mayor en calles con tráfico (el doble en festivo y un 56% más en día laborable).

4.5. Donostia

El Ayuntamiento de Donostia - San Sebastián ha clasificado en diferentes categorías la calidad del aire, en función de la concentración en el mismo de seis contaminantes: SO₂, CO, O₃, PM_{2,5}, PM₁₀ y NO₂. En este estudio tendremos en cuenta los tres últimos.

Tabla 8. Clasificación del estado de la calidad del aire del Ayuntamiento de Donostia

Índice diario	NO ₂ (µg/m ³)	PM _{2,5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)
Muy buena	0-50	0-16	0-25
Buena	50-100	16-33	25-50
Mejorable	100-200	33-39	50-65
Mala	200-400	39-50	65-85
Muy mala	400-10.000	50-10.000	85-10.000

Fuente: Índice de calidad del aire de Donostia.

Estos intervalos han sido tenidos en cuenta en la valoración de los resultados obtenidos para Donostia en las mediciones realizadas en este estudio.

Figura 32. Puntos de medición de calidad del aire en Donostia



Fuente: elaboración propia.

A continuación se presentan los resultados de las mediciones llevadas a cabo en las cuatro localizaciones de la ciudad de Donostia.

Por ser vías de uso frecuente por parte de los *runners* de Donostia, se han seleccionado las siguientes: el Paseo Miraconcha y Anoeta, como itinerarios sin tráfico a motor (o con un impacto menor del tráfico motorizado) en las inmediaciones, y la Plaza Ibaeta y el Paseo del Urumea, como vías donde existe una mayor influencia de la densidad de tráfico.

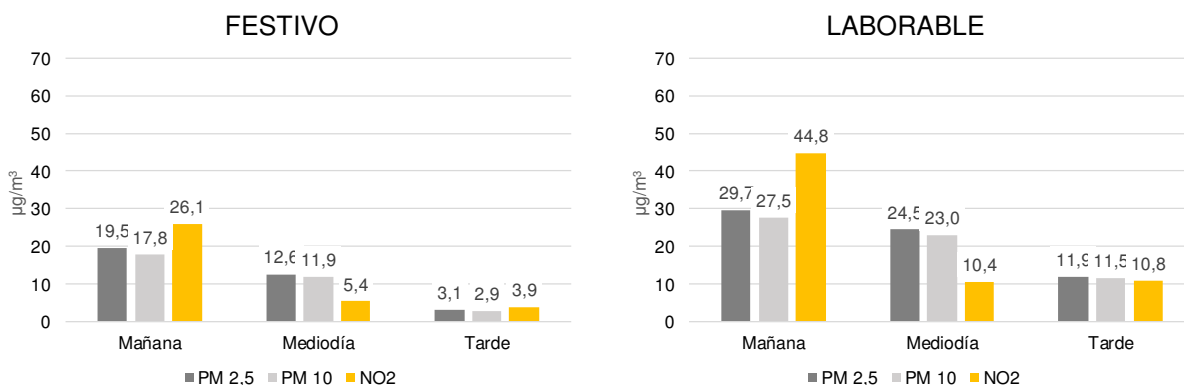
4.5.1. La calidad del aire en vías de uso frecuente por parte de runners

4.5.1.1. Paseo Miraconcha

El Paseo Miraconcha presenta en día festivo por la mañana una calidad del aire buena en cuanto a PM_{2,5} y muy buena en cuanto a PM₁₀ y NO₂, según la clasificación del Ayuntamiento de Donostia, siendo los valores de PM_{2,5} seis veces superiores a los registrados por la tarde. La concentración de estos tres contaminantes va descendiendo a lo largo del día, por lo que se recomienda practicar el *running* al mediodía y por la tarde.

En días laborables las PM_{2,5} están en rangos de buena calidad del aire por la mañana y a mediodía, y por la tarde descienden y la calidad del aire se vuelve muy buena. En cuanto a PM, por la mañana la calidad del aire es buena y a mediodía es muy buena. En este sentido, se recomienda la práctica de deporte por la tarde o a mediodía, si es posible priorizar, y por la mañana como segunda opción.

