



FACULTAD DE BIOLOGÍA, CIENCIAS AMBIENTALES Y QUÍMICA

GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

TRABAJO DE FIN DE GRADO

**<< CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA
COMUNIDAD DE MADRID: elaboración y propiedades
del Patrón de inmisión de NO>>**

Autor: << NICOLÁS ANTONIO MORA>>
Tutor/es: <<JESÚS GUARDIOLA SOLER>>

<< 2018>>



FACULTAD DE BIOLOGÍA, CIENCIAS AMBIENTALES Y QUÍMICA

GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES
TRABAJO DE FIN DE GRADO

**<< CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA
COMUNIDAD DE MADRID: elaboración y propiedades
del Patrón de inmisión de NO >>**

Tribunal de calificación:

(Firma)

Presidente:

(Firma)

Vocal 1º:

(Firma)

Vocal 2º:

Calificación:

Fecha:

<< 2018 >>

Segunda Página de Memoria del Trabajo Fin de Grado

Anexo V

INFORME PARA LA DEFENSA PÚBLICA DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO

D/D^a _____, profesor/es del
Departamento/s de _____ de la UAH,
como tutor/res del Trabajo de Fin de Grado en _____ de
D/D^a _____ titulado

(*) Realizado en _____

(*) Dirigido por D/D^a _____

INFORMA:

- FAVORABLE
- DESFAVORABLE

Alcalá de Henares de de 20....

Firma del tutor

Firma del cotutor

Fdo.: _____

Fdo.: _____

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1 INTRODUCCIÓN	3
1.1 CALIDAD DEL AIRE EN LA COMUNIDAD DE MADRID	4
1.2 LA RED DE VIGILANCIA DE LA COMUNIDAD DE MADRID.	5
1.3 PATRÓN LOCAL DE INMISIÓN.	6
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	7
3. OBJETIVOS	9
4. MATERIALES Y METODOS	10
4.1 RED DE CALIDAD DEL AIRE DE LA COMUNIDAD DE MADRID	11
4.2 DATOS.	13
4.3 OBTENCIÓN DEL PATRÓN LOCAL DE INMISIÓN.....	14
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
5.1 LOCALIZACIÓN DEL MÍNIMO DEL ÍNDICE I_{PLI} FRENTE AL TIEMPO A LO LARGO DEL AÑO.....	15
5.2 PATRÓN LOCAL DE INMISIÓN PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE ESTACIONES.....	17
5.2.1 PLAZA DE CASTILLA Y BARRIO DEL PILAR (UT).....	19
5.2.2 SANCHINARRO Y VALLECAS (UF).....	20
5.2.3 PARQUE JUAN CARLOS I Y CASA DE CAMPO (SUB)	20
5.3 UTILIZACIÓN DEL PLI PARA DETECTAR ERRORES EN LAS MEDIDAS.	22
5.4 CONTAMINACIÓN Y SALUD.	24
5.4.1 EVALUACIÓN A ESCALA TEMPORAL MACROSCÓPICA.....	24
5.4.2 UTILIDADES DEL PLI PARA REALIZAR EVALUACIONES A ESCALA TEMPORAL MICROSCÓPICA.	26
6.CONCLUSIONES.....	27
7.BIBLIOGRAFÍA	28
ANEXO.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura de la Red de Vigilancia, fuente: Sistema Integral de la Calidad del Aire del Ayuntamiento de Madrid.....	5
Figura 2: Mapa disposición de las estaciones de medición automáticas en los distritos de la ciudad de Madrid, fuente: Plan de Calidad del Aire de la Ciudad de Madrid 2011-2015	12
Figura 3: La representación de la disposición de los datos del nivel de inmisión	15
Figura 4: Desviación std/media de la concentración anual de los contaminantes NO a la derecha y NO ₂ a la izquierda en diferentes estaciones de medición automáticas	16
Figura 5: Desarrollo de la capa límite planetaria en función de la estación del año. Casquero Vera, J. (2016)	17
Figura 6: Perfil o patrón semanal de la concentración de los contaminantes NO a la derecha y NO ₂ a la izquierda en diferentes estaciones de medición automáticas	18
Figura 7: Perfil o patrón semanal de la concentración en moles de los contaminantes NO a la derecha y NO ₂ a la izquierda en diferentes estaciones de medición automáticas.....	21
Figura 8: Perfil o patrón semanal de la concentración de los contaminantes NO en diferentes estaciones de medición automáticas	22
Figura 9: Perfil o patrón semanal de la concentración de los contaminantes NO en diferentes estaciones de medición automáticas	24
Figura 10: Evolución mensual del número de ingresos hospitalarios urgentes por enfermedades respiratorias y concentración media de dióxido de nitrógeno. Fuente: Ministerio de Sanidad.....	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de recogida de periodo del año donde la desviación/ media y media son máximos y mínimos en diferentes estaciones automáticas de medición	23
--	----

RESUMEN

La contaminación atmosférica es la problemática reinante que rodea al ser humano en cuanto al Medio Ambiente.

Teniendo presente este hecho, el trabajo se ha orientado hacia el estudio de uno de los contaminantes más importantes, el óxido nítrico, en un lugar singular de la Comunidad de Madrid, la propia capital.

Para conocer el estado del tema se incluye una revisión bibliográfica y la descripción de la web específica que sobre el tema tiene la entidad.

El objetivo principal fue buscar el mejor estado de referencia que definiera el nivel de inmisión, y se le llamó Patrón local de inmisión, PLI. Conocer alguna de sus principales propiedades se fijó como objetivos secundarios, según se recoge en el Apartado 3. Una de las importantes es la evolución NO/NO₂.

Los datos utilizados se descargaron del Sistema Integral de la Calidad del Aire del Ayuntamiento de Madrid durante el periodo 05/03/2012 hasta el 31/05/2015, para estaciones de tipos urbana de fondo, tráfico y suburbana. Con ellos, posteriormente se han realizado una serie de cálculos y análisis para obtener el citado PLI.

Por último, los resultados obtenidos muestran el comportamiento de los contaminantes a lo largo de los periodos astronómicos. Es decir, las especies NO y NO₂ muestran una clara estacionalidad con picos máximos en invierno y mínimos en verano. Por otro lado, durante el periodo de una semana se observan picos a primera hora de la mañana y a última hora de la tarde para los días laborales.

Palabras claves: contaminación atmosférica, óxidos de nitrógeno, dióxido de nitrógeno, ozono, patrón, perfil de contaminación.

ABSTRACT

Air pollution is the prevailing problem that surrounds the human being in terms of the environment.

Bearing this fact in mind, the work has been oriented towards the study of one of the most important pollutants, nitric oxide, in a singular place of the Community of Madrid, the capital itself.

To know the status of the subject includes a bibliographic review and the description of the specific web that the entity has on the subject.

The main objective was to find the best reference state that defined the level of immission, and it was called the local pattern of immission, PLI. Knowing some of its main properties was set as secondary objectives, as stated in Section 3. One of the important is the evolution NO / NO₂.

The data used were downloaded from the Comprehensive System of Air Quality of the City of Madrid during the period 05/03/2012 to 05/31/2015, for stations of urban types of fund, traffic and suburban. With them, a series of calculations and analyzes have subsequently been carried out to obtain the aforementioned PLI.

Finally, the results obtained show the behavior of pollutants throughout the astronomical periods. That is, the NO and NO₂ species show a clear seasonality with maximum peaks in winter and minimum peaks in summer. On the other hand, peaks are observed during the first week in the morning and late in the afternoon during the weekdays.

Keywords: atmospheric pollution, nitrogen oxides, nitrogen dioxide, ozone, pattern, pollution profile

1 INTRODUCCIÓN

La mejora de la calidad de vida y los avances hacia la sostenibilidad se van a decidir en los próximos años, concretamente, en las ciudades. Y ello tendrá un impacto primordial en la salud del planeta y el desarrollo sostenible global.

Se deberá saber cómo organizar las formas de vida y la movilidad para garantizar que la mala calidad del aire no perjudique la salud de la población, dañe al entorno y condicione la sostenibilidad urbana.

Aunque todos los ciudadanos tengan derecho a respirar un aire limpio y sin riesgos para la salud y el entorno, desafortunadamente, se observa que un amplio porcentaje de población urbana en España sufre concentraciones elevadas de contaminación atmosférica (Jiménez Herrero, L.2011).

La contaminación atmosférica es algo inevitable hoy día debido a que forma parte de la vida cotidiana. La principal fuente de polución del aire es la combustión proveniente tanto del transporte y los procesos industriales, como también de fuentes naturales. Se considera fundamental determinar los niveles de contaminación a los que está expuesta la población ya que, si dichos contaminantes son altos y sobrepasan los umbrales establecidos por la ley, los efectos sobre la salud son significativos (Lebret et al. 2000).

La deficiente calidad del aire existente en gran parte de nuestras ciudades revela una planificación y gestión urbanas faltas de conexión y compromiso con los principios de un desarrollo urbano saludable y sostenible (Jiménez Herrero, L.2011).

Para tratar este problema ambiental que afecta tanto al hombre como a la naturaleza es imprescindible conocer el comportamiento de los contaminantes atmosféricos y los parámetros que se relacionan con ellos, para poder de esta forma adoptar las medidas adecuadas y corregir la situación.

