

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN ESTADÍSTICA

**BIG DATA APLICADO AL TRANSPORTE Y EN  
LAS CIUDADES: ADAPTACIÓN A LA CIUDAD  
DE SEVILLA**

*Presentado por:*

**Alejandro Casado Reinaldos**

*Tutora:*

DRA. MYRIAM GONZÁLEZ LIMÓN, Universidad de Sevilla



**UNIVERSIDAD DE SEVILLA**

10 de septiembre de 2018



# Índice general

Capítulos	Página
<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
<b>2. Big Data</b>	<b>6</b>
2.1. ¿Qué es el Big Data? . . . . .	6
2.2. Tamaño del Big Data . . . . .	9
2.3. Consideraciones con el Big Data . . . . .	11
2.4. <i>Smart Cities</i> . . . . .	11
2.4.1. Big Data y ciudades . . . . .	13
2.4.2. Ciudades actualizadas . . . . .	15
<b>3. La calidad del Aire en España</b>	<b>17</b>
3.1. Manual de Análisis de Calidad del Aire en España . . . . .	17
3.1.1. Introducción . . . . .	18
3.1.2. Administraciones responsables . . . . .	19
3.1.3. Redes de calidad del aire . . . . .	20
3.1.4. Metodología de evaluación . . . . .	20
3.2. Metodología y Aplicación del Big Data al análisis de calidad del aire . . . .	28
3.2.1. Metodología . . . . .	28
3.2.2. Ámbito territorial . . . . .	29
3.2.3. Fuente de los datos . . . . .	30
3.2.4. Tipos de emisiones . . . . .	32

3.2.5. Extracción y tratamiento de los datos . . . . .	34
3.3. Resultados . . . . .	34
3.4. Conclusiones . . . . .	43
<b>Bibliografía</b>	<b>55</b>

# Capítulo 1

## Introducción

La **contaminación ambiental** es uno de los grandes problemas que enfrenta la humanidad actualmente, que se extiende con mucha mayor rapidez que en épocas anteriores. Nuestro planeta está sufriendo un deterioro causando por diferentes motivos, entre los cuales una las mayores causas es: los materiales y/o contaminantes que son arrojados sin control al suelo, a los ríos, al drenaje, al aire y al mar. La gran mayoría de estos contaminantes son expulsados por los automóviles o en procesos industriales. Esto provoca una gran contaminación y un deterioro del ecosistema en el que vivimos. Más abajo nos centraremos en el ecosistema que vive la mayoría de la masa de la población: las ciudades, que son las emisoras de la mayoría de los materiales.

Para poder medir e ilustrar, a pequeña escala, el impacto de estos gases en las ciudades, se ha procedido a aplicar herramientas de **Big Data**. Para ello en las secciones que siguen primero se hará una pequeña introducción al **Big Data**, enlazándolo con su posible aplicación en las ciudades. Más adelante, se introduce el caso más concreto de las emisiones de ciertos gases y se lleva a cabo un estudio más concreto en la ciudad de Sevilla, a través del análisis de una gran base de datos con herramientas de **Big Data**.

Este trabajo de Fin de Grado tiene por objetivo principal analizar la calidad del aire en la ciudad de Sevilla y su relación con la fuente principal de emisiones nocivas, el transporte. Para ello, hemos elegido tres zonas de la ciudad de Sevilla a analizar: el Parque de los Príncipes, el Parque de La Ranilla y la Calle Torneo. Para llevar a cabo esto se recabarán (**Big Data**) y se analizarán datos de emisiones de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono. Contrastándolos a través de un análisis estadístico y de correlaciones para poder proponer medidas de política económica para reducirlos a niveles adecuados para el bienestar de la población y del medio ambiente.

# Capítulo 2

## Big Data

### 2.1. ¿Qué es el Big Data?

Big data es todavía un área de reciente implantación que evoluciona a pasos agigantados. Muchas de las definiciones de dicho concepto y sus técnicas asociadas no son todavía formales. Una definición, [15], cercana al concepto de Big Data puede ser:

**Definición.** Nos referimos a Big Data como el conjunto de datos que es tan grande, y/o complejo, que no puede ser recolectado, almacenado, gestionado y procesado mediante los métodos y las herramientas de hardware y software tradicionales, en un tiempo tolerable.

Por supuesto, en ningún caso esta definición es absoluta. Debido al desarrollo de la tecnología, la cantidad de datos que pueden ser procesados en un tiempo tolerable va en aumento. Con esta definición, el impacto del Big Data, hace diez años, habría sido mucho menor que hoy en día. Además, el concepto de tiempo tolerable es también relativo, ya que depende del área de estudio y la urgencia de utilización del conjunto de datos.

El Big Data está caracterizado por lo que se conoce como las tres V's:

1. **Volumen:** Se refiere al volumen ingente de datos que es generado y tiene que ser almacenado y analizado.
2. **Variedad:** Se refiere a los diferentes tipos de datos (texto, imagen, sonido). Lo datos pueden venir estructurados o no estructurados, lo que hace que la complejidad de los datos puede cambiar drásticamente.
3. **Velocidad:** Se refiere al hecho de que más y más datos están siendo generado a un ritmo cada vez más rápido.

Alguno investigadores están empezando a añadir una nueva V, Valor. En referencia al valor que se podría lograr si las técnicas de Big Data son aplicadas creativa y efectivamente con objetivo de mejorar la eficiencia y calidad de multitud de procesos.

En otras palabras, Big Data consiste en masivos, dinámicos, variados, detallados, interrelacionados conjunto de datos a bajo coste que pueden ser conectados y utilizados de diferentes formas. El Big data ha servido también de impulso a algunas técnicas en el ámbito de las ciencias de la computación. Algunas de ellas son:

- **Cloud Computing:** conocido también como computación en la nube [19], es un paradigma que permite ofrecer servicios de computación a través de una red, usualmente internet.

Dicho servicio es muy importante, ya que, como servicio, ofrece lo que hasta ahora solo podía ofrecer ciertos centros especializados con unos costes muy elevados. Hoy en día casi toda persona tiene acceso y capacidad para usar un superordenador. Ya que el Cloud Computing, [20], es, en el fondo, un gran número de máquinas en algún lugar del mundo, porque al final la computación y el almacenado sí existen, se ubican en lo que se llaman Data Centers.

- **Internet of the things:** es un concepto que se refiere a la interconexión digital de objetos cotidianos con internet. Alternativamente, internet of the things es el punto en el tiempo en el que se conectarían a internet más cosas u objetos que personas.
- **Data Centers:** Un data center es un centro de procesamiento de datos. Una instalación empleada para albergar un sistema de información de componentes asociados, y los sistemas de almacenamientos, donde generalmente incluyen fuentes de alimentación redundante o de respaldo. También ofrecen espacio para hardware en un ambiente controlado, como por ejemplo acondicionando el espacio con el aire acondicionado o extinción de incendios de diferentes dispositivos de seguridad para permitir que los equipos tengan el mejor nivel de rendimiento con la máxima disponibilidad del sistema.

Dichos Data Centers están repartidos y hay decenas de ellos por todo el mundo. Por ejemplo, el de Amazon ocupa una superficie de 28000 metros cuadrados, es decir, como cuatro campos de fútbol. El de Microsoft, por ejemplo, ocupa un 40 % más, aunque su capacidad aumentó un 60 %.

- **Hadoop:** es un sistema de código abierto que se utiliza para almacenar, procesar y analizar grandes volúmenes de datos; cientos de terabytes, petabytes o incluso más.

Hadoop nace en el momento en que Google precisa urgentemente de una solución que le permita continuar procesando datos al ritmo que necesita, en una proporción que repentinamente ha crecido de forma exponencial. Google aplica una solución basada en un sistema de archivos distribuidos, Hadoop, que no es más que un gran número de pequeños ordenadores, cada uno de los cuales se encarga de procesar una porción de información trabajando independientemente actuando como un conjunto.

Hadoop es un sistema que se puede implementar sobre hardware a un costo relativamente bajo, siendo a su vez totalmente gratuito para software. Esta circunstancia

comporta que, aquella información que antes las empresas no podían procesar debido a los límites de la tecnología existente o a barreras de tipo económico, que se hacían insalvables en muchos casos; hoy pueda ser almacenada, gestionada y analizada, gracias a Hadoop.

## 2.2. Tamaño del Big Data

La unidad más pequeña de medida para los datos es el bit (b). El bit puede ser un 1 ó un 0 y, por lo tanto, no es suficientemente grande para los datos. El byte (B), que se compone de 8 bits, es tratada como la unidad fundamental de medida para los datos. Un byte puede representar  $2^8 = 256$  valores diferentes, que son suficientes como para representar los caracteres ASCII estándar, como letras, números y algunos símbolos básicos.

Siguiendo las reglas del sistema métrico, [16], los términos para medir grande cantidades de datos serán formados por los prefijos establecidos, como se muestra en la tabla. Los prefijo son usados para mostrar los elementos como múltiplos de la unidad fundamental, el byte. Por ejemplo, un kilobyte serían  $10^3$  bytes, debido a que el prefijo kilo representa un múltiplo de  $10^3$ .

Cuadro 2.1: Medidas de datos

Prefijo	Nombre	Símbolo	Medida
Kilo	Kilobyte	kB o KB	$10^3$
Mega	Megabyte	MB	$10^6 = (10^3)^2$
Giga	Gigabyte	GB	$10^9 = (10^3)^3$
Tera	Terabyte	TB	$10^{12} = (10^3)^4$
Peta	Petabyte	PB	$10^{15} = (10^3)^5$
Exa	Exabyte	EB	$10^{18} = (10^3)^6$
Zetta	Zettabyte	ZB	$10^{21} = (10^3)^7$
Yotta	Yottabyte	MB	$10^{24} = (10^3)^8$

*Fuente: Big Data, Análisis de grandes volúmenes de datos en organizaciones, [1]*

Es difícil medir como de grande es el Big Data debido al constante incremento del Big Data, que crece más y más rápido cada día. Más que un número específico, se facilitan los siguientes datos en relación al volumen de datos que circulan cada día alrededor del mundo, [10]:

- Cada día, se comparten 500 millones de tweets.
- Cada día, se comparten 70 millones de fotos en Instagram.
- Cada día, se ven en Facebook 400 billones de video en Facebook.
- Cada minuto, se suben 300 horas de nuevo contenido a Youtube.
- Un estudio de 2014 realizado por la firma International Data Corporation (IDC) estimaba que el mundo de los datos digitales crecería por 10 entre 2013 y 2020.