Figura 33. Donostia: resultados Paseo Miraconcha



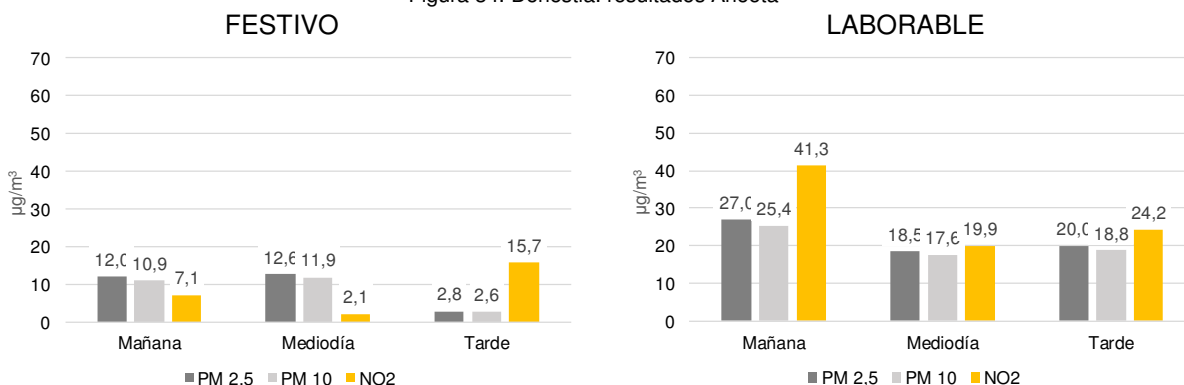
Fuente: elaboración propia.

4.5.1.2. Anoeta

Los datos obtenidos en día festivo indican que el aire en Anoeta es el de menor calidad de los cuatro puntos analizados. No obstante, los tres contaminantes muestran concentraciones características de una calidad del aire muy buena según el Ayuntamiento de Donostia.

En jornada laborable los resultados de PM_{2,5} muestran todo el día una buena calidad del aire, con más de 16 µg/m³. Las concentraciones por la mañana son las más elevadas, siendo a mediodía cuando se observan valores más reducidos, por lo que sería el momento más óptimo para la actividad deportiva.

Figura 34. Donostia: resultados Anoeta



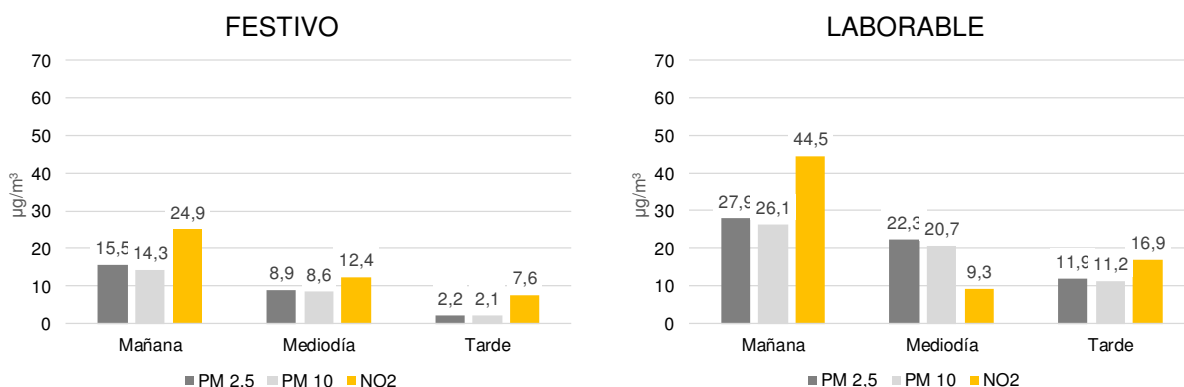
Fuente: elaboración propia.

4.5.1.3. Paseo del Urumea (Puente de María Cristina)

En día festivo se observan diferencias entre la mañana y la tarde, siendo la concentración de $PM_{2,5}$ unas siete veces superior en las primeras horas del día. La calidad del aire es muy buena durante esta jornada, por lo que la actividad deportiva es muy recomendada.

En día laborable el momento más aconsejable para salir a correr sería la tarde, ya que la calidad del aire es muy buena. A mediodía y por la mañana la calidad del aire también es buena aunque la concentración de $PM_{2,5}$ y PM_{10} es más elevada. Por lo tanto, en ningún caso se desaconseja la práctica del *running* en este ámbito.

Figura 35. Donostia: resultados Paseo del Urumea



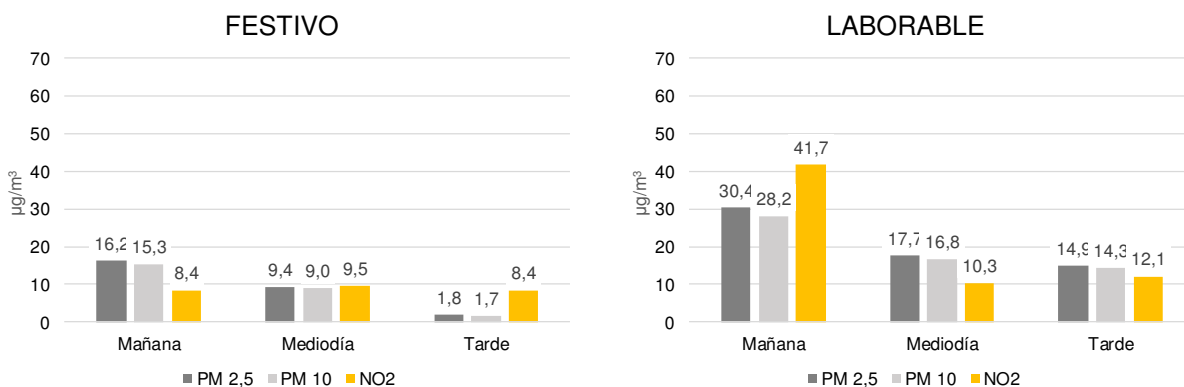
Fuente: elaboración propia.