El presente trabajo se centra en un número limitado de contaminantes atmosféricos que se consideran los más determinantes de la contaminación urbana: los compuestos de nitrógeno (dióxido de nitrógeno y monóxido de nitrógeno en particular) y el ozono troposférico (ligado básicamente a las

emisiones de compuestos orgánicos volátiles y de óxidos de nitrógeno en general). No obstante, se sabe que existen muchos otros contaminantes y moléculas que tanto por si solas como por reacciones con otras especies se forman en el entorno urbano y afectan inevitablemente a la salud de las personas.

Para el trabajo sólo se han utilizado los datos validados por el Ayuntamiento de Madrid, considerándose esta ciudad para el estudio.

En estas ideas se basa la elaboración del presente TFG, que de forma más concreta hace referencia al análisis de episodios de contaminación que se han producido en la ciudad de Madrid, junto a sus respectivas causas y algunos efectos sobre la salud.

1.1 CALIDAD DEL AIRE EN LA COMUNIDAD DE MADRID

El Ayuntamiento de Madrid comenzó las actividades de vigilancia y control de la contaminación del aire en el año 1968, desde cuya fecha hasta hoy día se aprecia que los factores que han determinado la calidad del aire en la ciudad han cambiado notablemente. Esto ha dado lugar a cambios en la consideración de los contaminantes que en cada momento han sido más preocupantes y a la introducción de medidas para ir abordando los problemas planteados por la legislación de calidad del aire, cada vez más exigente. (Plan de Calidad del Aire de la Ciudad de Madrid 2011-2015).

En relación con este estudio, decir que gracias a la Red de Vigilancia de la Comunidad de Madrid se pudo determinar la calidad del aire durante los últimos años y a su vez adoptar medidas para contrarrestar los efectos y consecuencias de las especies más peligrosas.

Por este motivo, en el pasado reciente se viene ejecutando un plan denominado Estrategia de Calidad del Aire y Cambio Climático 2013-2020, a su vez también denominado Plan Azul. Dicho plan actúa como continuación de otros anteriores, el Plan de Saneamiento Atmosférico de la Comunidad de Madrid 1999-2002 y la Estrategia de Calidad del Aire y Cambio Climático de la Comunidad de Madrid 2006-2012 y se fundamenta principalmente en conseguir la mejora de la calidad del aire reduciendo las emisiones e inmisiones de los diferentes contaminantes.

Las normativas aplicables en materia de calidad del aire y que disponen del apoyo de las administraciones locales establecen los siguientes contaminantes preferentes a controlar: NO₂, N₂O₃, PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, SO₂, CO, Benceno, Plomo, Arsénico, Cadmio, Níquel y Benzo(a) pireno, entre otros.

1.2 LA RED DE VIGILANCIA DE LA COMUNIDAD DE MADRID.

La Red de Vigilancia tiene un funcionamiento que se ejecuta de la siguiente manera: el punto de partida es el Centro de Control de datos de la Red de Vigilancia del Servicio de Protección de la Atmósfera, que se comunica automáticamente con las estaciones remotas con frecuencia horarios, e importa los datos diezminutales correspondientes a la última hora procedentes de cada una de las 24 estaciones. El sistema de comunicación que poseen dichas estaciones transmite los datos por línea telefónica RDSI y redes virtuales VPN

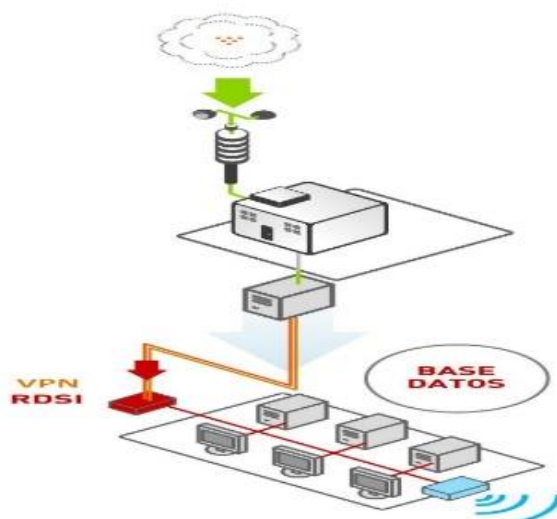


Figura 1: Estructura de la Red de Vigilancia, fuente: Sistema Integral de la Calidad del Aire del Ayuntamiento de Madrid

Los valores, una vez importados, pasan a formar parte de la base de datos del Servicio de Protección de la Atmósfera del Ayuntamiento de Madrid (Datos.madrid.es. 2018).

Los valores que aparecen en la página Web son actualizados aproximadamente en el minuto 20 de cada hora, es decir los valores se publican en la Web con un desfase de unos 20 minutos. Si se produce algún problema de comunicación con alguna estación, los datos son importados forzando una comunicación o se

integran automáticamente en la siguiente hora, publicándose en la Web en la siguiente llamada, o bien una vez que se consigue solucionar el problema de comunicación.

Se debe tener presente que los valores se publican en la Web directamente, tal como se reciben de las estaciones remotas, por tanto, son datos sin validar que pueden haber sufrido alguna anomalía o fallo debido a incidencias en el sistema o problemas en la calibración de los equipos.

Debido a la posible existencia de datos anómalos, después se validan y actualiza la web. También se realizan validaciones mensuales consistentes en una revisión detallada de los datos de todo el período que, una vez comprobados, se etiquetan definitivamente como válidos y son enviados al Ministerio competente, publicados en la Web, y puestos a disposición de los ciudadanos.

En consideración con lo citado anteriormente, el objetivo principal de esta red es obtener los niveles de concentración en el aire de los principales contaminantes atmosféricos y, a partir de los resultados de las mediciones, llevar a cabo las actuaciones necesarias para solucionar los problemas ocasionados por la contaminación atmosférica, ya sean sobre la salud humana o sobre el medio ambiente. Así como poder predecir los episodios de contaminación que se puedan ocasionar y conseguir actuar de forma prioritaria sobre los mismos.

1.3 PATRÓN LOCAL DE INMISIÓN.

El Patrón local de inmisión, PLI, *expresa el estado medioambiental estándar para un contaminante y un lugar concretos.*

En principio, parecería razonable que se obtuviera a partir de unas cuantas medidas de la concentración del contaminante en el lugar, efectuadas en situación de atmósfera no perturbada.

Esto es imposible dada la existencia permanente de alteraciones tanto de naturaleza cíclica como aleatoria. La sucesión día/noche y las estaciones astronómicas tienen carácter cíclico mientras que las derivadas de las variables meteorológicas como lluvia, vientos y radiación solar y de las actividades humanas como el transporte o la climatización son de tipo aleatorio.

Por ello, la única manera posible de obtener una medida representativa del nivel de contaminación es utilizar series de datos lo más cuantiosas posible, adaptarlas a los principales fenómenos cíclicos conocidos y calcular los promedios para cada punto del ciclo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Para establecer las bases del tema que se estudia en el presente TFG, se realizó la pertinente revisión bibliográfica para la que se acoto el perfil de búsqueda a partir de los términos; air pollution, nitrogen and (oxides or dioxide, ozone, pollution pattern, NO_x, SO_x, PM_{2.5}, PM₁₀.

En primera instancia, como menciona T. Karl (2017), decir que el ciclo del nitrógeno es esencial para mantener la capacidad oxidante de la atmósfera y regular el ozono en la atmósfera más baja. Las perturbaciones debidas a la industrialización intensiva y las actividades agrícolas han producido un aumento significativo de los óxidos de nitrógeno atmosféricos (NO_x) durante el siglo XX. En Europa se han adoptado medidas reglamentarias en el marco de la Estrategia temática de la UE sobre la contaminación del aire para limitar las concentraciones de NO₂ en el centro urbano a 40 µg / m³ por año (o 200 µg / m³ / h en menos de 18 días / año).

Por otro lado, D. Galán Madruga (2006) indica que los óxidos de nitrógeno (NO_x), junto con los compuestos orgánicos volátiles (COV), desempeñan un papel primordial en la formación del ozono troposférico, al tratarse éste de un contaminante fotoquímico y secundario, necesitando para su formación tanto de contaminantes primarios como la presencia de radiación solar.

En zonas urbanas, la producción fotoquímica de ozono se asocia principalmente con NO_x, y las principales fuentes de NO_x incluyen emisiones de vehículos, combustiones de combustibles fósiles, iluminación, quema de biomasa y actividad microbológica (Naja et al., 2004).

En el contexto de la contaminación por ozono, los países mediterráneos de Europa son los más afectados por ella debido a factores muy diversos, como altos niveles de radiación solar y temperaturas, emisiones antropogénicas y

precursores de ozono biogénico que favorecen la producción de ozono fotoquímico (Augustin et al., 2006; Adame y Sole, 2013)

En los últimos años, las observaciones muestran una tendencia general creciente de concentraciones de O₃ en las zonas urbanas europeas. Esto se ha atribuido principalmente a la aparición de compuestos orgánicos volátiles (VOC), donde la reducción de NO_x podría aumentar los niveles de O₃, (Saiz-Lopez, A. 2017).

En cuanto a los efectos sobre la salud, el NO no afecta significativamente a la salud humana, por su tiempo de vida corto, sin embargo es uno de los principales compuestos involucrado en la formación de O₃ a nivel del suelo, y puede reaccionar a formar partículas de nitrato, aerosoles ácidos y NO₂ que causan problemas de enfermedades respiratorias y contribuye también a la formación de lluvia ácida (Itano et al., 2007; Alier et al., 2009).