## 2.3. Consideraciones con el Big Data

Con las nuevas tecnologías, más y más objetos están conectados y más y más datos son producidos cada día. Estos datos tienen que ser generados, adquiridos, almacenados, transmitidos y analizados. Hay distintas cuestiones que abordar en cada una de las etapas del trato con los datos:

- **Adquisición/Almacenamiento:** el total de datos generados es mayor que la capacidad total de almacenamiento. Por lo que deben encontrarse maneras de almacenamiento más eficientes.
- **Transmisión:** el aumento en el ratio de producción de datos es mayor que el incremento en el ratio de comunicación de los mismos.
- **Análisis:** éste puede ser muy complejo, y si fuera posible llevaría mucho tiempo.

No hay que olvidar ciertas cuestiones referentes a los datos:

- El conjunto de datos puede contener errores, datos dañados u outliers. Dichos datos que no nos interesan deben ser eliminados sin que se modifiquen los demás datos.
- Muchas veces se trabaja con un montón desordenado de datos. Se tiene como ejemplo los datos que se recaban de las redes sociales, que son una mezcla de texto, voz, imágenes y videos.
- En los datos muchas veces prima su actualidad, por lo que se busca que, en la mayoría de los casos, sean procesados en tiempo real.

## 2.4. *Smart Cities*

Durante las últimas dos décadas, el análisis urbano ha ido mapeando la evolución de las ciudades, en una era donde las tecnologías de la información y comunicación han experimentado un crecimiento y una gran influencia en la naturaleza, estructura y representación

de la infraestructura urbana, actividad económica y vida cotidiana. Las ciudades que han adoptado las TIC ("Tecnologías de la Información y la Comunicación") como su estrategia de desarrollo, siendo pioneras en incorporar sistemas e infraestructuras digitales en su desarrollo urbano, han sido etiquetadas de diferentes modos: *wired cities*, [7], *cyber cities*, [8], *digital cities*, [13], *intelligent cities*, [11], o *smart cities*, [18]. A pesar de que cada uno de estos términos es usado de una manera particular para conceptualizar la relación entre las TIC y el urbanismo contemporáneo, comparten sus enfoques en los efectos de las TIC sobre el urbanismo, procesos y modos de vida.

El término *smart city* ha sido definido de varias maneras en la literatura, sin embargo, en líneas generales, estas definiciones se pueden agrupar en dos según se considere que es lo que hace smart a una ciudad.

Por un lado, la noción de *smart city* hace referencia al creciente concepto de que las ciudades están compuesta de *everyware*, [9], es decir, compuestas de una generalizada y omnipresente computación y digitalización de hasta el proceso más básico. Conectando, integrando y analizando la información producida por dichas formas de *everyware*, proporcionando un conocimiento más eficiente de los procesos de la ciudad. El volumen de datos producidos por estos procesos puede ser utilizado para modelar y predecir los procesos urbanos y simular como será el desarrollo urbano.

Por otro lado, una *smart city* es aquella cuya economía y gobierno está impulsado por la innovación, creatividad y emprendimiento, [14]. En ella, las TIC son de vital importancia, vistas como la plataforma para movilizar y llevar a cabo las ideas e innovaciones. Sin embargo, el acoplamiento de las TIC en la infraestructura urbana no es lo que hace una *smart city*, [11]. En otras palabras, lo que hace una *smart city* es como las TIC, en combinación con el capital social y humano y una política económica más amplia, son usadas para gestionar el crecimiento y desarrollo urbano, [2].

Asimismo, el facilitar cada vez más la información a los usuarios es algo que está fomentándose en la última década, por ejemplo el proyecto Aporta. Esta es una iniciativa promovida por el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, a través de la Entidad Pública Empresarial Red.es, y en colaboración con el Ministerio de Hacienda y Función Pública, que se lanza en 2009 con el fin de promocionar la cultura de la apertura de información en España. Está en el línea con el cumplimiento de normativa europea y nacional de que los datos estén a disposición de los usuarios y empresas para dotarlos de valor añadido, [4]. También, en 2017 se firmó un acuerdo de la Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP) para incluir los 20 datos mínimos necesarios.

### **2.4.1. Big Data y ciudades**

Hoy en día es muy frecuente la producción de grandes conjuntos de datos, como censos nacionales y encuestas, que da informaciones de las ciudades y los ciudadanos. Del mismo modo, las empresas amontonan una cantidad significativa de datos provenientes de sus operaciones, mercados y clientes. Sin embargo, normalmente estos conjuntos de datos dependen de un número de variables pequeño, tienen un acceso limitado y hacen referencia a información muy general.

Como resultado, estos grandes conjuntos de datos han sido complementados por lo que pueden ser llamados estudios de datos pequeños, como pueden ser: cuestionarios, encuestas, entrevistas,.. Estos estudios captan datos que son muy específicos y relativamente difíciles de generar y analizar. La mayoría de lo que conocemos sobre las ciudades hasta la fecha es generado por estudios de dichas características.

Aquí es donde entra el Big Data, que produce una transformación en el conocimiento de las ciudades a través de la creación de una avalancha de datos cuyo objetivo es proveer de un conocimiento y control de las ciudades más sofisticado, amplio y en tiempo real.

Los tipos de Big Data pueden dividirse en tres categorías:

- **Dirigido:** Los datos son generados mediante formas tradicionales de observación, de forma que la mirada de la tecnología se centra en la persona o el lugar mediante un operador humano. Este tipo de sistemas incluyen los controles de inmigración de pasaportes donde los detalles de los pasajeros son recolectados y comprobados mediante varias bases de datos en tiempo real y nuevos datos son generados, como fotografías, huellas dactilares o escáner de iris; así como videos, escáner termal u otro tipo de escáner electromagnético que permiten un mapeado en 2D y 3D.
- **Automatizado:** Los datos son generados como una función inherente y automática del aparato o sistema. Los datos automatizados son producidos de diferentes formas: transacciones e interacciones a través de redes digitales, en las que no se transmite solo información, sino que se generan datos referentes a ellas mismas; datos *clickstream* que recogen como navega la gente a través de internet o una app, datos generados por sensores que se encuentran en objetos cotidianos que transmiten regularmente, máquinas de escáner en los controles de los vuelos o códigos de barras que registran los pagos.
- **Voluntario:** Estos datos son colgados por los usuarios. Este tipo de datos abarcan: interacciones a través de las redes sociales como comentarios, observaciones o subida de fotografías en Facebook o Twitter. También son datos voluntarios los que generan los usuarios para contribuir a las consultas en Internet, [12].

A pesar que los datos dirigidos y voluntarios pueden proporcionar una percepción útil de las ciudades y de los sistemas urbanos, son las formas en las que se generan los datos automatizados los que más influyen en la vida hoy en día. Con ellos, las ciudades son vistas como constelaciones de instrumentos de diferentes escalas conectados que proporcionan cada segundo datos sobre los movimientos urbanos y de la población. Esto es muy importante porque la información está actualizada en tiempo real.

## 2.4.2. Ciudades actualizadas

Hoy en día muchos gobiernos apuestan por el análisis en tiempo real con el objetivo de gestionar los diferentes aspectos de la ciudad y su regulación. Uno de los ejemplos más representativos puede ser el relativo al movimientos de los vehículos a través de las redes de transporte, donde los datos obtenidos por una red de cámaras y radares son enviados a una central con el objetivo de monitorizar el flujo de tráfico, ajustar las luces y el tiempo de los semáforos, imponer los límites de velocidad y administrar automáticamente la imposición de multas por infracciones de tráfico., [6]

Del mismo modo, se podrían recolectar datos relativos al medio ambiente, mediante sensores distribuidos a través de la ciudad. Estos sensores podrían medir, por ejemplo, la polución en el aire, los niveles de agua o la actividad sísmica.

Como en cualquier proyecto de big data, en el caso de las smart cities será preciso capturar, almacenar, procesar y analizar gran cantidad de datos procedentes de fuentes muy diversas para poder transformarlos en conocimiento útil para la toma de decisiones y poder anticiparnos a lo que va a pasar.

Algunas de las áreas susceptibles de mejora gracias al uso de big data serían las siguientes:

- **Seguridad ciudadana:** Se podría mejorar la eficacia de las actuaciones de los cuerpos de seguridad a través, por ejemplo, de la correlación de toda la información procedente de los distintos sistemas instalados en la ciudad: desde cámaras de video-vigilancia, geolocalización de coches de policía y bomberos, sensores de movilidad o de alertas, detectores de humo y fuego...
- **Movilidad urbana:** Mediante la captura y gestión de datos procedentes de cámaras repartidas por toda la ciudad, sensores instalados en autobuses, información meteorológica, datos originados en las redes sociales (como por ejemplo la organiza-

ción de una manifestación a través de Twitter. . . ) se podría conseguir, por ejemplo, anticiparse a los atascos y tomar decisiones en tiempo real para redirigir la ruta de autobuses o interactuar con la red de semáforos. Todo esto para informar al ciudadano de la situación del tráfico e indicarle las rutas alternativas óptimas.

- **Gestión del agua:** A través del análisis de los datos ofrecidos por una red de sensores de presión, PH y turbidez del agua ubicados en los sistemas de abastecimiento y saneamiento; así como cámaras de vigilancia de plantas potabilizadoras sería posible detectar fugas y controlar la calidad del agua en todo momento.
- **Energía y eficiencia energética:** Gracias a los datos procedentes de contadores inteligentes en las viviendas, datos procedentes de plataformas open data y previsiones meteorológicas (que permitieran detectar una inminente ola de calor por ejemplo) sería posible tener una operación más eficiente de la red eléctrica, de forma que las compañías pudieran ajustar la producción a la demanda en tiempo real (pilar de las smart grids o redes eléctricas inteligentes).
- **Emisiones nocivas:** Mediante sensores ubicados en las ciudades, se recogen periódicamente datos sobre la cantidad de diferentes gases perjudiciales para la salud de las personas y la naturaleza en el aire. Así, se podrían definir las políticas óptimas para la reducción del nivel de dichos gases.
- **Análisis de sentimiento del ciudadano:** Posibilidad de conocer la opinión de los ciudadanos y turistas sobre la ciudad a través del análisis en tiempo real de datos procedentes de distintas redes sociales, web del ayuntamiento, *call centers*. . . para conocer cuáles son los aspectos prioritarios que están demandando y poder responder a peticiones de forma inmediata.