4.5.1.4. Plaza Ibaeta

En la Plaza Ibaeta en día festivo las concentraciones de contaminantes permiten disfrutar de una calidad del aire buena o muy buena. Sin embargo, se recomienda programar los entrenamientos por la tarde, pues es cuando hay hasta nueve veces menos concentraciones de $PM_{2,5}$.

En días laborables también el periodo de tarde es el más recomendado, con resultados similares al de mediodía. Por el contrario, la mañana presenta valores de $PM_{2,5}$ de $30,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que sobrepasan el límite estipulado por la OMS como media diaria, y de PM_{10} de $28,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que permiten una buena calidad del aire. Por ello, sería el momento menos adecuado para la práctica de deporte.

Figura 36. Donostia: resultados Plaza Ibaeta

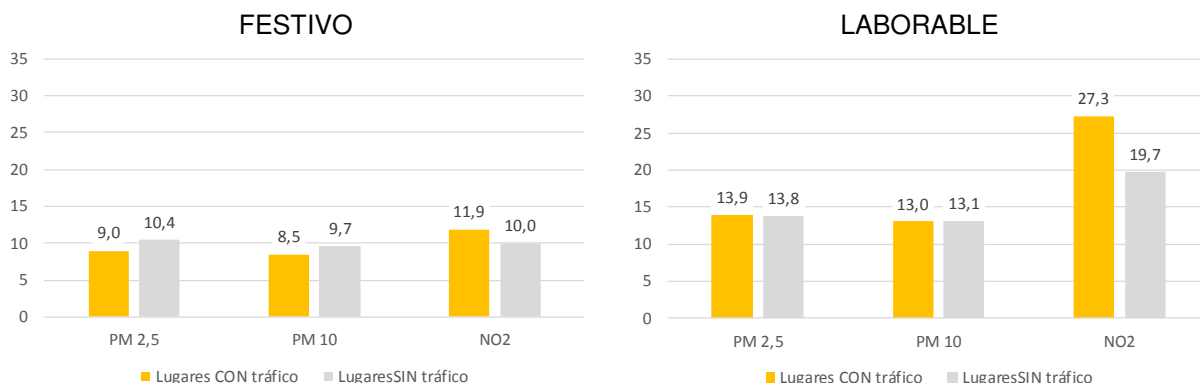


Fuente: elaboración propia.

4.5.1.5. Comparativa según presencia de vehículos a motor de combustión

En Donostia los datos obtenidos reflejan que, tanto en día festivo como en jornada laborable, las concentraciones de contaminantes son muy similares en vías con menor presencia de tráfico y en vías con alta densidad de circulación motorizada. Por lo tanto, no se observa un gran impacto de la movilidad en la calidad del aire.

Figura 37. Donostia: contaminación según presencia de tráfico cerca o no



Fuente: elaboración propia.

4.5.2. Ayuda a la toma de decisiones en Donostia

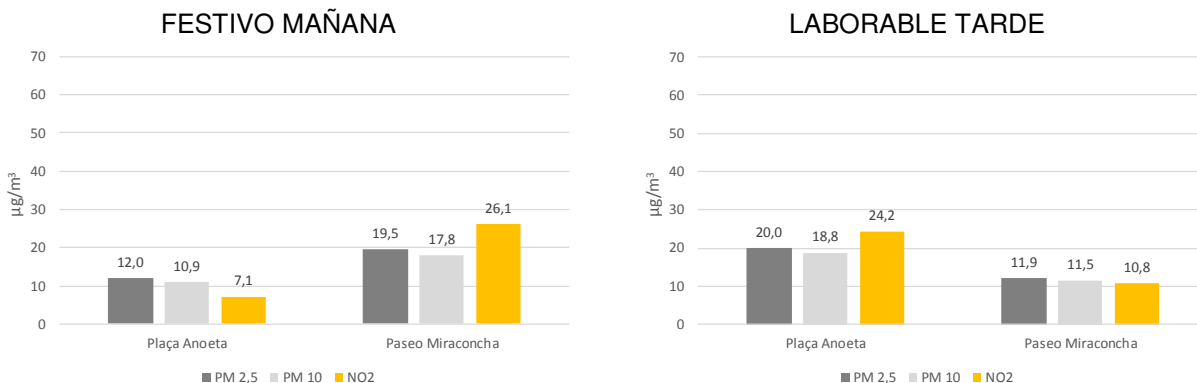
Dos de los momentos más habituales para salir a correr por parte de los *runners* son, o bien los días festivos por la mañana, o bien los días laborables a última hora, después de la jornada laboral.