Estudios recientes han descrito un número importante de efectos adversos del ozono, los más importantes relacionados con el sistema respiratorio, como disminución de la función pulmonar, agravamiento del asma, aumentos tanto del riesgo de visitas a urgencias, como de los ingresos hospitalarios. Por otro lado, existen algunas evidencias de que los individuos, especialmente los más jóvenes, con hiperreactividad de las vías aéreas, constituyen un grupo muy sensible a los efectos del ozono. La tendencia en nuestro país es a un envejecimiento de la población lo que redundaría en un mayor impacto por la mayor susceptibilidad de las personas de edad avanzada (Ballester, F. 2005).

En cuanto a los patrones de contaminación, se observa que la variabilidad temporal de las concentraciones de NO y NO₂ en Poznan han confirmado que los valores mensuales más altos de las concentraciones se encuentran en la época fría del año, en el caso del NO a finales de otoño (noviembre-diciembre) y en el caso del NO₂ a principios de primavera (febrero-marzo), (Kalbarczyk, E., 2016).

Las causas más frecuentes indicadas como responsables de las [NO₂] y [NO] más altas en invierno que en verano, son entre otras que en verano se produce una menor emisión de contaminantes por parte del tráfico rodado e industrias, debido a la disminución de la cantidad de gente que hay en la ciudad en ese

periodo, así como una mayor eliminación de la contaminación del aire por efecto de la lluvia. Por otro lado, la [NO] aumenta en invierno por la reducción de la radiación solar y consiguiente menor oxidación de la especie en cuestión (Bell y Ashenden, 1996, Papaioannou et al., 2010, Mavroidis e Iliá, 2012, Alejo et al., 2013)

Los contaminantes primarios procedentes de la combustión de combustibles fósiles presentan lo que se podría clasificar como un patrón o perfil de concentración para cada lugar concreto. En cambio, el ozono presenta otro patrón que parecerá inverso al de los anteriores. Sus valores son más altos en los meses de temperaturas más altas debido a la interacción de los rayos ultravioleta con los gases precursores procedentes del escape de los vehículos y otras fuentes (NO₂ y COV). También la meteorología, por la mayor frecuencia de fenómenos anticiclónicos, puede hacer disminuir la dispersión de los contaminantes.

Otro fenómeno meteorológico que se ha sugerido como posible consecuencia del cambio climático sería el aumento en los episodios de tormenta seca con el consiguiente transporte de polvo del Sahara (Ballester, F., 2005).

3. OBJETIVOS

Los objetivos del presente estudio vienen marcados por las complejidades que presenta el campo de la contaminación atmosférica en base a; la interpretación de las cotas que alcanza la concentración de la contaminación debido a determinadas factores que los ocasionan, así como los episodios de contaminación que se han producido en el tiempo.

Una revisión de la literatura científica sobre contaminación atmosférica aunque no sea profunda, junto con la gran cantidad de noticias sobre sus efectos, sitúa el problema de la CA como uno de los más importantes en la vida actual.

Por ello, el presente trabajo se planteó para intentar aportar soluciones, concretamente con el **objetivo principal** de tratar de establecer una referencia del estado normalizado de los niveles de inmisión en la ciudad de Madrid. Esta referencia que denominamos Patrón local de inmisión se alcanzó según se

describe en los Apartados 5.1 y 5.2 de la presente Memoria. Se llevó a cabo para el contaminante óxido nítrico y, también, para la especie a la que evoluciona, dióxido de nitrógeno.

Algunas de las propiedades de este Patrón, cuyo estudio se planteó como **objetivos secundarios** fueron:

Su empleo para identificar la calidad de los datos suministrados por la web del Ayuntamiento de Madrid.

La confirmación de la evolución entre los contaminantes citados, es decir de la cinética $\text{NO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2$.

La utilización como referencia para detectar episodios y, por tanto, para estudiar los efectos sobre la salud.

4. MATERIALES Y METODOS

El área elegida para el presente trabajo, la ciudad de Madrid, está muy poblada, atestigua mucho tráfico y se localiza en el centro de España. La ciudad de Madrid cubre un área total de aproximadamente 604,3 km² con una población de más de 3,166 millones en el año 2016, (Ine.es. 2018).

Los requerimientos y la metodología empleada para la elaboración del presente estudio se basan en la descarga y el procesado de los datos. La herramienta empleada para la realización del estudio fue la plataforma virtual (Web) del Ayuntamiento de Madrid en la sección Datos abiertos/catálogo de datos calidad del aire/ Datos.madrid.es. (2018).

En ella se han obtenido las medidas de las concentraciones de los contaminantes NO₂, NO, PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, SO₂, CO en diferentes EM distribuidas por toda la ciudad. Mas adelante se describirán con detalle las características de los datos descargados.

4.1 RED DE CALIDAD DEL AIRE DE LA COMUNIDAD DE MADRID

El Ayuntamiento de Madrid dispone del denominado Sistema Integral de la Calidad del Aire, que permite conocer en cada momento los niveles de contaminación atmosférica en el municipio. En el año 2010 se puso en marcha una nueva versión de la Red de calidad del aire diseñada para cumplir la Directiva 2008/50/CE relativa a la Calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. Dicho Sistema está compuesto por tres subsistemas que hacen referencia a funciones específicas: Vigilancia, Predicción e Información.

Así pues, la Red en cuestión se compone de 24 estaciones remotas automáticas cuya función es la medición precisa de los niveles de gases contaminantes. Disponen de una serie de analizadores que captan la información en el ámbito en el que se localizan, facilitando conocer las diferentes situaciones de contaminación en la ciudad. (Plan de Calidad del Aire de la Ciudad de Madrid 2011-2015)

Esta Red es de gran utilidad para:

- Conocer la evolución de los niveles de calidad del aire a lo largo del tiempo en todo el territorio.
- Informar a los ciudadanos del estado de la calidad del aire y de su evolución.
- Empezar actuaciones de corrección en las zonas donde se superen los niveles de calidad del aire.
- Elaborar los mapas de vulnerabilidad y capacidad del territorio (instrumento orientador de la planificación territorial).

Las estaciones remotas automáticas son de tres tipos diferentes.

Por un lado, están las de **tipo Urbano de fondo**: representa la exposición de la población urbana en general.

Por otro lado, están las de **tipo Tráfico**: se disponen en lugares de la ciudad donde el nivel de contaminación está influido primordialmente por las emisiones de tráfico rodado.

Por último, hay un tercer tipo, **Suburbano**; localizadas a las afueras de la ciudad, en lugares donde se encuentran los niveles mayores de ozono. (Plan A: Plan de Calidad del Aire y Cambio Climático de la Ciudad de Madrid)

Los datos recogidos por las diferentes estaciones se pueden ver en la web del Ayuntamiento a la que se accede, a su vez, desde la web de la Comunidad de Madrid en el apartado de Datos Abiertos/Catálogo de datos/Calidad del aire: En este lugar se puede obtener la información en tiempo real, actualizándose cada hora, concretamente entre los minutos 20 y 30.

Los datos de los contaminantes disponibles on-line se pueden visualizar dependiendo del periodo de tiempo a buscar. Si se buscan las últimas 24 horas, se localizan en el apartado de “Datos en tiempo real”. Por otro lado, los de otros años o meses se encuentran en el apartado de “Datos diarios años 2001 a 2018”, integrados en paquetes de un mes, cada uno de los cuales incluye todas las estaciones y los contaminantes.

En la Figura 2, se muestra el mapa de la red de vigilancia con la distribución geográfica de cada una de las estaciones y su tipología.

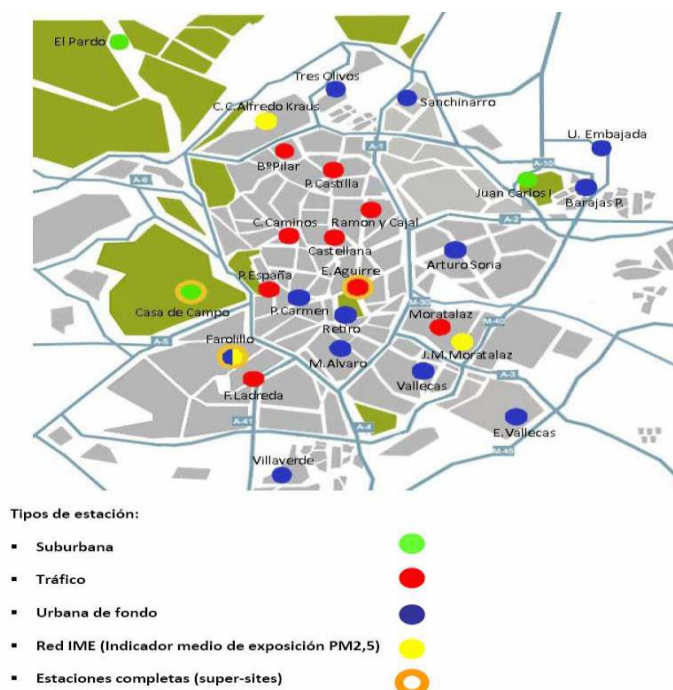


Figura 2: Mapa disposición de las estaciones de medición automática en los distritos de la ciudad de Madrid, fuente: Plan de Calidad del Aire de la Ciudad de Madrid 2011-2015

4.2 DATOS.

Los datos utilizados en el presente estudio comprenden un periodo de 4 años desde el 5/3/2012 a 31/5/2015, por consiguiente proceden de la sección de “Datos diarios años 2001 a 2018” Web del Ayuntamiento.