# Capítulo 3

## La calidad del Aire en España

Como se ha expuesto en el capítulo 2, mediante la utilización de nuevas tecnologías y las aplicaciones de las técnicas de Big Data, se puede analizar factores de riesgos para las personas y para la naturaleza en las llamadas *smart cities*. Este trabajo se centrará en un factor de riesgo en concreto, los gases nocivos para la salud contenidos en el aire, los cuales la mayoría de ellos se producen mediante la quema de combustibles fósiles utilizados por los vehículos a motor, es decir, por el transporte.

### 3.1. Manual de Análisis de Calidad del Aire en España

Este trabajo sigue las líneas del Manual de Análisis de Calidad del Aire en España, del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, [17], y se apoya en él para la elaboración del marco teórico. Se hará a un nivel mucho más reducido, tanto a nivel de ámbito territorial como a nivel de datos recabados, tipos de gases incluidos en el estudio y fuente de dichos gases. Para ayudar al lector se lleva a cabo un resumen de dicho manual:

### **3.1.1. Introducción**

La calidad del aire viene determinada por la presencia en la atmósfera de sustancias contaminantes, que pueden ser gases o partículas y aerosoles.

La protección de la atmósfera y de la calidad del aire en España pasa por la prevención, vigilancia y reducción de los efectos nocivos de dichas sustancias contaminantes sobre la salud y el medio ambiente en su conjunto, en todo el territorio nacional. Para ello, la normativa vigente en materia de calidad del aire establece unos objetivos de calidad del aire, o niveles (concentraciones o depósitos) de contaminantes en la atmósfera que no deben sobrepasarse.

Para garantizar que se abarca la totalidad de la superficie nacional, las comunidades autónomas son las encargadas de dividir su territorio en zonas de calidad del aire homogéneas para la gestión y la evaluación (mediante mediciones, modelización u otras técnicas). Para ello se determinan unos métodos y criterios comunes de evaluación.

También hay que cumplir con el requisito imprescindible de informar a la población y a las organizaciones interesadas. El resultado de la evaluación anual se presenta en un cuestionario técnico para su envío a la Comisión Europea y en otros informes más claros y comprensibles dirigidos al público (Informe de la evaluación de la calidad del aire anual).

En función del resultado de la evaluación hay que tomar una serie de medidas para gestionar la calidad del aire, siempre con el fin de mejorarla, o mantenerla en los lugares donde sea óptima. En las zonas en las que se producen superaciones de los valores límite u objetivo, se han de elaborar planes de mejora de la calidad del aire. En ellos se adoptan una serie de medidas encaminadas a lograr unos niveles de contaminantes por debajo de los objetivos legislados.

Para poder comprender en qué consiste la evaluación de la calidad del aire y cómo se lleva a cabo, hay que comenzar por precisar qué se entiende por evaluación. La Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera define la evaluación como el resultado de aplicar cualquier método que permita medir, calcular, predecir o estimar las emisiones, los niveles o los efectos de la contaminación atmosférica. Su principal objetivo es el de establecer las bases en materia de prevención, vigilancia y reducción de la contaminación atmosférica con el fin de evitar, y cuando ello no sea posible, aminorar, los daños que de ésta puedan derivarse para las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza. Ello a su vez implica:

- Obtener información comparable sobre la situación de la calidad del aire en todo el territorio nacional.
- Suministrar información sobre las medidas a tomar y su efecto.
- Ofrecer información al público y a la Comisión Europea.

### **3.1.2. Administraciones responsables**

En la realización de estas tareas participan tanto la Administración General del Estado como las Comunidades Autónomas y determinadas entidades locales. El Real Decreto 102/2001, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire, es la norma que define las actuaciones a realizar por todas las administraciones públicas implicadas en la gestión de la calidad del aire. Dicho Real Decreto establece las competencias de las diferentes administraciones públicas implicadas:

#### **1. Administración General del Estado:**

- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, a través de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, y más concretamente de la Subdirección General de Calidad del Aire y Medio Ambiente Industrial.

- La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), adscrita igualmente al mencionado Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, y responsable de la gestión de la contaminación atmosférica de fondo a través de la Red EMEP/VAG/CAMP.
- Instituto de Salud Carlos III, adscrito al actual Ministerio de Economía y Competitividad, actúa como Laboratorio Nacional de Referencia

## 2. Comunidades autónomas y entidades locales

### 3.1.3. Redes de calidad del aire

Este reparto de competencias se traduce a su vez en la existencia de diversas redes de control y vigilancia de la calidad del aire, gestionadas por los diferentes organismos que participan en el proceso, que son:

- Redes de las Comunidades Autónomas (Andalucía, Aragón, Principado de Asturias, Baleares, Canarias, Cantabria, Castilla La Mancha, Castilla y León, Cataluña, Comunidad Valenciana, Extremadura, Galicia, Comunidad de Madrid, Región de Murcia, Comunidad Foral de Navarra, País Vasco y La Rioja), utilizadas en la evaluación de los contaminantes principales regulados por la legislación.
- Redes de entidades locales (Ayuntamiento de Madrid, Ayuntamiento de Zaragoza), igualmente para la evaluación de los contaminantes principales.
- La Red EMEP/VAG/CAMP, la única de carácter estatal, gestionada por la Agencia Española de Meteorología (AEMET), para la observación de la calidad del aire de fondo en zonas rurales remotas.

### 3.1.4. Metodología de evaluación

Independientemente de la Red considerada, la evaluación de la calidad del aire debe efectuarse con un enfoque común basado en criterios de evaluación comunes. Dicha eva-

luación debe tener en cuenta el tamaño de las poblaciones y los ecosistemas expuestos a la contaminación atmosférica, lo que lleva a clasificar el territorio nacional en zonas o aglomeraciones en función de la densidad de población.

- Las zonas son porciones de territorio delimitadas por la Administración competente en cada caso utilizada para evaluación y gestión de la calidad del aire.
- Las aglomeraciones se definen como conurbaciones de población superiores a 250.000 habitantes o bien, cuando la población sea igual o inferior a 250.000 habitantes, con una densidad de población por  $\text{km}^2$  que determine la Administración competente y justifique que se evalúe y controle la calidad del aire ambiente.

En las zonas y aglomeraciones así definidas se evalúa la calidad del aire para los contaminantes dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ), partículas (PM10 y PM2,5), plomo (Pb), benceno ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), monóxido de carbono (CO), arsénico (As), cadmio (Cd), níquel (Ni), benzo(a)pireno (B(a)P) y ozono ( $\text{O}_3$ ). La unidad utilizada en la medida de estos contaminantes es  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , microgramos por metro cúbico.

Dicha evaluación se efectúa considerando diversos objetivos de calidad del aire. Se distingue entre:

- **Valor límite:** Objetivo para la protección de la salud, definidos para  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , partículas PM10 y PM2,5, plomo, benceno y CO.
- **Valor objetivo, objetivo a largo plazo:** Objetivos para la protección de la salud, definidos para partículas PM2,5, arsénico, cadmio, níquel, B(a)P y ozono.
- **Nivel crítico:** Objetivos para la protección de la vegetación, definidos para  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$ .

Se entiende por valor límite aquel fijado basándose en conocimientos científicos, con el fin de evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana, para el medio

ambiente en su conjunto y demás bienes de cualquier naturaleza que debe alcanzarse en un período determinado y no superarse una vez alcanzado.

El valor objetivo es el nivel de un contaminante que deberá alcanzarse, en la medida de lo posible, en un momento determinado para evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos sobre la salud humana, el medio ambiente en su conjunto y demás bienes de cualquier naturaleza.

A su vez, el objetivo a largo plazo es el nivel de un contaminante que debe alcanzarse a largo plazo, salvo cuando ello no sea posible con el uso de medidas proporcionadas, con el objetivo de proteger eficazmente la salud humana, el medio ambiente en su conjunto y demás bienes de cualquier naturaleza.

Finalmente, el nivel crítico es aquel fijado con arreglo a conocimientos científicos por encima del cual pueden producirse efectos nocivos para algunos receptores como las plantas, árboles o ecosistemas naturales y para el ser humano. Los niveles límites para la protección de la salud humana son los siguientes:

Cuadro 3.1: Objetivos para la protección de la salud (valores límite)

Contaminante	Período de promedio	Valor límite	Umbral de alerta
SO <sub>2</sub>	Horario	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , (máx. 24 sup. al año)	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , (en 3 horas)
	Diario	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , (máx. 3 sup. al año)	-
NO <sub>2</sub>	Horario	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , (máx. 18 sup. al año)	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , (en 3 horas)
	Anual	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
PM10	Diario	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , (máx. 35 sup. al año)	-
	Anual	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
Pb	Anual	0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	Anual	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
CO	Horario	330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
PM2,5	Anual	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-

*Fuente: Manual Análisis de Calidad del Aire en España, [17]*

De estos niveles se fijaron unos niveles objetivos a alcanzar para ciertas emisiones:

Cuadro 3.2: Objetivos para la protección de la salud (valores objetivo)

Contaminante	Período de promedio	Valor objetivo
PM2,5	Anual	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
As	Anual	6 $\text{ng}/\text{m}^3$
Cd	Anual	5 $\text{ng}/\text{m}^3$
Ni	Anual	20 $\text{ng}/\text{m}^3$
B(a)P	Anual	1 $\text{ng}/\text{m}^3$

*Fuente: Manual Análisis de Calidad del Aire en España, [17]*

También se llegaron a acuerdos para la protección de la vegetación:

**Cuadro 3.3: Objetivos para la protección de la vegetación (niveles críticos)**

Contaminante	Período de promedio	Nivel crítico	Valor objetivo	Largo plazo
SO <sub>2</sub>	Anual e invierno (1 octubre a 31 marzo)	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-
NO <sub>2</sub>	Anual	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-
O <sub>3</sub>	a partir de valores horarios, de mayo a julio	-	18000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , (en 5 años)	6000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

*Fuente: Manual Análisis de Calidad del Aire en España, [17]*

Por otra parte, en ciertas ocasiones puede resultar útil considerar estadísticos que no se ajustan a los objetivos de calidad legislados. Este es el caso de la utilización de percentiles, por ejemplo cuando se dispone de series temporales con una baja captura de datos, que pueden ofrecer una aproximación a la calidad del aire más acertada que la consideración del número de superaciones, ya que los percentiles se muestran poco influidos por la pérdida de datos.