En este sentido, se ha querido poner de relieve la diferencia en cuanto a concentración de los principales contaminantes que afectan a la calidad del aire, seleccionando, para esos dos momentos, el itinerario con mejor calidad del aire y el itinerario con mayor presencia de PM o NO₂.

En festivos por la mañana el lugar más idóneo para correr sería la Plaza Anoeta, pues presenta los valores más bajos de las cuatro localizaciones analizadas. Por el contrario, sin superar los límites definidos por la OMS y la UE, en el Paseo Miraconcha es donde se han registrado los valores más elevados.

En días laborables la presencia de elementos contaminantes se invierte, siendo Miraconcha el itinerario con valores más bajos y Anoeta el que registra una peor calidad del aire.

Figura 38. Donostia: comparativa según calidad del aire



Fuente: elaboración propia.

4.5.3. Conclusiones

Los datos obtenidos en Donostia en el análisis de los principales elementos contaminantes que merman la calidad del aire urbano no reflejan en ningún caso valores que impidan llevar a cabo una actividad física. Sin embargo, destacan las elevadas concentraciones de PM y NO₂ en la franja horaria de la mañana en días laborables, superando los límites de la OMS para día medio en PM_{2,5}. No obstante, evaluándolos como media horaria según la propia clasificación del Ayuntamiento de Donostia, se puede considerar que el aire es de buena calidad.

El Paseo Miraconcha presenta las concentraciones de contaminantes más elevadas de los cuatro puntos analizados. Tanto en día festivo como en jornada laborable, se recomienda salir a correr cuanto más tarde mejor, ya que es cuando la calidad del aire es mejor.

En Anoeta en festivo se registran los mejores valores de los puntos analizados en Donostia, por lo que se recomienda este espacio para la actividad deportiva. En día laborable las concentraciones de PM y NO₂ son bastante estables al mediodía y por la tarde, con un volumen más elevado por la mañana, por lo que este último sería el momento menos aconsejado para correr.

En el Paseo del Urumea en fin de semana o festivo se registra una buena calidad del aire, por lo que la afectación de los contaminantes atmosféricos es baja. En día entre semana la menor concentración de contaminantes se da por la tarde y la mayor por la mañana. Si es posible programar el entreno, se aconseja salir a correr en los momentos de menor concentración de PM.

La Plaza Ibaeta en día festivo resulta ser un lugar con buenas condiciones de calidad del aire para salir a correr, sobre todo en el momento de la tarde y del mediodía. En día laborable el comportamiento es similar, aunque la concentración de todos los contaminantes es más elevada. Por ello, se recomienda la tarde, en primer lugar, y el mediodía, como segunda opción.

En general, en cualquier momento de la semana la presencia de los contaminantes no está condicionada por la circulación de vehículos a motor. Únicamente en día festivo el NO₂ es mayor en vías con tráfico.

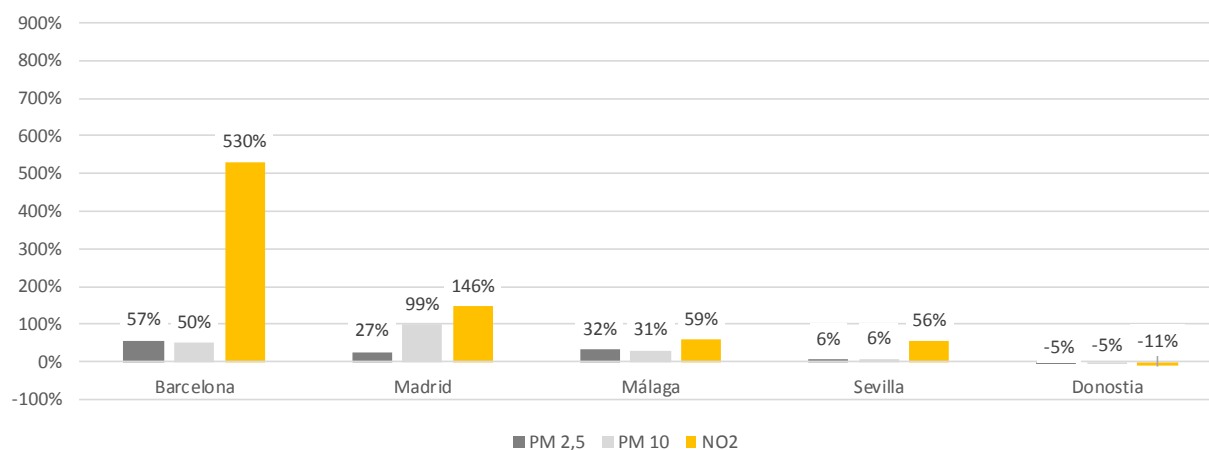
5. COMPARATIVA ENTRE LAS CIUDADES OBJETO DE ESTUDIO

Para tener una visión global de la diferencia en la presencia de contaminantes que afectan a la calidad del aire en todas las ciudades, se ha analizado la relación de la concentración de PM y NO₂ en los lugares con más tráfico, comparándolos con los que registran muy poca o nula circulación de vehículos. Además, se ha comprobado la influencia de las actividades que generan una peor calidad del aire en días festivos o laborables.