El presente trabajo forma parte, junto con los realizado por D. Miguel Martínez Illana y D^a Mónica Carmona, de un estudio más amplio sobre el estado y efectos de la Contaminación Ambiental en la ciudad de Madrid. Por ello la descarga de las medidas en su conjunto ha sido realizada por los tres, utilizando después cada uno las necesarias en función de los objetivos establecidos para cada TFG.

Según este planteamiento, las estaciones elegidas por el autor del presente TFG son: El Pardo, Méndez Álvaro, Moratalaz, Plaza Castilla y Sanchinarro, si bien se ha dispuesto de los correspondientes a las 15 estaciones indicadas en el Anexo I que, por el periodo y resolución horaria citados, suponen un total de unos 1.76 MM datos.

La preparación de los datos para obtener con ellos posteriormente el modelo, fue:

Tras la descarga se procedió a su organización. Los ficheros son planos en formato texto con extensiones: .txt .cor o .dco, y formados por cadenas de 164 caracteres, por ejemplo:

2807900401380215040100008V00009V00008V00007V00006V....

En consideración con la disposición del formato de las cadenas, se procede a su descodificación utilizando para ello un documento de traducción facilitado por la propia web del Ayuntamiento de Madrid (Interprete de ficheros de datos). Con ayuda del documento de traducción y la aplicación Excel se consigue obtener una matriz de datos de todas las *Estaciones de medición* y todos los correspondientes *contaminantes* por mes con resolución horaria (Anexo II; figura 1). Mediante varios pasos en diferentes hojas Excel se separan a formato de una Estación x un contaminante x tres años para su manejo con objeto de obtener el patrón o perfil semanal para cada contaminante y Estación de medición. (Anexo II; figura 2).

Para obtener ese patrón o perfil se realiza en el Excel una serie de operaciones entre celdas por lo que se consigue cierta automatización.

Debido a la disparidad en el estado medioambiental que presentan las cuatro estaciones astronómicas del año, EA, se llega a la conclusión de trabajar los datos en cuatro paquetes de 13 semanas cada uno para que los resultados ofrezcan cierta coherencia. Por otro lado, podría ocurrir que, en alguno de los periodos, desafortunadamente, se hubieran producido alteraciones medioambientales extraordinarias, por ejemplo, exceso de lluvia en primavera. Para corregir situaciones como esta, que las medias no representen fielmente el modelo medioambiental, se decidió utilizar conjuntos de datos de tres años.

Hubo cuatro conjuntos de datos para cada compuesto (NO y NO₂) correspondiente a cada año (2012, 2013, 2014 y 2015). Los conjuntos de datos por año 2013, 2014 y 2015 fueron matrices de dimensiones: 1 × 8760 (24 mediciones todos los días durante todo el año), cada uno, mientras que para el año 2012 (un año bisiesto) fue: 1 × 8784. Para mantener los datos comparables entre los años, las observaciones anteriores al 29 de febrero de 2012 fueron excluidos del análisis. También, debido a que el análisis necesitaba solo 13 trimestres, no se consideraron los meses posteriores a mayo de 2015.

Dicho de otro modo, el periodo de estudio abarca desde el 05/03/2012 y hasta el 31/05/2015.

4.3 OBTENCIÓN DEL PATRÓN LOCAL DE INMISIÓN.

Los datos del nivel de inmisión se disponen según indica la Figura 3, en la que también se aprecia la forma de obtener las media y desviación estándar. La figura se ha dibujado de forma simplificada solo a efectos de facilitar la explicación del método. El cálculo real se realiza:

- considerando las 24 h de cada día, y
- en lugar de las 13 semanas seguidas de un año, utilizando datos de tres años (por tanto 39 semanas).

El método de cálculo es el descrito por Martínez Illana (TFG, CC.AA. U. Alcalá, 2018).

		lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sabado	domingo
Estación astronómica	1ª semana	X_{L1}	X_{M1}	X_{X1}	X_{J1}	X_{V1}	X_{S1}	X_{D1}
	2ª semana	X_{L2}	X_{M2}	X_{X2}	X_{J2}	X_{V2}	X_{S2}	X_{D2}

	13ª semana	X_{L13}	X_{M13}	X_{X13}	X_{J13}	X_{V13}	X_{S13}	X_{D13}
	las trece semanas							
	\bar{x}_L	\bar{x}_M	\bar{x}_X	\bar{x}_J	\bar{x}_V	\bar{x}_S	\bar{x}_D	
	σ_L	σ_M	σ_X	σ_J	σ_V	σ_S	σ_D	

Figura 3: La representación de la disposición de los datos del nivel de inmisión

La construcción de las gráficas del perfil o patrón semanal se realiza de la siguiente manera: se coloca en el eje de las X las 168 horas que contiene una semana, para poder obtener así las variaciones horarias y diarias en la concentración de los contaminantes y en el eje de las Y se colocara la concentración del contaminante concreto. Esta construcción se lleva a cabo para los contaminantes NO y NO₂.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se expondrán los resultados obtenidos durante el estudio, teniendo en cuenta las posibles causas que influyen en los niveles de contaminación para las diferentes estaciones de medición y contaminantes.

5.1 LOCALIZACIÓN DEL MÍNIMO DEL ÍNDICE I_{PLI} FRENTE AL TIEMPO A LO LARGO DEL AÑO.

Se determinará el intervalo de fechas en el cual la media del contaminante medida mediante el índice I_{PLI}, está en situación de óptimo.

Con las gráficas de la Figura 4 se pretende identificar el valor mínimo a lo largo del año en el que se situará el valor central de las 13 semanas. En dichas gráficas se verán reflejados a su vez los cambios que se producen a lo largo de las 4 estaciones astronómicas.

El análisis se realizará para una estación de tipo suburbana, su correspondiente contaminante NO y el contaminante con el que a priori presenta mayor interacción química, NO₂. El comportamiento que se describe, basado en la Figura 3, se comprobó que es similar para los otros dos tipos de E, urbana tráfico, UT, y urbana de fondo UF, por lo que aquí no se describe.

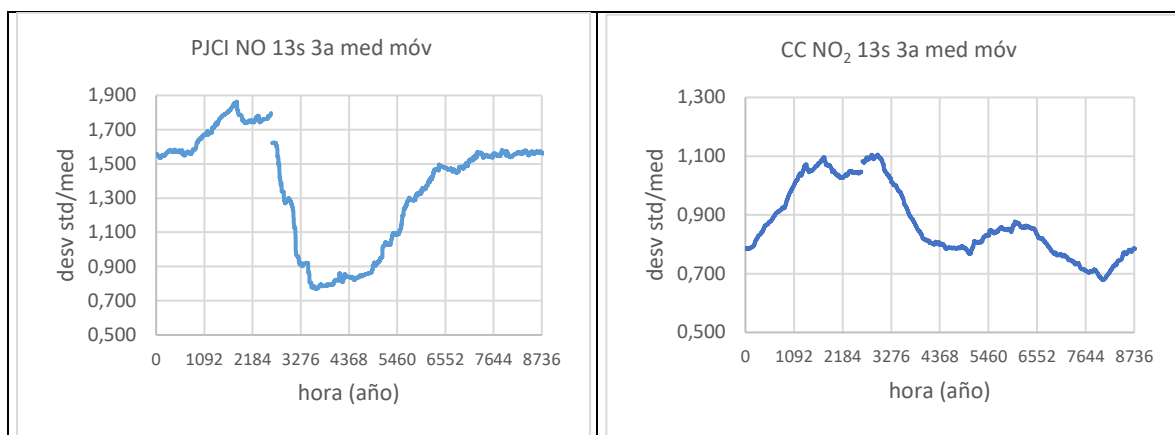


Figura 4: Desviación std/media de la concentración anual de los contaminantes NO a la derecha y NO₂ a la izquierda en diferentes estaciones de medición automáticas

Parque Juan Carlos I y Casa de campo (Sub)

Para el caso de la estación Suburbana de Parque Juan Carlos I (figura 4.1) se puede observar que los valores mínimos coinciden con el periodo de verano (junio y julio) y, a su vez, que los valores más altos tienen lugar durante el periodo invernal. Por otro lado, para la estación Casa de Campo (figura 4.2), los valores mínimos se producen en el periodo de noviembre, mientras que los más altos coinciden con el periodo de invierno (febrero y marzo).

Los estudios de variabilidad temporal de las concentraciones de NO y NO₂ en Madrid muestran que los valores más altos de las concentraciones mensuales se encuentran en la época fría del año, en el caso del NO a finales de otoño y comienzo del invierno y en el caso del NO₂ a finales de invierno y principios de primavera (febrero-marzo). Las causas principales de que las concentraciones de NO₂ y NO sean superiores en invierno que en verano son, entre otras, que las emisiones de tráfico, son más altas, también una menor utilización de las calefacciones en verano, así como una mayor eliminación de las contaminaciones del aire por la lluvia.

Otro fenómeno a tener en cuenta es la importancia de la altura de la capa de mezcla, que juega un papel fundamental en los niveles de los contaminantes observados en superficie. La Figura 5 ilustra cómo la baja altura de la capa de mezcla puede favorecer la acumulación de contaminantes cerca de la superficie, tal y como sucede durante los meses fríos. Sin embargo, cuando la insolación es más intensa los procesos convectivos se ven favorecidos y la altura de la capa de mezcla es mucho mayor, lo que contribuye a una mayor dispersión de los contaminantes en la atmósfera durante los meses de verano.