El percentil X-ésimo identifica un dato de una serie ordenada de menor a mayor que deja por debajo suyo el X% de los datos de la serie. Es decir, cuando no se dispone del 100% de los datos de una estación, permite conocer cómo de cerca o de lejos está la misma de alcanzar el valor legislado de que se trate.

El valor del percentil se calcula según el contaminante, teniendo en cuenta los valores legislados. En la siguiente tabla se resumen los percentiles de los principales contaminantes:

Cuadro 3.4: Relación máx. número superaciones, percentil y x-ésimo valor más alto

Contaminante	Período promedio	Máx. superaciones	x-ésimo valor	Percentil
SO <sub>2</sub>	Diario	3	4 <sup>º</sup>	99,2
	Horario	24	25 <sup>º</sup>	99,73
NO <sub>2</sub>	Horario	18	19 <sup>º</sup>	99,79
PM10	Diario	35	36 <sup>º</sup>	90,4
O <sub>3</sub>	Diario	25	26 <sup>º</sup>	93,2

*Fuente: Manual Análisis de Calidad del Aire en España, [17]*

Cualquier método que permita medir, calcular, predecir o estimar las emisiones, los niveles o los efectos de la contaminación atmosférica resulta válido para llevar a cabo la evaluación de la calidad del aire, si bien según el contaminante hay métodos más recomendables que otros, ya que aportan una mayor precisión.

Conforme al Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, la evaluación de la calidad del aire ambiente se realizará, dependiendo del nivel de los contaminantes con respecto a los umbrales/valores objetivo utilizando mediciones fijas, técnicas de modelización, campañas de mediciones representativas, mediciones indicativas o investigaciones, o una combinación de todos o algunos de estos métodos.

La legislación también determina los objetivos de calidad de los datos en la medición de las concentraciones de los distintos contaminantes, así como la forma de presentación de los resultados y los métodos de referencia a utilizar para la evaluación de dichas concentraciones. Los diferentes métodos de evaluación son:

1. **Mediciones fijas:** se trata de mediciones efectuadas en emplazamientos fijos, bien de forma continua, bien mediante un muestreo aleatorio, con el propósito de determinar los niveles de conformidad con los objetivos de calidad de los datos establecidos

por la legislación (Incertidumbre, recogida mínima de datos y cobertura mínima temporal). Algunos ejemplos son:

- Sensores automáticos.
- Equipos de medición de partículas.
- Equipos de recogidas de muestras de precipitación.

2. **Mediciones indicativas:** Mediciones cuyos objetivos de calidad de los datos en cuanto a cobertura temporal mínima son menos estrictos que los exigidos para las mediciones fijas (esto es, se efectúan con una menor frecuencia), pero satisfacen todos los demás objetivos de calidad de los datos establecidos por la legislación.
3. **Modelización:** Herramientas matemáticas que simulan el comportamiento de la atmósfera para determinar los niveles de un determinado contaminante en la misma. En general, los modelos parten de información meteorológica, topográfica, de fuentes de emisión y de mediciones del contaminante, y simulan el transporte por el viento, la dispersión debida a la turbulencia, las reacciones químicas del contaminante en la atmósfera, así como el depósito (por vía seca y húmeda) de los contaminantes

La metodología de evaluación para todos los contaminantes mencionados excepto para el ozono es la siguiente:

- Será obligatorio efectuar mediciones de la calidad del aire en lugares fijos en las zonas y aglomeraciones donde los niveles superen los umbrales superiores de evaluación. Dichas mediciones fijas podrán complementarse con modelización o mediciones indicativas para obtener información adecuada sobre la distribución espacial de la calidad del aire ambiente.
- Si los niveles detectados están comprendidos entre los umbrales inferior y superior de evaluación podrá utilizarse una combinación de mediciones fijas y técnicas de modelización y/o mediciones indicativas.

- En todas las zonas y aglomeraciones donde el nivel de contaminantes se halle por debajo del umbral inferior de evaluación establecido para esos contaminantes, será suficiente con utilizar técnicas de modelización para la evaluación de la calidad del aire ambiente.

En términos generales, para los contaminantes que se miden de forma continua suele haber más puntos de muestreo de los necesarios, atendiendo a los criterios establecidos en la legislación, mientras que para metales y B(a)P existen ciertas zonas en las que se evalúa únicamente por modelización, no existiendo puntos de medición fija.

Las estaciones de medición fija no se ubican de manera aleatoria; la normativa determina unas condiciones muy concretas de micro y de macroimplantación, con el objetivo de que puedan proporcionar datos representativos y comparables tanto para la protección de la salud como de la vegetación y los ecosistemas.

1. Para la protección de la **salud humana** los puntos de muestreo deberán estar situados de manera que proporcionen datos sobre:
  - Las áreas situadas dentro de las zonas y aglomeraciones que registren las concentraciones más altas a las que la población puede llegar a verse expuesta, directa o indirectamente, durante un período significativo en comparación con el período de promedio utilizado para el cálculo del valor o valores límite o, para el arsénico, el cadmio, el níquel y el B(a)P, valores objetivos.
  - Las concentraciones registradas en otras áreas dentro de las zonas y aglomeraciones que son representativas de la exposición de la población.
  - Los niveles de depósito que representen la exposición indirecta de la población a través de la cadena alimentaria, para el arsénico, el cadmio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos.
2. Para la protección de la **vegetación y los ecosistemas naturales**, los puntos de medición, a través del cumplimiento de los niveles críticos, estarán situados a una

distancia superior a 20 km de las aglomeraciones o a más de 5 km de otras zonas edificadas, instalaciones industriales o carreteras.

Así pues, las estaciones de medición fija pueden ser de diferente tipología, según el área en el que se localizan y según la principal fuente emisora implicada:

1. Según el tipo de **área** en la que se localizan:

- **Urbanas:** las ubicadas en zonas edificadas de forma continua.
- **Suburbanas:** las que se encuentran en zonas con presencia continuada de edificios, separadas por zonas no urbanizadas.
- **Rurales:** entendidas como las situadas en aquellas zonas que no satisfacen los criterios de las dos categorías anteriores.

2. Según la tipología de la principal **fuentes de emisión** que la influye:

- **De tráfico:** Estaciones situadas de tal manera que su nivel de contaminación está determinado principalmente por las emisiones procedentes de los vehículos de una calle o carretera próximas.
- **Industriales:** Estaciones situadas de tal manera que su nivel de contaminación se debe fundamentalmente a la contribución de fuentes industriales.
- **De fondo:** Estaciones en las que no se manifiesta ninguna fuente de emisión como predominante.

## 3.2. Metodología y Aplicación del Big Data al análisis de calidad del aire

### 3.2.1. Metodología

Para desarrollar el objetivo principal de este trabajo de Fin de Grado se han elegido tres lugares de la ciudad de Sevilla: el Parque de los Príncipes, el Parque de La Ranilla y la

Calle Torneo para las cuales se ha medido diariamente durante 2 meses de 2017, Febrero y Marzo, el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno y el monóxido de carbono. Estos datos son recogidos de la página web de la Junta de Andalucía, [3], que recogen la información de las distintas estaciones detectoras de gases, situadas en cada zona. La periodicidad de recogida de cada datos es de 1 dato cada 20 minutos, lo que hace un total de 12744 datos.

Una vez recabados el total de datos con la implementación de la aplicación *import.io*, se han tratado con el programa *SPSS*.

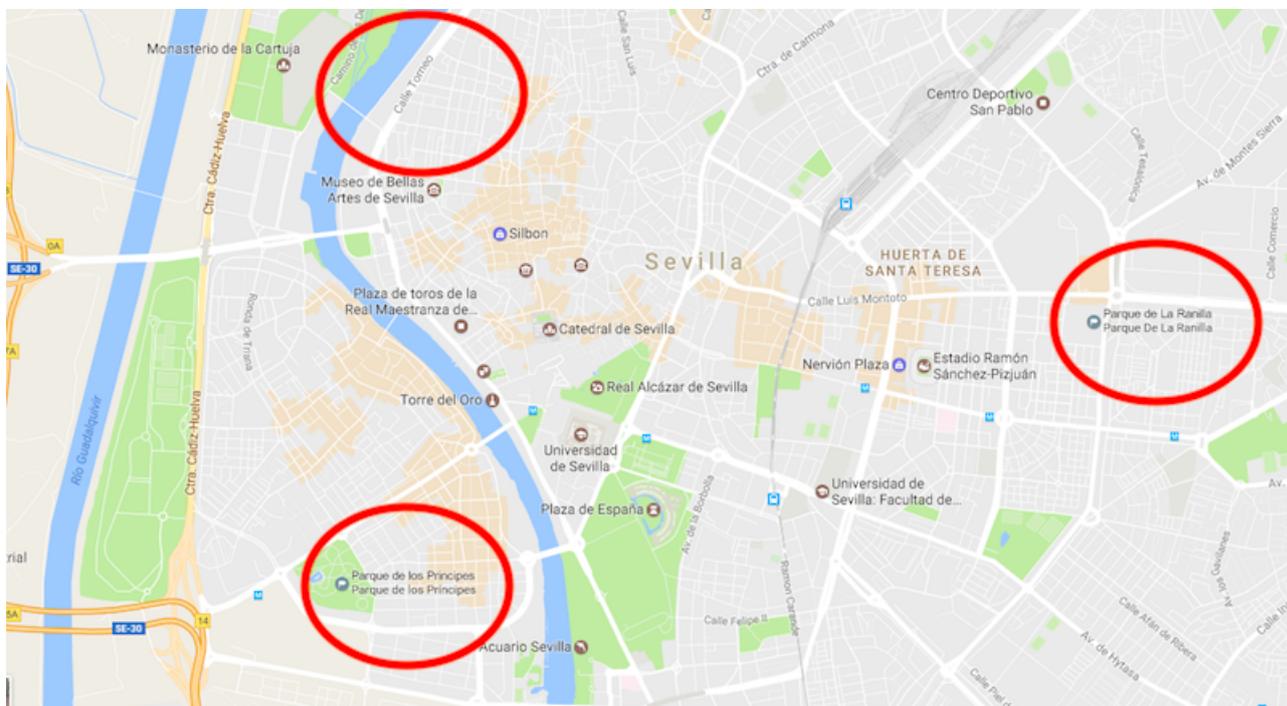
### 3.2.2. **Ámbito territorial**

El estudio se ha realizado en la ciudad de Sevilla. Debido a que es la ciudad en la que actualmente vivimos, se ha centrado el estudio en la calidad del aire en ella. Una vez que elegida la ciudad de estudio, se seleccionaron 3 lugares de dicha ciudad, donde analizar la calidad del aire en cada uno de ellos y su posible relación con el tráfico y el transporte, ya que las emisiones que se estudiaran tienen éstas como fuentes principales:

1. **Parque de los Príncipes:** está ubicado en la zona Suroeste de la ciudad de Sevilla y abrió en 1973. Se encuentra en la zona occidental del barrio de Los Remedios. Ocupa una extensión de 100 mil metros cuadrados.<sup>13</sup> Posee amplias praderas de hierba y caminos asfaltados. También está dotado, ya desde 1973, con un estanque para patos y cisnes con varios puentes y una isla artificial central. Cuenta con unas instalaciones deportivas que incluyen un campo de fútbol.
2. **Parque de La Ranilla:** es una parque público de unos 27000 m<sup>2</sup> levantado sobre los suelos donde antaño se levantaba la antigua prisión provincial de La Ranilla. Dicha zona se encuentra al Este de la ciudad de Sevilla, limitando con la Avenida de Andalucía.
3. **Calle Torneo:** está ubicada en la zona Noroeste de la ciudad de Sevilla. Es una de sus principales calles y transita por ella una gran parte del tráfico de Sevilla. Se

extiende desde el Puente del Cachorro al Puente de la Barqueta, siendo estos dos de los símbolos de la ciudad de Sevilla.