5.1.1. Comparativa entre vías con tráfico y sin tráfico

En general, en día laborable los volúmenes de contaminantes son superiores en vías con tráfico en todas las ciudades, aunque hay diferencias significativas entre las ciudades objeto de estudio. En Barcelona, las PM son un 50% superiores en lugares con tráfico y el NO₂ se eleva un 530%. En Madrid, las PM₁₀ y el NO₂ son mucho más elevados en lugares con tráfico que en puntos más alejados de la circulación de vehículos a motor de combustión. En Málaga y Sevilla no se detectan tantas diferencias entre estos valores, por lo que no es tan decisivo practicar *running* en un lugar u otro. En Donostia se observan valores negativos, pues los registros muestran mayor concentración de contaminantes en los lugares con menos tráfico; esta fluctuación puede ser debida al margen de error de la medición.

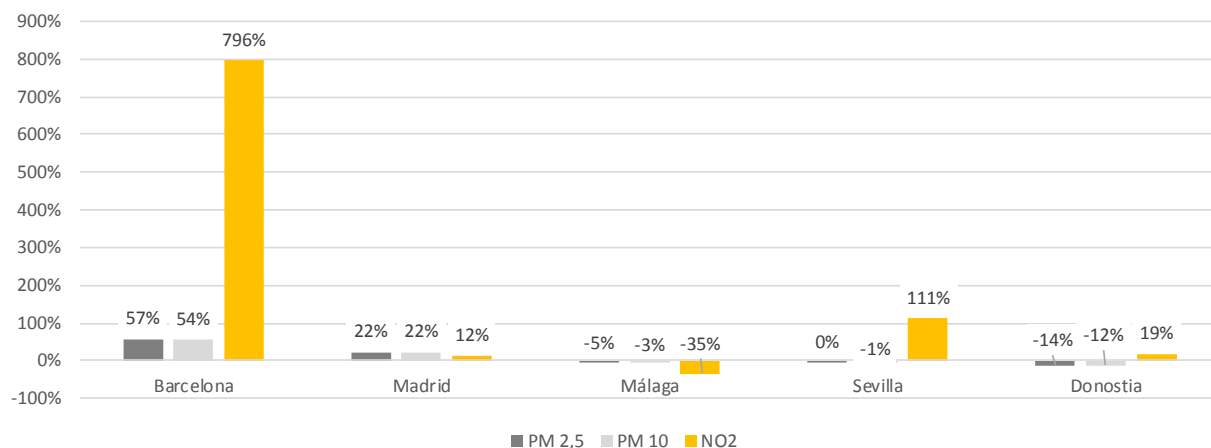
Figura 39. Laborable: comparativa en función del tráfico



Fuente: elaboración propia.

En día festivo, en general, se encuentran diferencias menores en la calidad del aire, destacando las PM, y sobre todo el NO₂, en el caso de Barcelona, y el NO₂ en Sevilla. En este sentido, no existen grandes diferencias entre correr en lugares con tráfico o con menor presencia de él en días festivos o de fin de semana.

Figura 40. Festivo: comparativa en función del tráfico



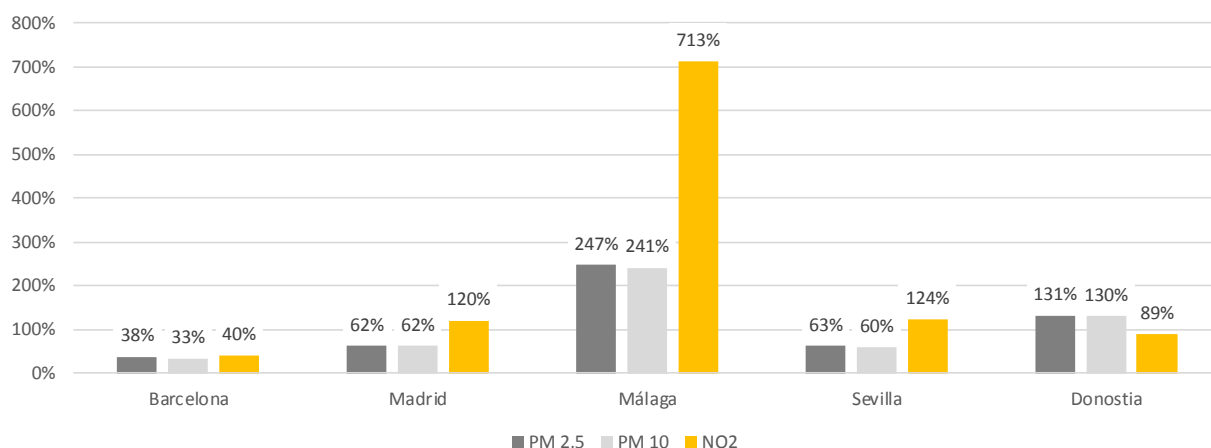
Fuente: elaboración propia.