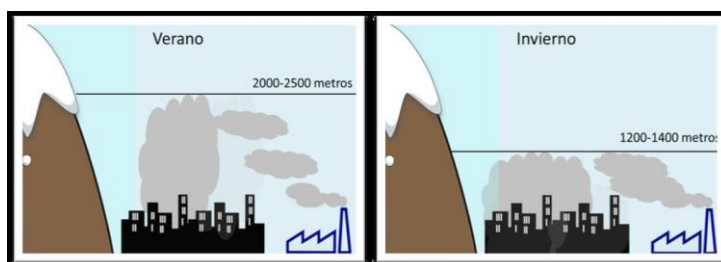


Figura 5: Desarrollo de la capa límite planetaria en función de la estación del año. Casquero Vera, J. (2016)

5.2 PATRÓN LOCAL DE INMISIÓN PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE ESTACIONES.

En primera instancia se analizarán los resultados obtenidos en los perfiles semanales correspondientes al mínimo de las estaciones de captación y análisis de los contaminantes. Para ello se escogerá una estación de cada uno de los tres tipos que se vienen considerando. Por otro lado, es muy interesante comprobar que el PLI es constante para cada tipo de estación por lo que en el Anexo I se recogen los de las restantes analizadas.

La metodología empleada ha sido encontrar en la gráfica de desv. stand/ media vs tiempo, el valor mínimo que permite identificar el periodo de las 13 semana de estudio a partir del cual se puede realizar el patrón semanal. Ese barrido anual es el resultado de realizar la media de la concentración de NO y NO₂ respectivamente, para cada hora y cada uno de los tres años empleados en el estudio, el periodo comienza desde 03/05/2012 hasta 31/05/015.

Las gráficas del patrón semanal que se presenta en la Figura 6 tienen el objetivo de analizar el comportamiento de los contaminantes mencionados a lo largo de

los 7 días de la semana, dando como resultado la variación de las concentraciones según la hora del día, tanto si se trata de días laborales como de fin de semana. Los perfiles semanales a analizar son de NO y NO₂ respectivamente.

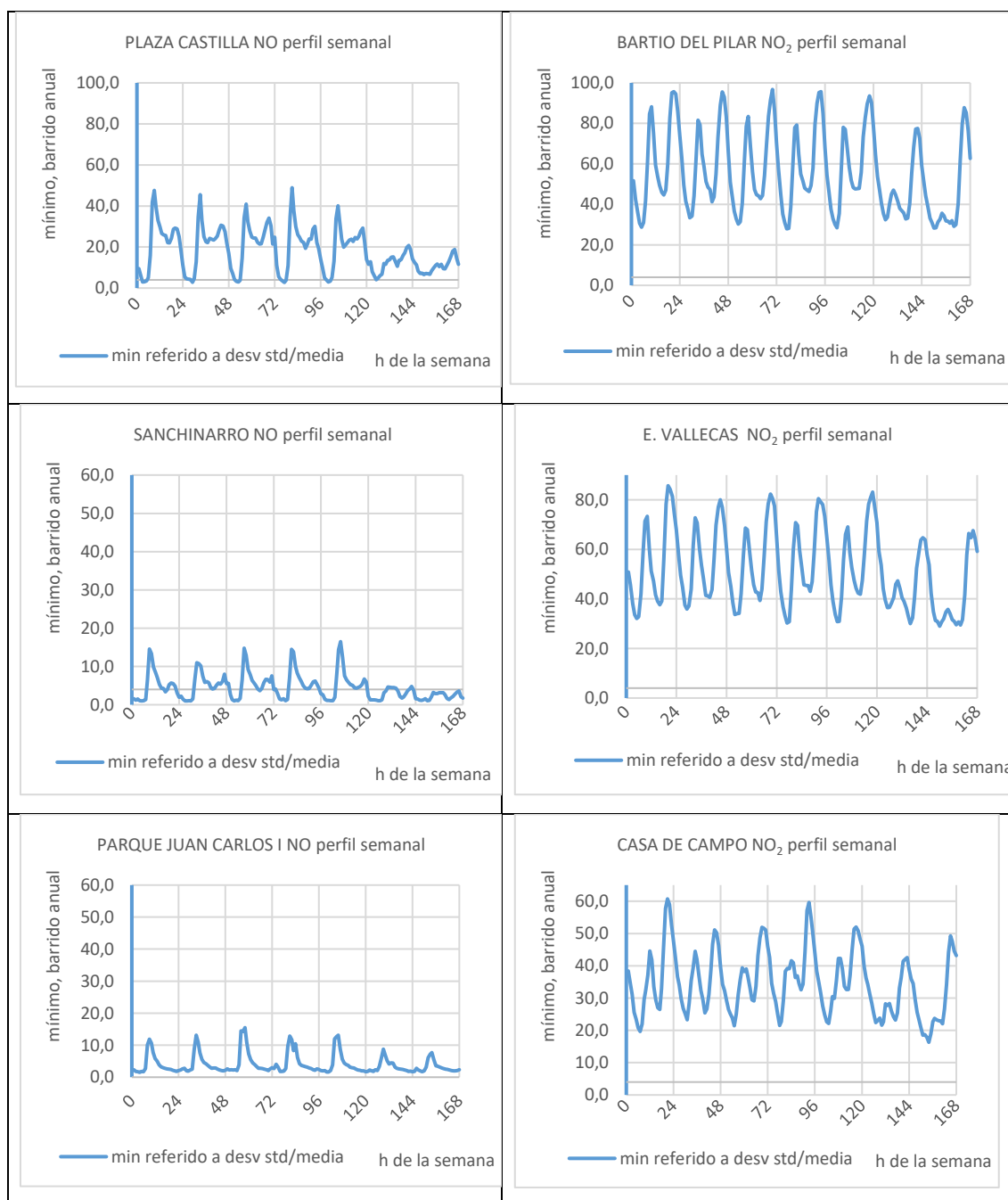


Figura 6: Perfil o patrón semanal de la concentración de los contaminantes NO a la derecha y NO₂ a la izquierda en diferentes estaciones de medición automáticas

5.2.1 PLAZA DE CASTILLA Y BARRIO DEL PILAR (UT)

Para el caso de las estaciones de tráfico de Plaza de Castilla, figura 6.1, y Barrio del Pilar, figura 6.2, se puede observar que en ambas existen diferencias de concentración entre los días laborales y los fines de semana.

En la estación de Plaza de Castilla que mide el nivel NO, figura 6.1, durante los días laborales se aprecia un patrón formado por dos picos diarios, claramente definidos, el primero de los cuales coincide con las horas de la mañana en torno a las 9 a.m., dando valores de unos 40-50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, debido seguramente al tráfico rodado, y el otro pico segundo algo menos pronunciado queda enmarcado durante la tarde-noche, con valores de 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, causado también por el tráfico. En esta estación se ve un patrón peculiar aparte de los ya mencionados, a saber, se aprecia que en las horas centrales del día la [NO] no desciende tanto como en los casos que se trata a continuación, por ejem. Parque Carlos I, sino que se mantiene en torno a los 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, fenómeno que le podría explicar por ser una vía de acceso a la ciudad, carretera de Burgos, con circulación ininterrumpida durante la mayor parte del día. En cuanto al fin de semana los valores de concentración son menores, no superan los 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Otra vez se debería hablar de las mismas causas que se vienen proponiendo.

Por otra parte, en la figura 6.2 se representa la estación Barrio del Pilar que analiza [NO₂]. En ella se aprecia una gran cantidad de picos con aspecto bastante diferente a los de las estaciones de NO. Por lo general los valores de concentración de NO₂ durante la semana no bajan de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En dicha gráfica se aprecian los máximos durante la tarde-noche dando valores en torno a los 80 – 95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mientras que por la mañana la concentración es algo menor, pero sigue mostrando más alta concentración que el resto del día. Las [NO] durante el fin de semana son inferiores a las de los días laborales, en torno a los 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores son similares a los de los días laborales, seguramente por estar situada la estación en el centro de la ciudad en la que continúa existiendo actividad, aunque ahora la naturaleza del tráfico cambie al tipo ocio/cultural.

5.2.2 SANCHINARRO Y VALLECAS (UF)

Para el caso de las estaciones urbanas de fondo de Sanchinarro, figura 6.3, y Vallecas, figura 6.4, también se puede observar que ambas mantienen diferencias entre los perfiles de los días laborales y los fines de semana.

La estación de Sanchinarro que analiza la concentración de NO, figura 6.3, ofrece un patrón bien definido durante los días laborales, con el primer máximo próximo a las 9 a.m. y niveles de inmisión cercanos a los $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo la concentración del segundo pico más baja y quedando situada en la tarde-noche. En cuanto al fin de semana se observan valores de concentración más bajos que no superan los $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, caso contrario al de los días laborales.

Por otro lado, la estación Vallecas, figura 6.4, posee un perfil similar a la del B. del Pilar, con un nivel basal o “suelo” nunca inferior a $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En dicha gráfica se aprecia que los picos de máxima concentración se disponen durante la tarde-noche dando valores en torno a los $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mientras que durante la mañana la concentración es algo menor. En cuanto al fin de semana, aun repitiéndose la disminución del nivel es digno de mención la práctica desaparición del primero de los máximos, el de la mañana.