Figura 3.1: Mapa de la ciudad de Sevilla



*Fuente: Google*

Las zonas disponibles para la elección son todas en las que se hallan estaciones detectoras de gases. La elección de las zonas en las que se analizaran las emisiones han sido escogidas con el fin de buscar la máxima representatividad de la ciudad. Como se puede observar, se han escogido 3 zonas alejadas unas de otras con el fin de que la información obtenida de los datos pueda extrapolarse a la superficie entera de Sevilla.

### 3.2.3. Fuente de los datos

Los datos que se extraeran, y en los que nos centraremos, son los datos diarios de calidad del aire colgados en la página web de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, de la Junta de Andalucía, [3].

Siguiendo el Manual de Análisis de Calidad del Aire en España, [17], nuestra redes de calidad de aire serán de tipo autónomo y local, debido a que los datos son recabados a nivel local por el Ayuntamiento de Sevilla y gestionados y facilitados por la Junta de Andalucía.

Los datos son recolectados para la página web de la Junta de Andalucía por estaciones detectoras de gases. Las estaciones detectoras de gases repartidas por Sevilla realizan mediciones de tipo fijo, ya que son sensores automáticos, y de forma continua. Dichos sensores registran el nivel de concentración del gas en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , es decir, en microgramos por metro cúbico de aire.

Figura 3.2: Página web de la Junta de Andalucía

The screenshot shows the website interface for 'CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO'. The main heading is 'Informes diarios de calidad del aire'. Below this, there are two numbered links: '1. Informes diarios (Desde el 1 de enero de 1998)' and '2. Metodología de cálculo'. A section titled 'Informes diarios (Desde el 1 de enero de 1998)' contains instructions: 'Seleccione la provincia, la fecha y el tipo de datos que le interesan (Cuantitativos : proporcionan los valores reales de los parámetros medidos. Cualitativos : proporcionan una idea aproximativa del estado de dichos parámetros)'. Below this is a form with three main fields: 'Provincia' (a dropdown menu with options: Almería, Cádiz, Córdoba, Granada, Huelva, Jaén, Málaga, Sevilla), 'Fecha (dd/mm/aa)' (input fields for 9, 6, and 17), and 'Tipo' (radio buttons for 'Cualitativo' and 'Cuantitativo'). There are 'Enviar' and 'Borrar' buttons at the bottom of the form.

Fuente: Google, [3]

Todas las estaciones detectoras disponibles se hallan cerca de grandes avenidas o calles o principales vías de entrada y salida de la ciudad. Por lo que en nuestro estudio reconocemos como principal fuente de las emisiones que analizamos al tráfico y el transporte. También sabemos que Sevilla no es una ciudad con un sector industrial muy arraigado, por lo que

sabemos que la mayor parte de las emisiones provienen del transporte.

### 3.2.4. Tipos de emisiones

La página web fuente de los datos recoge, para cada zona los siguientes tipos de emisiones:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{CO}$  y  $\text{O}_3$ . Nosotros nos hemos centrado en los datos de emisiones de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{CO}$ , debido a que son los gases más perjudiciales y sus provienen la mayor parte del tráfico y el transporte. También se han seleccionado dichos gases debido a que en los registros de los datos eran los únicos que salían enteros y nos tenían datos omitidos.

- **Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ):** El  $\text{SO}_2$  es un gas muy reactivo en la atmósfera. Casi todos los combustibles fósiles tienen rastros de azufre en su composición, por lo que el  $\text{SO}_2$  se emite fundamentalmente a través de la quema de combustibles fósiles (93 %) tanto en la industria como en la generación de energía eléctrica, seguido por las emisiones asociadas a los procesos industriales y el transporte.

Actualmente la Organización Mundial de la Salud ha establecido una correlación directa entre los efectos negativos que afectan al aparato respiratorio y la concentración de  $\text{SO}_2$  en el aire, mencionándose especialmente la aparición de broncoespasmos y efectos en asmáticos.

El  $\text{SO}_2$  se utiliza como indicador de la familia de los óxidos azufrados que se denominan genéricamente  $\text{SO}_x$ . La presencia de  $\text{SO}_2$  en la atmósfera es responsable directamente de la acidez de la lluvias.

- **Óxidos de Nitrógeno ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ):** Los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) describen una mezcla de dos gases: óxido nítrico ( $\text{NO}$ ) y dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ). Son gases inorgánicos formados por la combinación de oxígeno con el nitrógeno del aire. El  $\text{NO}$  es producido en cantidades mucho mayores pero se oxida rápidamente a  $\text{NO}_2$  en la atmósfera. La emisión de este gas se debe fundamentalmente a transporte

(52 %), combustión para generación de energía, mecánica y eléctrica (40 %) y procesos industriales (7 %). Son originados naturalmente por descomposición bacteriana, incendios forestales y actividad volcánica.

Actualmente la evidencia científica relaciona la exposición de corto plazo con efectos respiratorios. Se ha encontrado que la concentración de  $\text{NO}_2$  en las cercanías de vías de tránsito importantes puede ser considerable, por lo que es importante considerar el efecto en individuos sensibles.

El  $\text{NO}_2$  causa efectos perjudiciales en los bronquios, puede irritar los pulmones y bajar la resistencia a infecciones respiratorias. Contribuyen a la formación de la lluvia ácida, aumentan la concentración de nitratos en suelos y aguas superficiales. Estos óxidos reaccionan con otras partículas en el ambiente y se integran al material particulado; en presencia de compuestos orgánicos volátiles y radiación solar reaccionan generando ozono ( $\text{O}_3$ ) que también puede tener efectos adversos sobre el sistema respiratorio de la población sensible.

- **Monóxido de carbono (CO):** El CO es un gas que se produce a partir de la combustión a bajas concentraciones de oxígeno, lo que se denomina combustión incompleta. La bibliografía indica que 86 % de las emisiones proviene del transporte, seguida con 6 % por quema de combustible en la industria y 3 % por procesos industriales, el 4 % restante se origina en quemaduras y otros procesos no identificados. En forma natural se genera a partir de la oxidación de metano, comúnmente producida por la descomposición de materia orgánica.

El CO puede causar efectos adversos en la salud ya que compite con el  $\text{O}_2$  en el torrente sanguíneo, lo que reduce la capacidad de la sangre de transportar el oxígeno a los diferentes órganos. Las personas sensibles, particularmente aquellas con problemas cardíacos, pueden ver disminuida su capacidad de oxigenación. Sin embargo, las concentraciones de CO raras veces exceden los límites establecidos para

la preservación de la salud, incluso en grandes centros urbanos.

### 3.2.5. Extracción y tratamiento de los datos

Una vez recabados los datos deseados, la extracción de los mismos se ha llevado a cabo con la utilización de la aplicación de internet gratuita *import.io*. Dicha aplicación permite la extracción de datos de páginas webs y que el usuario descargue los datos en una hoja de cálculo con extensión *csv*.

Se han extraído datos de las emisiones de dióxido de azufre, gases nitrogenados y de monóxido de carbono durante los meses de Febrero y Marzo de 2017. Las mediciones se realizaron repitiéndose 3 por hora, una cada 20 minutos, para cada gas en estaciones fijas colocadas en dichas zonas. Esto haría un total de 12744 datos. Cuando disponemos de los datos deseados procedemos a tratarlos con el programa *SPSS*.

## 3.3. Resultados

Para la extracción de los resultados se ha utilizado el programa SPSS, es un *software* estadístico con un sistema amplio y flexible de análisis estadístico y gestión de información que es capaz de trabajar con datos procedentes de distintos formatos generando, desde sencillos gráficos de distribuciones y estadísticos descriptivos hasta análisis complejos que nos permitirán descubrir relaciones de dependencia e independencia, establecer clasificaciones de sujetos y variables, predecir comportamientos, etc. . .

Se ha medido el nivel de **dióxido de azufre**, nivel de **nitrógeno** y nivel de **monóxido de carbono** durante los meses de Febrero y Marzo de 2017 en tres zonas de la ciudad de Sevilla, el Parque de Los Príncipes, ubicado en Los Remedios; el Parque de la Ranilla, ubicado en Sevilla Este, y la Calle Torneo. Se muestran los estadísticos, recordar que la unidad de medida de concentración de las emisiones es  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ :

Figura 3.3: Zona Príncipe

		Nivel de dióxido de azufre	Nivel de nitrógeno	Nivel de monóxido de carbono
N	Válidos	4248	4248	4248
	Perdidos	0	0	0
Media		6,29	27,52	337,59
Mediana		6,00	23,00	334,00
Moda		6	10	227
Desv. típ.		,936	19,031	114,819
Varianza		,876	362,192	13183,463
Mínimo		5	3	115
Máximo		22	125	1203

*Fuente: Elaboración propia*

En la zona del Parque de Los Príncipes, podemos observar que en cuanto a los niveles de dióxido de azufre, el valor mínimo es 5 y el máximo 22, siendo el valor medio 6,29 y la moda es 6 (valor que más se repite). En cuanto al nivel de nitrógeno, el valor mínimo recogido en las mediciones realizadas es 3, y el máximo 125, siendo el valor medio 27,52 y el valor más repetido 10. Por último, el nivel de monóxido de carbono toma como valor mínimo 115 y como valor máximo 1203, siendo el valor medio 337,59 y el valor que más se repite 227.