5.1.2. Comparativa entre días laborables y festivos

Para conocer la diferencia entre salir a correr en día festivo y jornada laborable, se han analizado las vías con tráfico, por un lado, y las vías sin tráfico, por el otro.

En zonas con mayor presencia de tráfico se observa una mayor concentración de contaminantes en día laborable, sobre todo en el caso de Málaga: la diferencia entre correr en día laborable o festivo puede ser importante en cuanto a la presencia de contaminantes (especialmente en el caso del NO₂), aunque esto es debido a que en festivo la calidad del aire en Málaga es muy buena. Las ciudades con menos diferencias serían, en primer lugar, Barcelona y, después, Madrid y Sevilla.

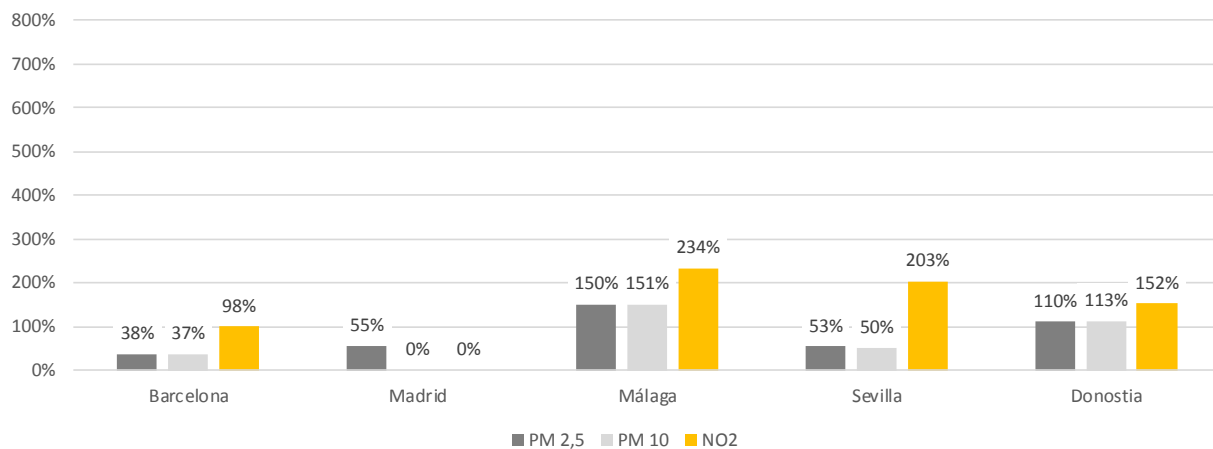
Figura 41. Con tráfico: comparativa entre laborable y festivo



Fuente: elaboración propia.

Analizando las vías sin tráfico se observa que donde hay menos diferencias de presencia de PM o NO₂ entre días laborables y festivos es en Madrid, con valores similares. Por otra parte, destacan las diferencias en Málaga, donde el impacto de la contaminación atmosférica es un 150% superior en PM y de más del 200% en NO₂ en día laborable que en día festivo; una vez más, debido a que las zonas sin tráfico disfrutaban de una buena calidad del aire en festivo.

Figura 42. Sin tráfico: comparativa entre laborable y festivo



Fuente: elaboración propia.

El hecho de que en Madrid y Barcelona no haya grandes diferencias en la contaminación entre días festivos y laborables —al contrario que en otras ciudades— refleja que incluso en festivos se dan unos niveles de contaminación que no son despreciables.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones generales

- Una deficiente calidad del aire tiene consecuencias negativas para la salud y calidad de vida de las personas. Sin embargo, esta afectación no empeora por la práctica de deporte al aire libre de manera continuada, más bien al contrario: la actividad física al aire libre se considera muy positiva para la salud, puesto que una vida sedentaria es mucho más perjudicial que la exposición a entornos contaminados.
- Actualmente no existe información del estado de la calidad del aire en nuestras ciudades a pequeña escala (nivel de calle). Los modelos de dispersión actuales toman como referencia los datos de las estaciones de medición del aire, que normalmente son pocas y dispersas, sin poder obtener información de las concentraciones de contaminantes en ámbitos concretos de la ciudad. En consecuencia, tampoco existen plataformas o aplicaciones móviles en el mercado que proporcionen este tipo de información a los deportistas cuando planifican sus rutas de entrenamiento.
- Los análisis realizados en este estudio se produjeron en días con condiciones meteorológicas y de dispersión favorables, por lo que no se han detectado concentraciones de contaminantes alarmantes y en ningún caso se han obtenido resultados que desaconsejen la práctica deportiva. No obstante, sí se han detectado lugares, días tipo y horarios en los que la práctica deportiva puede realizarse en mejores condiciones de contaminación.
- La calidad del aire depende de múltiples factores como la meteorología, la distancia al tráfico o la dispersión de los contaminantes, por lo que no existe un patrón exacto para cada tipo de ámbito. No obstante, el estudio sí aporta datos generales para que el *runner* pueda programar sus entrenamientos valorando las localizaciones, los días de la semana y las franjas horarias con menor impacto en la calidad del aire.
- En un análisis general se puede concluir que en días laborables la concentración de elementos contaminantes responsables de una deficiente calidad del aire (PM y NO₂) es superior a la de los días festivos, del mismo modo que en la franja horaria de la mañana la calidad del aire es más pobre que al mediodía o por la tarde. Sin embargo, ambos patrones pueden tener excepciones en función de la ciudad, la localización urbana y el tráfico registrado.
- El presente estudio aporta información práctica a los *runners* para la planificación de sus entrenamientos, pero es necesario incidir en la realización de estudios más extensos: con datos procedentes de mediciones continuadas y en periodos más extensos, para la obtención de resultados con mayor robustez estadística.