5.2.3 PARQUE JUAN CARLOS I Y CASA DE CAMPO (SUB)

Para el caso de las estaciones suburbanas de Parque Juan Carlos I, figura 6.5, y Casa de Campo, figura 6.6, se puede observar que los perfiles diarios de los días laborales y los de fin de semana son bastante diferentes. El motivo de esta subida y bajada de picos se podría deber a que en los días laborables la fluctuación del tráfico es muy elevada. Por el contrario, los fines de semana la disminución del tráfico rodado es notable, por consiguiente los picos alcanzan valores de concentración más bajos en comparación con los de los días laborales.

En la estación de Parque Juan Carlos I, que mide la concentración de NO, figura 6.5, se aprecia un claro patrón de picos pronunciados durante los días laborales, que coinciden aproximadamente con las 9 a.m., dando valores en torno a los $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$, debido en su mayoría al considerable tráfico rodado generado por la

entrada de la gente a sus puestos de trabajo y un segundo pico algo menos pronunciado, que queda enmarcado durante la tarde-noche y podría ser debido de nuevo al desplazamiento de la gente desde sus lugares de trabajo a sus hogares. En cuanto al fin de semana se aprecian valores de concentración menores que no superan los $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, inferiores a los de los días laborales. Esto está motivado por la disminución del tráfico rodado.

Por otro lado, en la estación de Casa de Campo, figura 6.6, que mide NO_2 se aprecia una gran cantidad de picos de subida y bajada comportándose de modo bastante diferente a como lo hacían los del NO. Por lo general los valores de concentración de NO_2 durante la semana no bajan de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En dicha gráfica se aprecia que los picos de máxima concentración se disponen durante la tarde-noche dando valores en torno a los $50 - 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que durante la mañana la concentración es algo menor, pero sigue mostrando más alta concentración que el resto del día. El motivo de estos picos, como se ha mencionado con antelación, deberá estar promovido por el tráfico rodado. En cuanto al fin de semana pasa lo mismo que en las estaciones que miden NO, existen niveles de concentración menores que durante los días laborales, en torno a los $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$, debido a la disminución del tráfico rodado y la actividad industrial.

Con los resultados obtenidos se puede destacar que los valores de las estaciones de tráfico y urbana de fondo proporcionan concentraciones de NO y NO_2 más altas que las Suburbanas. Se puede afirmar que los picos de óxidos de nitrógeno coinciden con horas punta de tráfico.

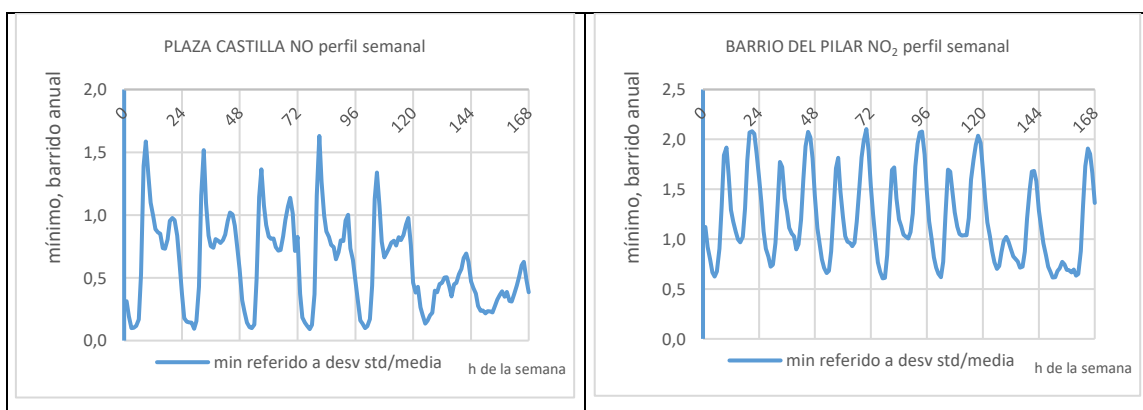


Figura 7: Perfil o patrón semanal de la concentración en moles de los contaminantes NO a la derecha y NO₂ a la izquierda en diferentes estaciones de medición automáticas

Por otro lado, expresando las concentraciones en moles, la interacción química entre ambas especies es más evidente, así, en la Figura 7 se observa que primero se forma NO y después se oxidara a NO₂.

En base a lo anteriormente mencionado, cabe resaltar la importancia que los óxidos de nitrógeno presentan en la química ambiental, atendiendo a su participación directa en los procesos de formación de contaminantes secundarios, tales como ozono, ácido nítrico, nitrato de amonio, etc ... con los conocidos efectos perjudiciales para la salud humana y el medioambiente. Por tanto, resulta fácil entender la necesidad de controlar dichos contaminantes perjudiciales, bien de forma directa o bien sobre sus precursores.

Otro factor a tener en cuentas es que los niveles de concentración media anuales de NO₂ se encuentran muy por encima del valor límite de 40 µg/m³ para todo el periodo estudiado 2012-2015, como se describe en el (Anexo III).

5.3 UTILIZACIÓN DEL PLI PARA DETECTAR ERRORES EN LAS MEDIDAS.

En este apartado se describen dos excepciones que han surgido al realizar el presente trabajo a consecuencia de la metodología empleada.

Tanto en la estación de Méndez Álvaro como en la de Plaza de España el aspecto del patrón semanal de NO obtenido era bastante diferente al encontrado para las demás estaciones. Una vez analizado a fondo para intentar descubrir la anomalía, se llegó a la conclusión de que la metodología empleada en el estudio tenía un error no previsto, a saber:

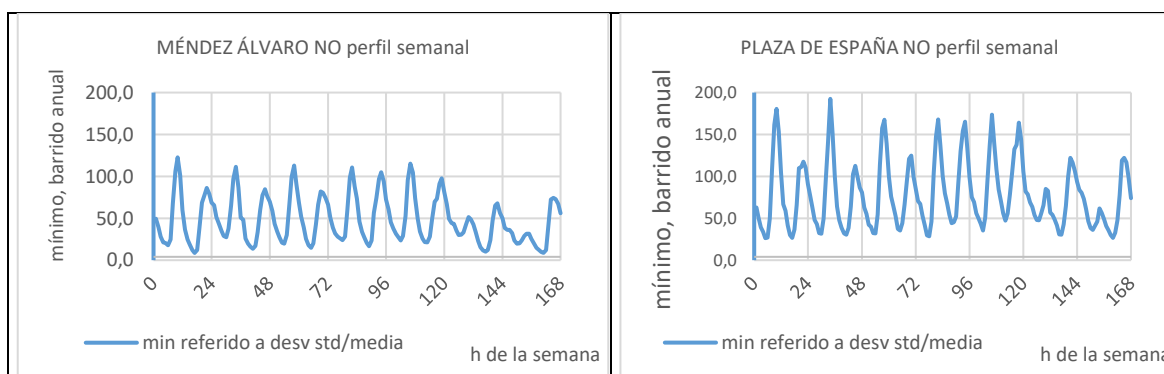


Figura 8: Perfil o patrón semanal de la concentración de los contaminantes NO en diferentes estaciones de medición automáticas

Cuando se establece el criterio para construir el PLI, se asume que el mínimo de la gráfica de la desviación estándar/ media, representa las condiciones de más calma que se estiman. Sin embargo, si se produce una alteración ambiental tal que los niveles se mantengan altos durante un nº considerable de días y a la vez sean relativamente próximos, el criterio deja de ser válido.

Así, el criterio considera que cuanto más baja sea la desviación estándar (el numerador), menos fluctuaciones se producirán, pero corremos el riesgo sin embargo de que esta fracción puede ser pequeña cuando la media sea alta. Por consiguiente, cuando la media es alta el criterio empleado falla y salen patrones en las gráficas que no corresponden a la tendencia dada. Sería un caso extraordinario y excepcional, por ello se intenta resolver utilizando como criterio el valor mínimo de la media en lugar de la desv.stan/media y reconstruyendo con el la gráfica patrón o perfil semanal.

Para confirmar que el cambio de criterio resuelve la anomalía se elaboró la Tabla 1, en la que se reúnen los puntos singulares de las curvas media vs tiempo y desvi.estan/media vs tiempo.

En la primera columna se dispondrán las estaciones según su categoría. En la segunda y tercera los valores máximos y mínimo de desv.estan/media y, por último, los valores máximos y mínimos de la media quedan en las cuarta y quinta columnas.

Estaciones	Desviación stan/media		Media	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Moratalaz (UT)	16 feb	15 jun	3 ene	5 jul
Plaza Castilla (UT)	24 ago	7 may	3 ene	30 jul
Plaza de España (UT)	12 jul	2 dic	1 dic	15 jun
Cuatro Caminos (UT)	16 feb	4 jun	2 dic	22 jul
Urb. Embajada (UF)	16 feb	21 jun	3 ene	5 jul
Méndez Álvaro (UF)	17 sep	30 nov	2 dic	26 jun
Sanchinarro (UF)	26 ene	27 jun	3 ene	22 jul
Plaza del Carmen (UF)	24 abr	28 jul	1 dic	12 jul
El Pardo (Sub)	11 feb	25 jul	3 dic	30 jul
Parque Juan Carlo (Sub)	13 mar	31 may	3 dic	12 jul

Tabla 1: Resumen de recogida de periodo del año donde la desviación/ media y media son máximos y mínimos en diferentes estaciones automáticas de medición.

En dicha tabla, en la columna del mínimo de desv.stand/media, se encuentran dos fechas que claramente están fuera del intervalo de las restantes, el 2 dic. para la Plaza de España y el 3 nov. Para Méndez Álvaro, precisamente las de las dos EM cuyo PLI era anómalo.