Figura 3.4: Zona Ranilla

		Nivel de dióxido de azufre	Nivel de nitrógeno	Nivel de monóxido de carbono
N	Válidos	4248	4248	4248
	Perdidos	0	0	0
Media		5,72	31,95	187,70
Mediana		6,00	26,00	158,00
Moda		6	16	137(a)
Desv. típ.		1,192	21,369	132,960
Varianza		1,421	456,636	17678,376
Mínimo		3	1	109
Máximo		20	130	2272

*Fuente: Elaboración propia*

En la zona del Parque Ranilla, el valor medio de dióxido de azufre es de 6, siendo también en valor que más se repite, y oscilando los valores de 3 a 20. En cuanto al nivel de nitrógeno, el valor medio es 31,95, siendo la moda 16 y los valores oscilan entre 1 y 130. En cuanto al nivel de monóxido de carbono, los valores oscilan de 109 a 2272, siendo el valor más repetido 137 y obteniendo un valor medio de 187,70.

Figura 3.5: Zona Torneo

		Nivel de dióxido de azufre	Nivel de nitrógeno	Nivel de monóxido de carbono
N	Válidos	4248	4248	4248
	Perdidos	0	0	0
Media		3,36	39,96	224,49
Mediana		3,00	36,00	197,00
Moda		3	26	0
Desv. típ.		,927	21,344	222,654
Varianza		,860	455,585	49574,872
Mínimo		2	3	0
Máximo		16	140	4703

*Fuente: Elaboración propia*

En la zona de Torneo, podemos observar que el valor medio de nivel de dióxido de azufre es de 3,36, siendo el valor que más se repite el 3 y tomando valores desde 2 a 16. En cuanto al nivel de nitrógeno, cuyos valores oscilan entre 3 y 140, el valor medio es de 39,96, siendo el valor que más se repite 26. En cuanto al nivel de monóxido de carbono, el valor mínimo es 0 y el máximo es 4703, siendo el valor medio 224,49 y siendo el valor que más se repite 0.

Comparando la media del nivel de cada uno de los gases en las tres zonas, que como se ve son bastante similares:

- **Dióxido de azufre:** el nivel medio de dióxido de azufre más bajo se da en la zona de Torneo (3,35) frente a 5,72 (Zona Ranilla) y 6,29 (Zona Príncipe). Como se ve este gas es emitido a partir de la quema de combustibles fósiles, tanto generados en la industria como en derivados como el petróleo o el carbón. Esto explica los resultados, ya que la zona del Parque de los Príncipes está rodeada por la carretera de Cádiz,

que es una de las arterias principales de acceso la ciudad de Sevilla y la zona de Ranilla es una zona industrial. Aunque Torneo registra una gran afluencia de coches el nivel es el más bajo de las tres zonas; esto puede ser debido a la concienciación de los habitantes para utilizar el transporte público y otros medios más ecológico en los accesos al centro de la ciudad y para moverse por ella.

Cuadro 3.5: **Análisis del Dióxido de azufre por zonas**

<u>Dióxido de azufre</u>	Príncipe	Ranilla	Torneo
<b>Media</b>	6,29	5,72	3,32
<b>Mediana</b>	6,00	6,00	3,00
<b>Moda</b>	6	6	3
<b>Desv. típ.</b>	,936	1,192	,927
<b>Varianza</b>	,876	1,421	,860
<b>Mínimo</b>	5	3	2
<b>Máximo</b>	22	20	16

*Fuente: Elaboración propia*

- **Nitrógeno:** el nivel medio de nitrógeno más bajo se da en la zona del Parque de los Príncipes (27,52) frente a 31,95 (Zona Ranilla) y 39,95 (Zona Torneo). La emisión del gas proviene casi a partes iguales del transporte y de la combustión para generación de energía, mecánica y eléctrica. Las medias de las 3 zonas son muy parecidas, pero parece ser que entre la zona con menos media, Parque de los Príncipes, y con más media, Torneo, ha sido diferencia la emisión debido a la combustión, ya que como hemos visto para el dióxido de azufre a priori podríamos suponer que hubo más afluencia de coches cerca del Parque de los Príncipes.

Cuadro 3.6: Análisis del Nitrógeno por zonas

<u>Nitrógeno</u>	Príncipe	Ranilla	Torneo
Media	27,52	31,95	39,96
Mediana	23,00	26,00	36,00
Moda	10	16	26
Desv. típ.	19,031	21,369	21,344
Varianza	362,192	456,636	455,585
Mínimo	3	1	3
Máximo	125	130	140

*Fuente: Elaboración propia*

- **Monóxido de carbono:** En cuanto al nivel medio de monóxido de carbono, el más bajo se da en el Parque de la Ranilla (187,70) frente a 224,49 (Zona Torneo) y 337,59 (Zona Príncipe). Casi la totalidad de las emisiones provienen del transporte, como hemos visto antes lo más factible es que hubiera habido más afluencia de tráfico por la zona del Parque de los Príncipes que por las demás zonas.

Cuadro 3.7: Análisis del Monóxido de carbono por zonas

<u>Monóxido de carbono</u>	Príncipe	Ranilla	Torneo
Media	337,59	187,70	224,49
Mediana	334,00	158,00	197,00
Moda	227	137	0
Desv. típ.	114,819	132,96	222,654
Varianza	13183,463	17678,376	49574,872
Mínimo	115	109	0
Máximo	1203	2272	4703

*Fuente: Elaboración propia*

A continuación se llevara a cabo un análisis de las correlaciones:

Figura 3.6: Zona Príncipe

		Nivel de dióxido de azufre	Nivel de nitrógeno	Nivel de monóxido de carbono
Nivel de dióxido de azufre	Correlación de Pearson	1	,291(**)	,246(**)
	Sig. (bilateral)		,000	,000
	N	4248	4248	4248
Nivel de nitrógeno	Correlación de Pearson	,291(**)	1	,693(**)
	Sig. (bilateral)	,000		,000
	N	4248	4248	4248
Nivel de monóxido de carbono	Correlación de Pearson	,246(**)	,693(**)	1
	Sig. (bilateral)	,000	,000	
	N	4248	4248	4248

*Fuente: Elaboración propia*

En la zona del Parque de Los Príncipes, podemos observar que la correlación entre el nivel de dióxido de azufre y el nivel de nitrógeno y el de monóxido de carbono es bajo por lo que

podríamos asumir que las emisiones de dióxido de azufre no guardan relación con las de los otros dos materiales. Aunque el principal origen de los 3 materiales sea el mismo puede ser que la emisión de uno no sea consecuencia de otro. Sin embargo el nivel de óxidos de nitrógeno vemos que guarda relación con la emisión de monóxido de carbono. Todas las correlaciones son directas, es decir, a medida que aumenta el nivel de un material aumenta el de los demás. Podríamos concluir que el nivel del óxidos del nitrógenos guarda una relación alta con la emisión de monóxido de carbono y que el dióxido de azufre no guarda relación con la emisión de los otros dos materiales.

Figura 3.7: Zona Ranilla

		Nivel de dióxido de azufre	Nivel de nitrógeno	Nivel de monóxido de carbono
Nivel de dióxido de azufre	Correlación de Pearson	1	,129(**)	,101(**)
	Sig. (bilateral)		,000	,000
	N	4248	4248	4248
Nivel de nitrógeno	Correlación de Pearson	,129(**)	1	,619(**)
	Sig. (bilateral)	,000		,000
	N	4248	4248	4248
Nivel de monóxido de carbono	Correlación de Pearson	,101(**)	,619(**)	1
	Sig. (bilateral)	,000	,000	
	N	4248	4248	4248

*Fuente: Elaboración propia*

En la zona del Parque Ranilla, la correlación del dióxido de azufre con los otros dos materiales es todavía si cabe más baja que en la zona del Parque de los Príncipes. Sin embargo se repite la alta correlación entre el nivel de emisiones de óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono. Todas las correlaciones son directas, es decir, a medida que aumenta el nivel de un material aumenta el de los demás. Podríamos concluir que el nivel del óxidos del nitrógenos guarda una relación alta con la emisión de monóxido de carbono y que el dió-

xido de azufre no guarda relación con la emisión de los otros dos materiales.

Figura 3.8: Zona Torneo

		Nivel de dióxido de azufre	Nivel de nitrógeno	Nivel de monóxido de carbono
Nivel de dióxido de azufre	Correlación de Pearson	1	,333(**)	,073(**)
	Sig. (bilateral)		,000	,000
	N	4248	4248	4248
Nivel de nitrógeno	Correlación de Pearson	,333(**)	1	,400(**)
	Sig. (bilateral)	,000		,000
	N	4248	4248	4248
Nivel de monóxido de carbono	Correlación de Pearson	,073(**)	,400(**)	1
	Sig. (bilateral)	,000	,000	
	N	4248	4248	4248

*Fuente: Elaboración propia*

En la zona de Torneo, podemos observar que la correlación entre el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno es algo es directa y más alta que en las otras dos zonas. Sin embargo, la correlación entre el dióxido de azufre y el monóxido de carbono es casi inexistente, es decir es independiente que aumente el nivel de dióxido de azufre del nivel de monóxido de carbono y viceversa. Por otra parte, la correlación entre el nivel de nitrógeno y el nivel de monóxido de carbono es algo más débil que en las otras dos zonas pero todavía más fuerte entre estos dos materiales que con los restantes. Podríamos concluir que en esta zona la relación entre los óxidos de nitrógeno y los otros dos tipos de emisiones es directa y algo fuerte, por lo que si aumenta el nivel de nitrógeno aumentaría el nivel de dióxido de azufre, en menor medida, y el nivel de monóxido de carbono, en mayor medida.

Comparando las tres zonas, en general se aprecia una fuerte correlación entre los óxidos de azufre y el monóxido de carbono y una relación mucho más débil del dióxido

de azufre con los óxidos de azufre y el monóxido de carbono. Sin embargo todas las correlaciones son positivas, es decir, directas. Por lo que si la concentración de uno de los materiales aumentase aumentarían los otros dos en cada una de las 3 zonas. Esto es debido al origen común de la emisión de estos materiales: la quema de combustibles fósiles.