Recomendaciones para las administraciones

Información de la calidad del aire

- Crear una red de puntos de medición más extensa en todas las ciudades que permita obtener información de todos los ámbitos de las mismas, con un margen de error reducido.
- Difundir en tiempo real más información de la calidad del aire en puntos concretos para que la población pueda conocer de forma fácil la concentración de los diferentes contaminantes, como herramienta de toma de decisiones para la actividad deportiva.
- Unificar los criterios actuales que las diferentes administraciones utilizan para definir los niveles de contaminación (buena, moderada, mala, etc.). Actualmente, cada administración local o regional

establece su propio baremo. Con una unificación de criterios, se podría evitar la confusión entre la ciudadanía.

- Continuar incidiendo en que la actividad física es necesaria y muy beneficiosa ante el impacto negativo de llevar una vida sedentaria. Deben limitarse las recomendaciones de no practicar deporte al aire libre debido a la calidad del aire únicamente en caso de episodios contaminantes y en personas vulnerables (niños y tercera edad).

Mitigación de los efectos de la calidad del aire

- Cumplir la normativa actual en materia de protección del ambiente atmosférico, aplicando medidas que limiten las altas concentraciones de contaminantes en horas específicas (día laborable y franja horaria de la mañana).
- Habilitar itinerarios protegidos con barreras vegetales o alejados del tráfico para peatones, ciclistas y *runners* en vías céntricas con alta circulación motorizada.

Recomendaciones para los deportistas

Planificación de los entrenamientos

- En la medida de lo posible, programar los entrenamientos en ámbitos de la ciudad con una menor afluencia de tráfico, priorizando los días festivos y el horario de mediodía o tarde-noche en función de la ciudad y el lugar en el que se encuentre.

Elección de rutas para *runners*

- Continuar con los hábitos de entrenamiento que exija la práctica del deporte que se realice, pues los indicadores de la calidad del aire, según los resultados obtenidos, no tienen una repercusión negativa para el *runner* pese a su sobreexposición. En cambio, una vida sedentaria sí impacta negativamente a largo plazo en la salud humana.

Índice de figuras

Figura 1. Fuente de las emisiones en Barcelona.....	8
Figura 2. Flujos de afluencia de personas practicando <i>running</i>	11
Figura 3. Ejemplo de ubicación de los dispositivos.....	14
Figura 4. Puntos de medición de calidad del aire en Barcelona.....	15
Figura 5. Barcelona: resultados Avenida Diagonal.....	16
Figura 6. Barcelona: resultados Avenida Paral·lel.....	17
Figura 7. Barcelona: resultados Paseo Marítim.....	17
Figura 8. Barcelona: resultados Paseo de les Aigües.....	18
Figura 9. Barcelona: contaminación según presencia de tráfico cerca o no.....	18
Figura 10. Barcelona: comparativa según calidad del aire.....	19
Figura 11. Puntos de medición de calidad del aire en Madrid.....	21
Figura 12. Madrid: resultados Paseo de la Castellana.....	22
Figura 13. Madrid: resultados Avenida Pablo Iglesias.....	22
Figura 14. Madrid: resultados Parque del Retiro.....	23
Figura 15. Madrid: resultados Casa de Campo.....	23
Figura 16. Madrid: contaminación según presencia de tráfico cerca o no.....	24
Figura 17. Madrid: comparativa según calidad del aire.....	24
Figura 18. Puntos de medición de calidad del aire en Málaga.....	26
Figura 19. Málaga: resultados Avenida Jorge Silvela.....	27
Figura 20. Málaga: resultados Avenida Editor Ángel Caffarena.....	27
Figura 21. Málaga: resultados Avenida Manuel Alvar.....	28
Figura 22. Málaga: resultados Palmeral de las Sorpresas.....	28
Figura 23. Málaga: contaminación según presencia de tráfico cerca o no.....	29
Figura 24. Málaga: comparativa según calidad del aire.....	29
Figura 25. Puntos de medición de calidad del aire en Sevilla.....	31
Figura 26. Sevilla: resultados Paseo Alcalde Marqués de Contadero.....	32
Figura 27. Sevilla: resultados Avenida Isabel la Católica.....	33
Figura 28. Sevilla: resultados Parque Miraflores.....	33
Figura 29. Sevilla: resultados Puente de la Barqueta.....	34
Figura 30. Sevilla: contaminación según presencia de tráfico cerca o no.....	34
Figura 31. Sevilla: comparativa según calidad del aire.....	35
Figura 32. Puntos de medición de calidad del aire en Donostia.....	36
Figura 33. Donostia: resultados Paseo Miraconcha.....	37
Figura 34. Donostia: resultados Anoeta.....	37
Figura 35. Donostia: resultados Paseo del Urumea.....	38
Figura 36. Donostia: resultados Plaza Ibaeta.....	38
Figura 37. Donostia: contaminación según presencia de tráfico cerca o no.....	39