Debido a esta anomalía pasamos a utilizar el otro criterio, el mínimo de la media, que ya da mínimos el 15 jun y el 30 jun próximos a las demás Estaciones con los que construir los PLI. En la figura 8, se observa que se parecen a los de las demás Estaciones.

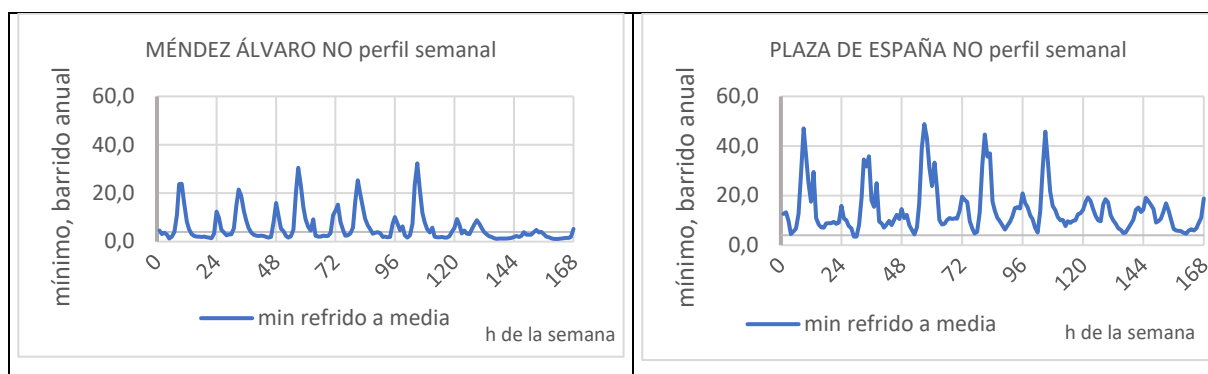


Figura 9: Perfil o patrón semanal de la concentración de los contaminantes NO en diferentes estaciones de medición automáticas

Así pues, resumiendo, en la Tabla 1 los puntos singulares y fechas en que aparecen son:

- El mínimo de la función desv.stand/media vs tiempo se encuentra para todas las Estaciones de medida en los meses de mayo/julio. Hay dos excepciones, las Estaciones de Plaz. de España y Méndez Álvaro.
- La función media vs tiempo tiene su mínimo en los meses de junio/julio, con el máximo concentrado en los primeros días de diciembre o enero.

5.4 CONTAMINACIÓN Y SALUD.

5.4.1 EVALUACIÓN A ESCALA TEMPORAL MACROSCÓPICA.

La mala calidad del aire afecta a la población en general, especialmente a grupos de riesgo como niños, mujeres embarazadas, enfermos y personas de edad avanzada que viven en ciudades contaminadas, reduciendo su esperanza de

vida, provocando alergias, enfermedades cardiovasculares y afecciones al aparato respiratorio.

Los distintos grupos de riesgo presentan diferentes grados de vulnerabilidad a la exposición. Los niños y los mayores de 65 años son mucho más vulnerables que otros grupos de edad. En Europa entre un 1,8% y un 6,4% de las muertes en niños de 0 a 4 años se deben a la contaminación atmosférica en ambiente exterior y un 3,6% a la contaminación atmosférica interior. Las personas que padecen algún tipo de enfermedad cardiovascular o respiratoria y las mujeres en periodo de gestación son más sensibles y vulnerables (Jiménez Herrero, L. 2011).

Las ciudades están estructuradas en diferentes espacios, ocupados con distinto grado de homogeneidad por grupos con distintos niveles de ingresos económicos o poder adquisitivo.

En el centro de las ciudades la densidad de población suele ser muy alta y se observan en ellas elevadas concentraciones de NO₂ asociadas al tráfico. En las urbanizaciones de la periferia de algunas ciudades suelen vivir grupos de mayor poder adquisitivo, estas zonas presentan menor contaminación.

La Contaminación atmosférica es responsable del 1,4% de las muertes mundiales (Informe Organización Mundial de la Salud, 2002). En Europa la mitad de dicho impacto podría ser causado por las emisiones de los vehículos a motor y en tan solo tres países europeos (Austria, Alemania y Francia) entre 19.000 y 44.000 personas fallecieron al año por causa de los efectos de la contaminación (Jiménez Herrero, L. 2011)

A pesar de la mejora en la calidad del aire, básicamente como consecuencia de las distintas regulaciones legislativas que se están adoptando, la contaminación atmosférica sigue representando un riesgo para la salud.



Figura 10: Evolución mensual del número de ingresos hospitalarios urgentes por enfermedades respiratorias y concentración media de dióxido de nitrógeno. Fuente: Ministerio de Sanidad

Para confirmar estos hechos, en la figura 10 (Ministerio de Sanidad, 2015), se observa que existe una clara relación entre los niveles de NO_2 y los ingresos hospitalarios en la ciudad de Madrid. Con el aumento de concentración de NO_2 se produce en paralelo un aumento de los ingresos hospitalarios debido a problemas respiratorios en la población. Los picos de ingresos por enfermedades respiratorias son en diciembre, enero y febrero de cada año.

5.4.2 UTILIDADES DEL PLI PARA REALIZAR EVALUACIONES A ESCALA TEMPORAL MICROSCÓPICA.

Los estudios a escala macroscópica y sus resultados como los de la Figura 9 pueden ser sorprendentes por el alto grado de correlación salud-contaminante; sin embargo, su eficacia es limitada porque lo verdaderamente necesario es disponer de herramientas que corrijan los efectos de inmediato.

El PLI que aquí se propone ofrece un estándar de la concentración de inmisión en un lugar concreto con resolución microscópica. Así pues, los posibles episodios se podrán comparar en tiempo real con el nivel dado por el PLI y desencadenar actuaciones públicas institucionales que corrijan su incidencia sobre la población.

6. CONCLUSIONES

Concluida las observaciones pertinentes y analizado los resultados obtenidos del dispuesto TFG, se procederá a reflejar las conclusiones siguientes:

- El Patrón local de inmisión, PLI, que representa el estado normalizado de concentración de un contaminante en un lugar concreto, se puede obtener a partir del mínimo de la función $I_{PLI} = f(\tau)$. Esta función se construye con todas las medidas del nivel de inmisión a lo largo del año ($8760 = 365$ días/año \times 24 h/día).

I_{PLI} es el índice, que se calcula a partir de la desviación estándar/media de los datos correspondientes y τ el tiempo a lo largo del año.

En la Figuras 3 se presenta un ejemplo.

- En cuanto a los patrones semanales, Figura 5, se aprecia que los días laborales son los de mayor concentración de contaminantes, mientras que los fines de semana las concentraciones son inferiores tanto para los compuestos NO como NO₂. En los apartados correspondientes se han expuesto las posibles causas.
- La oxidación $NO + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow NO_2$ se hace patente cuando los niveles de inmisión se expresan en moles, según se aprecia en la Figura 6.
- Se ha confirmado que cuando el PLI de una EM es notablemente diferente que los de las restantes estaciones es un indicio de que la toma de muestras se realizó con equipos que podían estar fuera de calibrado, o que existe alguna otra posible fuente de error.
- Disponer de datos de salud/niveles de contaminación en series anuales es interesante pero de utilidad limitada, puesto que lo verdaderamente importante a efectos de adopción de medidas es tener herramientas para corregir los efectos de los episodios en tiempo real. Esto se podría conseguir con la referencia de niveles que dan los Patrones locales de inmisión.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Adame, J.A., Sole, J.G., (2013). Surface Ozone Variations At A Rural Area In The Northeast Of The Iberian Peninsula. *Atmos. Pollut. Res.* 4, pp. 130–141.
2. Alejo, D., Morales, M. C., De la Torre, J. B., Grau, R., Bancs, L., Van Grieken, R. , Van Espen P., Sosa, D., Nuñez, V. (2013). Seasonal Trends Of Atmospheric Nitrogen Dioxide And Sulfur Dioxide Over North Santa Clara, Cuba. In *Environmental Monitoring And Assessment*. ISSN 0167-6369, 2013, vol. 185, pp. 6023-6033.
3. Alier, M., Felipe-Sotelo, M., Hernández, I., Tauler, R., (2009). Variation Patterns Of Nitric Oxide In Catalonia During The Period From 2001 To 2006 Using Multivariate Data Analysis Methods. *Anal. Chim. Acta* 642, ,pp 77–88.
4. Área de Gobierno de Medio Ambiente, Seguridad y Movilidad Ayuntamiento de Madrid (2011). *Plan De Calidad Del Aire De La Ciudad De Madrid 2011 – 2015*. Madrid (Madrid), pp.26-38.
5. Augustin, P., Delbarre, H., Lohou, F., Campistron, B., Puygrenier, V., Cachier, H., Lombardo, T., (2006). Investigation Of Local Meteorological Events And Their Relationship With Ozone And Aerosols During An Escompte Photochemical Episode. *Ann. Geophys.* 24,2809–2822.
6. Bell, S., Ashenden, T. W. (1997). Spatial And Temporal Variation In Nitrogen Dioxide Pollution Adjacent To Rural Roads. In *Water, Air, And Soil Pollution*. ISSN 1573-2932, 1997, vol. 95, pp. 87-98.
7. Ballester, F. (2005). Contaminación Atmosférica, Cambio Climático Y Salud. *Esp Salud Pública*, (Vol. 79, N.º 2), pp.160-165,171.
8. Casquero Vera, J. (2016). Diagnóstico de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Granada. Granada (España), pp.19-21.
9. Datos.madrid.es. (2018). *Calidad del aire. Datos diarios años 2001 a 2018 - Portal de datos abiertos del Ayuntamiento de Madrid*. [online] Available at: <https://datos.madrid.es/portal/site/egob/menuitem.c05c1f754a33a9f8e4b2e4b284f1a5a0/?vgnnextoid=aecb88a7e2b73410VgnVCM2000000c205a0aRCRD&vgnnextchannel=374512b9ace9f310VgnVCM100000171f5a0aRCRD> [Accessed 17 Mar. 2018].
10. Galán Madruga, D. and Fernández Patier, R. (2006). Implicación De Los Nox En La Química Atmosférica. *Revista electrónica de Medio Ambiente UCM*, pp.90 a 99.
11. Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad. (2017). *Plan A: Plan De Calidad Del Aire Y Cambio Climático De La Ciudad De Madrid*. Madrid (España), pp.36-37.
12. Ine.es. (2018). *Instituto Nacional de Estadística. (Spanish Statistical Office)*. [online] Available at: <http://www.ine.es/> [Accessed 3 Mar. 2018].
13. Itano, Y., Bandow, H., Takenaka, N., Saitoh, Y., Asayama, A., Fukuyama, J.,(2007). Impact Of Nox Reduction On Long-Term Ozone Trends In An Urban Atmosphere. *SCI. Total Environ.* 379, 46–55.