### 3.4. Conclusiones

En esta sección se analizarán los resultados de la sección inmediatamente anterior de cada barrio elegido, se llevará a cabo una extrapolación de los mismos a la ciudad de Sevilla y se dará una posible solución a los efectos causados por la emisión de los gases. Se lleva a cabo una exposición de los datos obtenidos por barrio:

- **Parque de los Príncipes:** Como se ha podido ver en la sección de resultados se ha obtenido para los niveles de dióxido de azufre que el valor mínimo es 5 y el máximo 22, siendo el valor medio 6,29. Si esto lo extrapolamos al Manual del Análisis de Calidad del Aire visto en el capítulo anterior, recordamos que para la salud humana tanto el valor medio como el valor máximo alcanzado en este periodo están lejos del valor límite diario (50). Sin embargo, el valor máximo alcanzado en una medición (22) excede el nivel crítico (20 de promedio anual o en invierno) de esta emisión para la vida de la vegetación en esta zona. Por lo que se puede ver que el nivel de dióxido de azufre en esta zona está bajo control con algún pico.

En cuanto al nivel de nitrógeno vimos que la media está en 27,52 y se observó un valor máximo de 125. La media de los valores no incumpliría el valor límite (200 de media a la hora y 40 de media al año) ni el umbral de alerta (400 de media en 3 horas) de nuestro manual. Sin embargo el nivel máximo registrado en una de las mediciones excedería el valor límite de media al año. También el nivel medio de concentración de la emisión durante estos dos meses estaría muy cerca del nivel crítico

para la vegetación (30 de media en un año). Con lo que aquí tendríamos un posible indicador de peligro para la vegetación, por lo que habría que intentar reducir la emisión de óxidos de nitrógeno en dicha zona. Recordar que la mayoría de la emisión de este gas se produce por el transporte y por la combustión para la generación de energía, con lo que habría que llevar a cabo campañas de concienciación para el uso del transporte público o cerrar ciertas calles durante un número limitado de hora para evitar la alta concentración perjudicial para la vegetación.

Vemos que la media de concentración de monóxido de carbono es 337,59, y por supuesto el nivel máximo registrado que se encuentra en 1203, para esta zona excede el nivel límite para la salud (330 de media en una hora). Este indicador de peligro debería poner de manifiesto la necesidad de limitar el tráfico en dicha zona, ya que casi la totalidad de las emisiones de dicho gas proviene del transporte.

Como resumen, dicha zona debería llevar a cabo campañas de concienciación y de limitación del tráfico ya que tanto la vegetación como la salud humana podría estar en peligro. Esto podría ser alarmante, ya que al no ser una ciudad con una gran concentración de población ni puramente industrial los niveles de emisiones de monóxido de carbono está en niveles peligrosos.

- **Parque de la Ranilla:** Si analizamos los niveles de dióxido de azufre vemos que el valor mínimo es 3 y el máximo 20, siendo el valor medio 5,72. Si esto lo extrapolamos al Manual del Análisis de Calidad del Aire visto en el capítulo anterior, recordamos que para la salud humana tanto el valor medio como el valor máximo alcanzado en este periodo están lejos del valor límite diario (50). Sin embargo, el valor máximo alcanzado en una medición (20) alcanza justo el nivel crítico(20 de promedio anual o en invierno) de esta emisión para la vida de la vegetación en esta zona. Si estos valores de emisión siguieran así y la media anual fuera de 20 como en estos dos meses sería peligroso para la vegetación.

En cuanto al nivel de nitrógeno vimos que la media está en 31,95 y se observó un valor máximo de 130. La media de los valores no incumpliría el valor límite (200 de media a la hora y 40 de media al año) ni el umbral de alerta (400 de media en 3 horas) de nuestro manual. Sin embargo el nivel máximo registrado en una de las mediciones excedería el valor límite de media al año. También el nivel medio de concentración de la emisión durante estos dos meses excedería el nivel crítico para la vegetación (30 de media en un año) si siguiera con esta progresión durante el año. Con lo que al igual que en la zona del Parque de los Príncipes tendríamos un posible indicador de peligro para la vegetación, por lo que habría que intentar reducir la emisión de óxidos de nitrógeno en dicha zona. Recordar que la mayoría de la emisión de este gas se produce por el transporte y por la combustión para la generación de energía, con lo que habría que llevar a cabo campañas de concienciación para el uso del transporte público o cerrar ciertas calles durante un número limitado de hora para evitar la alta concentración perjudicial para la vegetación. También habría que limitar la actividad industrial en esta zona imponiendo tasas o llevarla más lejos de la ciudad ya que esta zona es de las más industriales de la ciudad.

Vemos que la media de concentración de monóxido de carbono es 187,70, y por supuesto el nivel máximo registrado que se encuentra en 2272, para esta zona no se excede el nivel límite para la salud (330 de media en una hora). Vistos estos valores se podría concluir que los nivel de monóxido de carbono está controlado.

Como resumen, dicha zona debería llevar a cabo campañas de limitación de actividades industriales y de tráfico ya que para la vegetación podría estar en peligro.

- **Torneo:** Si analizamos los niveles de dióxido de azufre vemos que el valor mínimo es 2 y el máximo 16, siendo el valor medio 3,36. Si esto lo extrapolamos al Manual del Análisis de Calidad del Aire visto en el capítulo anterior, recordamos que para la

salud humana tanto el valor medio como el valor máximo alcanzado en este periodo están lejos del valor límite diario (50). Además también se respeta el nivel crítico(20 de promedio anual o en invierno) de esta emisión para la vida de la vegetación en esta zona. Por lo que este nivel de concentración de emisión de dióxido de azufre estaría controlado en esta zona.

En cuanto al nivel de nitrógeno vimos que la media está en 39,96 y se observó un valor máximo de 140. La media de los valores estaría al límite de incumplir el valor límite anual (40 de media al año), sin embargo no incumpliría ni el valor límite horario (200 de media a la hora) ni el umbral de alerta (400 de media en 3 horas) de nuestro manual. Sin embargo el nivel máximo registrado en una de las mediciones excedería el valor límite de media al año. También el nivel medio de concentración de la emisión durante estos dos meses excedería el nivel crítico para la vegetación (30 de media en un año) si siguiera con esta progresión durante el año. Con lo que al igual que en las dos zonas anteriores tendríamos un posible indicador de peligro para la vegetación, por lo que habría que intentar reducir la emisión de óxidos de nitrógeno en dicha zona. Recordar que la mayoría de la emisión de este gas se produce por el transporte y por la combustión para la generación de energía, con lo que habría que llevar a cabo campañas de concienciación para el uso del transporte público o cerrar ciertas calles durante un número limitado de hora para evitar la alta concentración perjudicial para la vegetación.

Vemos que la media de concentración de monóxido de carbono es 224,49, y por supuesto el nivel máximo registrado que se encuentra en 4703, para esta zona no se excede el nivel límite para la salud (330 de media en una hora). Vistos estos valores se podría concluir que los nivel de monóxido de carbono está controlado.

Como resumen, dicha zona debería llevar a cabo campañas de limitación de ac-

tividades industriales y de tráfico ya que para la vegetación podría estar en peligro.

Como extrapolación de las conclusiones por barrios a toda la ciudad de Sevilla, se recomendaría poner en marcha campañas de concienciación del uso del transporte público y limitación de coches en las calles, por ejemplo con limitación de acceso al centro o a ciertas zonas. Asimismo, visto que se amenaza la integridad de la vida vegetal, sobre todo por la concentración de los óxidos de nitrógeno, habría que limitar también la actividad en las zonas industriales, posiblemente poniendo en marcha iniciativas de energías renovables que impliquen quema de combustibles fósiles para la obtención de energía.

El problema de la calidad del aire es un problema extendido a todas las grandes urbes españolas, europeas y mundiales. Un de las que más implantación de 30 medidas tiene es Madrid, cuyo plan, [5], debería ser un espejo para Sevilla. A continuación se exponen ciertas medidas que se encuentran publicadas en la página web del Ayuntamiento de Madrid, [5]:

1. **Área Central Cero Emisiones:** Madrid contará en junio de 2018 con una Zona Central Cero Emisiones en el distrito Centro, que unificará y ampliará las cuatro áreas de prioridad residencial ya existentes, con un contorno más claro e intuitivo. Con esta medida se eliminará el tráfico de paso en el distrito de Centro para crear un entorno más agradable, con menos ruido y contaminación. El peatón, el ciclista y el transporte público tendrán más espacio.
2. **Reforma de las principales vías de acceso al centro:** El Ayuntamiento reformará las principales calles de acceso al centro, ampliando aceras, creando itinerarios ciclistas y dando prioridad al transporte público. Se realizará en dos fases: primero las calles de fácil rediseño, como el eje Alcalá-Gran Vía, el paseo de la Castellana, la avenida de la Ciudad de Barcelona o la calle de Bravo Murillo; y en una segunda fase se trabajará en calles con túneles, cuya transformación es más compleja.
3. **Prioridad para los peatones:** Intervenciones en el espacio público para facilitar la

movilidad peatonal en los barrios, creando más y mejores entornos para el peatón, lo que reducirá la siniestralidad y la contaminación atmosférica. En concreto, se trabajará en un diseño que sirva para diferenciar y distinguir las redes peatonales y las Zonas 30, o en la eliminación de barreras arquitectónicas y obstáculos.

4. **Mejora y ampliación de la red ciclista:** Revisión y ampliación de la red de itinerarios seguros, integrada con los demás medios de transporte, con el objetivo de incrementar el uso de la bici hasta el 5% de los desplazamientos en 2025. Ya hay más de 30 nuevos kilómetros de itinerarios ciclistas y se construirán otros 30 kilómetros más al año.
5. **Ampliación de BiciMAD y coordinación con el Consorcio Regional de Transportes:** El sistema de bicicleta pública (BiciMAD) llegará a zonas de gran demanda y se renovarán las unidades. Además, se ha integrado en la tarjeta de transporte público, evitando llevar una tarjeta adicional.
6. **Regulación del aparcamiento con criterios de calidad del aire:** La gestión del aparcamiento en la zona SER incorpora bonificaciones y penalizaciones en relación con las emisiones del vehículo. Además, se ampliará el horario del servicio en zonas de uso intenso del vehículo privado por las noches o en festivo. A partir de 2020 no se permitirá el aparcamiento en el SER a los vehículos sin distintivo ambiental de la DGT.
7. **Limitación de la velocidad en los accesos metropolitanos y la M30:** La velocidad máxima de circulación se establecerá en 70 km/h en la M30 y en las vías de acceso desde su intersección con la M40.
8. **Red de aparcamientos intermodales en la corona metropolitana:** El Ayuntamiento está preparando una red de 12 aparcamientos disuasorios en la corona metropolitana. Tendrán una capacidad de 9.570 plazas, estarán conectados con la red de transporte y ofrecerán sistemas tarifarios ventajosos que incentiven el uso del

transporte público. Ya hay dos aparcamientos disuasorios, gratuitos si se va usar el transporte público a continuación, el de la avenida de Portugal y el de Nuestra Señora del Recuerdo.