Figura 38. Donostia: comparativa según calidad del aire	39
Figura 39. Laborable: comparativa en función del tráfico	41
Figura 40. Festivo: comparativa en función del tráfico.....	42
Figura 41. Con tráfico: comparativa entre laborable y festivo.....	42
Figura 42. Sin tráfico: comparativa entre laborable y festivo	43

Índice de tablas

Tabla 1. Valores umbrales de las PM	7
Tabla 2. Valores umbrales de NO ₂	7
Tabla 3. Ámbito de estudio.....	12
Tabla 4. Clasificación del estado de la calidad del aire del Ayuntamiento de Barcelona	15
Tabla 5. Clasificación del estado de la calidad del aire del Ayuntamiento de Madrid	21
Tabla 6. Clasificación del estado de la calidad del aire de la Junta de Andalucía.....	26
Tabla 7. Clasificación del estado de la calidad del aire de la Junta de Andalucía.....	31
Tabla 8. Clasificación del estado de la calidad del aire del Ayuntamiento de Donostia	36

Referencias bibliográficas

Andersen, ZJ; de Nazelle, A; Mendez, MA; Garcia-Aymerich, J; Hertel, O; Tjønneland, A; Overvad, K; Raaschou-Nielsen, O; Nieuwenhuijsen, MJ. "A study of the combined effects of physical activity and air pollution on mortality in elderly urban residents: the Danish Diet, Cancer, and Health Cohort" (2015).

McCreanor, J; Cullinan, P; Nieuwenhuijsen, MJ; Stewart-Evans, J; Malliarou, E; Jarup, L; et al. "Respiratory effects of exposure to diesel traffic in persons with asthma". N Engl J Med. (2007).

Zhang, JJ; McCreanor, JE; Cullinan, P; Chung, KF; Ohman-Strickland, P; Han, IK; et al. "Health effects of real-world exposure to diesel exhaust in persons with asthma". Res Rep Health Eff Inst. (2009).

Alastuey, A; Querol, X. "La contaminació urbana procedent del transport. La situació actual a Espanya" (2018).

Acero, J; Simon, A; Arrizabalaga, J. "Influencia de la vegetación en la calidad del aire y el clima urbano".

Organización Mundial de la Salud (OMS). Calidad del aire y salud (2018). Extraído de: [http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Comisión Europea (CE). Air Quality Standards (2018). Extraído de: <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>

Ayuntamiento de Barcelona. Classificació de l'estat de la qualitat de l'aire de Barcelona (EQAB), (2018). Extraído de: <https://ajuntament.barcelona.cat/qualitataire/es/clasificaci-n-del-estado-de-la-calidad-del-aire-de-barcelona-eqab>

Ayuntamiento de Madrid. Boletín mensual del aire del Ayuntamiento de Madrid (marzo 2018). Extraído de: https://transparencia.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/Sostenibilidad/CalidadAire/Publicaciones/Boletines/2018/2018_03_BolCalAire.pdf

Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Informes diarios de la calidad del aire (2018). Extraído de: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam/menuitem.04dc44281e5d53cf8ca78ca731525ea0/?vgnextoid=7e612e07c3dc4010VgnVCM1000000624e50aRCRD&vgnthirdoid=b31fb19c7acf2010VgnVCM1000001625e50aRCRD>

Ayuntamiento de Donostia-San Sebastián. Calidad del aire (2018). Extraído de: <https://www.donostia.eus/ataria/es/web/ingurumena/ingurumen-osasuna/airearen-kalitatea>

Puerto de Barcelona. Pla de Millora de la Qualitat de l'Aire del Port de Barcelona (2016). Extraído de: http://content.portdebarcelona.cat/cntmng/guestDownload/direct/workspace/SpacesStore/24b1a442-b696-47e2-95dd-3268000bc7de/160714_PLA_MILLORA_QUALITAT_AIRE_PORT_V3.pdf