9. **Vías preferentes y priorización semafórica para autobuses:** Se establecerán vías preferentes para los autobuses de la EMT mediante plataformas reservadas y prioridad semafórica, mejorando el tiempo de recorrido y una mayor regularidad en las frecuencias de paso. El objetivo es aumentar la velocidad de los autobuses y la calidad del servicio.
10. **Infraestructuras reservadas para transporte público:** Para la creación de carriles BUS-VAO-ECO (para vehículos de alta ocupación y menos contaminantes), habrá una coordinación con el resto de las administraciones que permita instalar en las vías de acceso plataformas reservadas que sirvan de conexión con la red de transporte público y los aparcamientos disuasorios. También se crearán corredores de autobuses de alta capacidad que conecten los distritos de la ciudad.
11. **Ampliación y renovación de la flota de la Empresa Municipal de Transportes:** Gracias al programa 2016-2020, la EMT va a renovar completamente su flota con la adquisición de 1.000 autobuses de bajas emisiones (gas natural, híbridos y eléctricos).
12. **Incentivos para una flota de taxis de bajas emisiones:** El Ayuntamiento ha aumentado los incentivos para la transformación a vehículos de bajas emisiones, con subvenciones para la adquisición de vehículos que cuenten con la etiqueta CERO o ECO. A partir del 1 de enero 2018 solo se autorizará la sustitución de taxis antiguos por este tipo de vehículos.
13. **Optimización del servicio del taxi con criterios ambientales:** Se incrementará la eficiencia y la sostenibilidad mediante la integración de nuevas tecnologías, optimización de recorridos y otras actuaciones que permitan mejorar el servicio y

reducir los viajes en vacío en busca de viajeros.

14. **Optimización de la distribución urbana de mercancías:** Creación de un sistema de gestión y control de las plazas en la vía pública reservadas para la carga y descarga mediante una aplicación específica y un registro municipal de empresas de distribución.
15. **Distribución urbana de mercancías con vehículos de bajas emisiones:** Tendrán preferencia de acceso y de horario en el área central y en la zona SER todos los vehículos de bajas emisiones destinados a la distribución de mercancías.
16. **Innovación y eficiencia en los procesos logísticos urbanos:** Se crearán fórmulas de colaboración, tanto en el ámbito público como en el privado, para crear una distribución sostenible e innovadora.
17. **Renovación del parque circulante:** De forma paulatina se irán tomando medidas para la sustitución de los vehículos más contaminantes. El objetivo es que en 2025 se reduzca el número de vehículos sin distintivo ambiental de la DGT.
18. **Flotas de servicios municipales de bajas emisiones:** Está previsto que en 2030 el 90 % de los vehículos municipales tengan la categoría CERO y ECO. Este cambio también afectará a los vehículos de las empresas contratistas de servicios municipales.
19. **Planes de movilidad laboral sostenible:** Se impulsará el desarrollo de planes de movilidad sostenible en empresas, así como en las administraciones aprovechando su papel ejemplarizante, comenzando por la redacción de un Plan de Movilidad Sostenible municipal. De manera complementaria, se instará al Gobierno de la Comunidad de Madrid a que apruebe una ley de movilidad sostenible.
20. **Red de recarga para vehículos eléctricos y suministro de combustibles alternativos:** Madrid pondrá en marcha una red de puntos de recarga oportunidad

de vehículos eléctricos y creará un programa municipal para el desarrollo de redes de recarga en lugares de residencia o trabajo. También creará nuevos puntos de suministro de combustibles alternativos, como el gas licuado de petróleo y el gas natural comprimido.

21. **Impulso a las iniciativas de movilidad compartida:** El Ayuntamiento de Madrid apoyará todas las iniciativas de movilidad compartida que tengan como objetivo mejorar y diversificar la oferta de transportes de la ciudad.
22. **Regeneración y rehabilitación de barrio:** El Ayuntamiento iniciará la estrategia de regeneración urbana, llamada Madrid Regenera, que incluirá la rehabilitación de viviendas (denominado Plan MAD-RE), la remodelación de espacios públicos y la naturalización de la ciudad con un ambiente más verde y ecológico.
23. **Fomento de sistemas de climatización eficiente de bajas emisiones:** Se impulsarán las mejoras en las instalaciones de climatización y agua caliente sanitaria, y en 2020 se eliminará el uso del carbón.
24. **Generación distribuida y uso de energías renovables:** El Ayuntamiento desarrollará una hoja de ruta para el desarrollo de las energías renovables y revisará las bonificaciones del IBI por instalaciones de energía solar.
25. **Reducción de emisiones en la gestión de residuos:** El complejo tecnológico de Valdemingómez mejorará los procesos de gestión de residuos para reducir sus emisiones. Se incrementará la recuperación de materiales con nuevas líneas de separación y se crearán instalaciones para el compostaje del residuo orgánico, cuya recogida se implantará de forma progresiva. También se mejorará el rendimiento de la Planta de Tratamiento de Biogás.
26. **Monitorización energética y gestión de consumos de instalaciones municipales:** Se trabajará en un modelo energético basado en la eficiencia y la transparencia de información con el objetivo de controlar de forma remota los consumos

energéticos. La gestión de información contempla, además, el seguimiento de las medidas, la inversión de ahorro, la eficiencia energética, la divulgación y la formación. Para ello, se creará una comisión de eficiencia energética y energías renovables, y una plataforma de consumos en edificios municipales, con el objetivo de tener hasta el 80 % del consumo monitorizado.

27. **Intervenciones en edificios e instalaciones municipales:** Para impulsar un modelo bajo en emisiones contaminantes se sustituirán sistemas de climatización y agua caliente por otros más sostenibles, y se instalará energía solar fotovoltaica en instalaciones municipales. Además, se promoverán los edificios de consumo casi nulo para mostrar el compromiso municipal.
28. **Incorporación de criterios de sostenibilidad en la contratación municipal:** Se creará un marco jurídico que permita a los órganos de contratación añadir criterios destinados a la reducción de las emisiones contaminantes, la mitigación y la adaptación al cambio climático. Estas deben promover el desarrollo sostenible en general.
29. **Adaptación al Cambio Climático. Madrid + Natural:** El Ayuntamiento de Madrid ha comenzado el plan Madrid + Natural. Gracias a él se podrá adaptar la ciudad a las amenazas ambientales derivadas del cambio climático con soluciones basadas en la naturaleza. Dicho plan incluye intervenciones en edificios, con la creación de cubiertas verdes; en barrios, con la rehabilitación de espacios públicos para mejorar las condiciones microclimáticas; y grandes infraestructuras, como el río Manzanares, cuya renaturalización ya ha comenzado.
30. **Sensibilización ambiental y cooperación con otras administraciones:** Las acciones de sensibilización y comunicación recorrerán de manera transversal las diversas líneas de actuación del Plan A con el objetivo de cambiar las pautas de la ciudadanía en la mejora de la calidad del aire y en la lucha contra el cambio climático. En este sentido, se crearán canales de colaboración de los ayuntamientos vecinos,

de la Comunidad de Madrid y del Gobierno del Estado para hacer las modificaciones legales y adoptar las medidas necesarias para promover el necesario cambio de hábitos de la ciudadanía.

# Bibliografía

- [1] AGUILAR, L. J. *Big Data, Análisis de grandes volúmenes de datos en organizaciones*. Alfaomega Grupo Editor, 2016.
- [2] CARAGLIU, A., DEL BO, C., AND NIJKAMP, P. Smart cities in europe. *Journal of urban technology* 18, 2 (2011), 65–82.
- [3] DE ANDALUCÍA, J. Informes diarios de calidad del aire, 2017.
- [4] DE ESPAÑA, G. Introducción a la iniciativa aporta, 2017.
- [5] DE MADRID, C. Medidas para el control de calidad de aire, 2017.
- [6] DODGE, M., AND KITCHIN, R. The automatic management of drivers and driving spaces. *Geoforum* 38, 2 (2007), 264–275.
- [7] DUTTON, W. H., KRAEMER, K. L., AND BLUMLER, J. G. *Wired cities: Shaping the future of communications*. Macmillan Publishing Co., Inc., 1987.
- [8] GRAHAM, S., AND MARVIN, S. Planning cybercities: Integrating telecommunications into urban planning. *Town Planning Review* 70, 1 (1999), 89.
- [9] GREENFIELD, A. *Everyware: The dawning age of ubiquitous computing*. 2006. Berkeley, CA: New Riders.
- [10] GROSSMAN, L. What’s this all about? the massive volume of data that humanity generates is a new kind of problem. the solution is very old: art. *Time Magazine* 6 (2015).

- [11] HOLLANDS, R. G. Will the real smart city please stand up? intelligent, progressive or entrepreneurial? *City* 12, 3 (2008), 303–320.
- [12] KITCHIN, R., AND DODGE, M. *Code/space: Software and everyday life*. Mit Press, 2011.
- [13] KOMNINOS, N. *Intelligent cities: innovation, knowledge systems, and digital spaces*. Taylor & Francis, 2002.
- [14] KOURTIT, K., NIJKAMP, P., AND ARRIBAS, D. Smart cities in perspective—a comparative european study by means of self-organizing maps. *Innovation: The European journal of social science research* 25, 2 (2012), 229–246.
- [15] LAVAL, P. B. Introduction to the mathematics of big data.
- [16] LI, K.-C., JIANG, H., YANG, L. T., AND CUZZOCREA, A. *Big data: Algorithms, analytics, and applications*. Chapman and Hall/CRC, 2015.
- [17] MINISTERIO DE AGRICULTURA, A. Y. M. A. *Análisis de Calidad del Aire en España*, 2014.
- [18] SHEPARD, M. *Sentient city: Ubiquitous computing, architecture, and the future of urban space*. The MIT press, 2011.
- [19] TORRES, J. Del cloud computing al big data. *Visión introductoria para jóvenes emprendedores* (2012).
- [20] YANG, C., HUANG, Q., LI, Z., LIU, K., AND HU, F. Big data and cloud computing: innovation opportunities and challenges. *International Journal of Digital Earth* 10, 1 (2017), 13–53.