14. Jiménez Herrero, L. (2011). *Calidad Del Aire En Las Ciudades: Clave De Sostenibilidad Urbana*. Alcalá de Henares (Madrid): MUNDI-PRENSA LIBROS, S.A., pp.17-29, 36-39.
15. Kalbarczyk, E. and Kalbarczyk, R. (2016). Variability And Time Course Of Nitrogen Oxides Concentration In Poznan (Middle-Western Poland) And Their Dependence On Wind Direction. Poznan (Poland), pp.211-212.
16. Karl, T. and Wohlfahrt, G. (2017). *Urban Eddy Covariance Measurements Reveal Significant Missing Nox Emissions In Central Europe*. *Scientific Reports*, pp.1-7.
17. Lebet et al. 2000. Lebet, E., Briggs, D., Van Reeuwijk H., Fischer P., Smallbone K., Harssema H., Kriz B., Gorynski P. & Elliot P.. (2000). "Small Area Variations In Ambient No2 Concentrations In Four European Areas". *Atmospheric Environment*, 34, pp. 177-185.
18. Malik, A. and Tauler, R. (2015). Exploring The Interaction Between O3 And Nox Pollution Patterns In The Atmosphere Of Barcelona, Spain Using The Mcr–Als Method. Barcelona, Catalunya, Spain: P. Kassomenos, pp.151-152.
19. Mavroidis, I., Iliá, M. (2012). Trends Of Nox, No2 And O3 Concentrations At Three Different Types Of Air Quality Monitoring Stations In Athens, Greece. In *Atmospheric Environment*. ISSN 1352-2310, 2012, vol. 63, pp. 135-147.
20. Naja, M., Chand, D., Sahu, L., Lal, S., (2004). Trace Gases Over Marine Regions Around India. *Indian J. Mar. Sci.* 33, 95–106.
21. Organización Mundial De La Salud (2002). *Reducir los riesgos y promover una vida sana*. Informe Sobre La Salud En El Mundo. Ginebra, Suiza, pp.73-74.
22. Papaioannou, A. B., Viras, L. G., Nastos, P. T., Paliatsos, A. G. (2010). Temporal Evolution Of Sulfur Dioxide And Nitrogen Oxides In The City Of Volos, Greece. In *Environmental Monitoring And Assessment*. ISSN 1420- 2026, 2010, vol. 161, pp. 485-494.
23. Saiz-Lopez, A. and Borge, R. (2017). Unexpected Increase In The Oxidation Capacity Of The Urban Atmosphere Of Madrid, Spain. *Scientific Reports*, pp 1-7.

ANEXOS

ÍNDICE

ANEXO.....	31
ANEXO I	31
ANEXO II	35
ANEXO III	37

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

ANEXO I	31
Figura 1. Representación gráfica del patrón o perfil semanal NO, estaciones Urbana tráfico.....	31
Figura 2. Representación gráfica del patrón o perfil semanal NO, estaciones urbana fondo	32
Figura 3. Representación gráfica del patrón o perfil semanal NO, estación Suburbana.....	33
ANEXO II	35
Tabla 1: Tabla representativa de los contaminantes captados por las estaciones de medición automáticas en la ciudad de Madrid., Fuente: Ayuntamiento de Madrid	35
Figura 1: Hoja Excel con la traducción del código de datos de las estaciones automáticas de medición contaminantes	35
Figura 2: Hoja Excel con la distribución de datos de las estaciones ordenados	36
Figura 3: Hoja Excel con la representación de valor de la desviación stan/media y la media.....	36
ANEXO III	37
Figura 1: Datos de los niveles de concentración media anuales de NO2 en Madrid. Fuente: Datos.madrid.es. (2018).....	37

ANEXO

ANEXO I

1. Estaciones de medición de contaminación con sus correspondientes perfiles o patrones semanales.

Figura 1. Representación gráfica del patrón o perfil semanal NO, estaciones Urbana tráfico

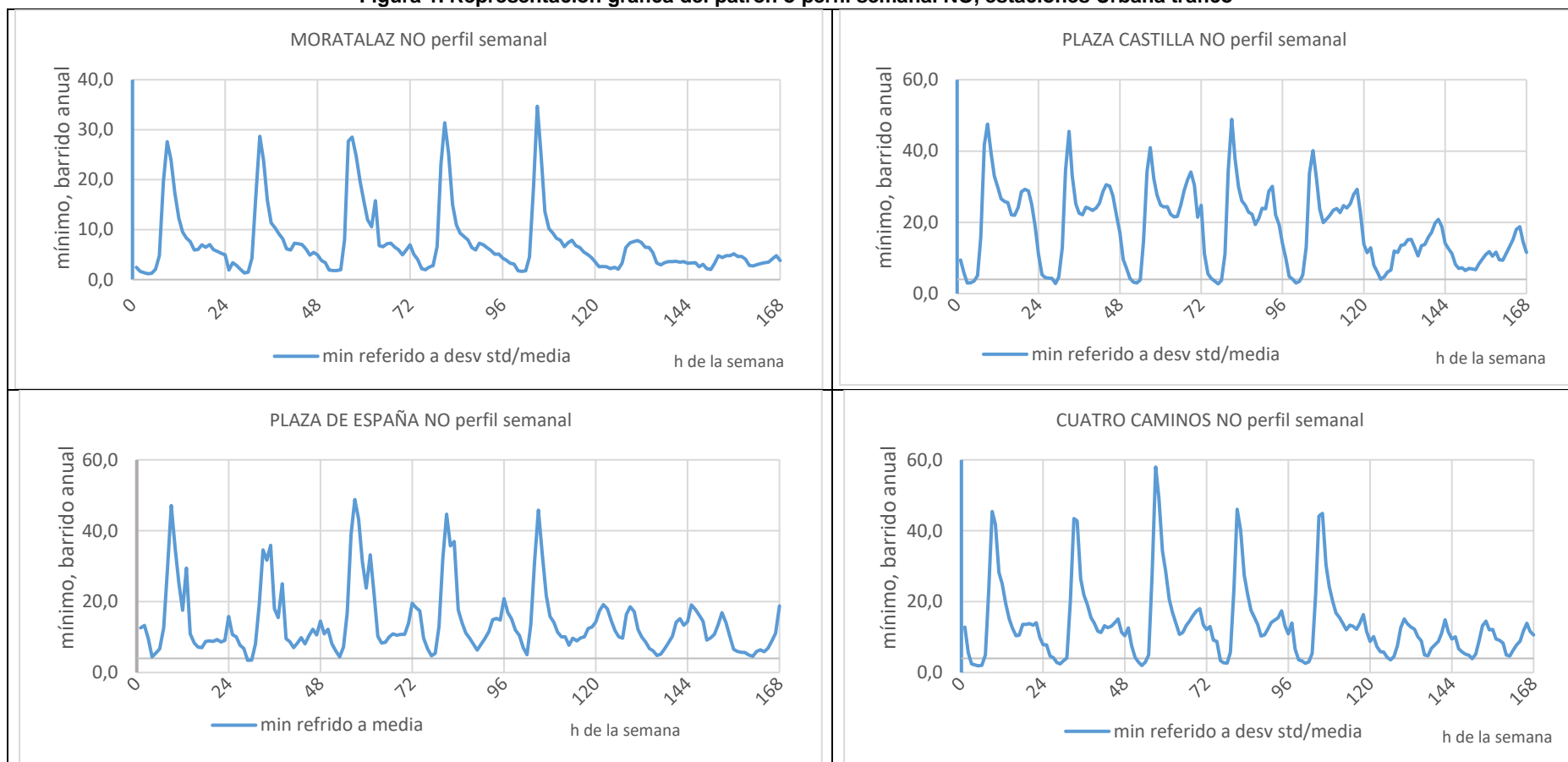


Figura 2. Representación gráfica del patrón o perfil semanal NO, estaciones urbana fondo

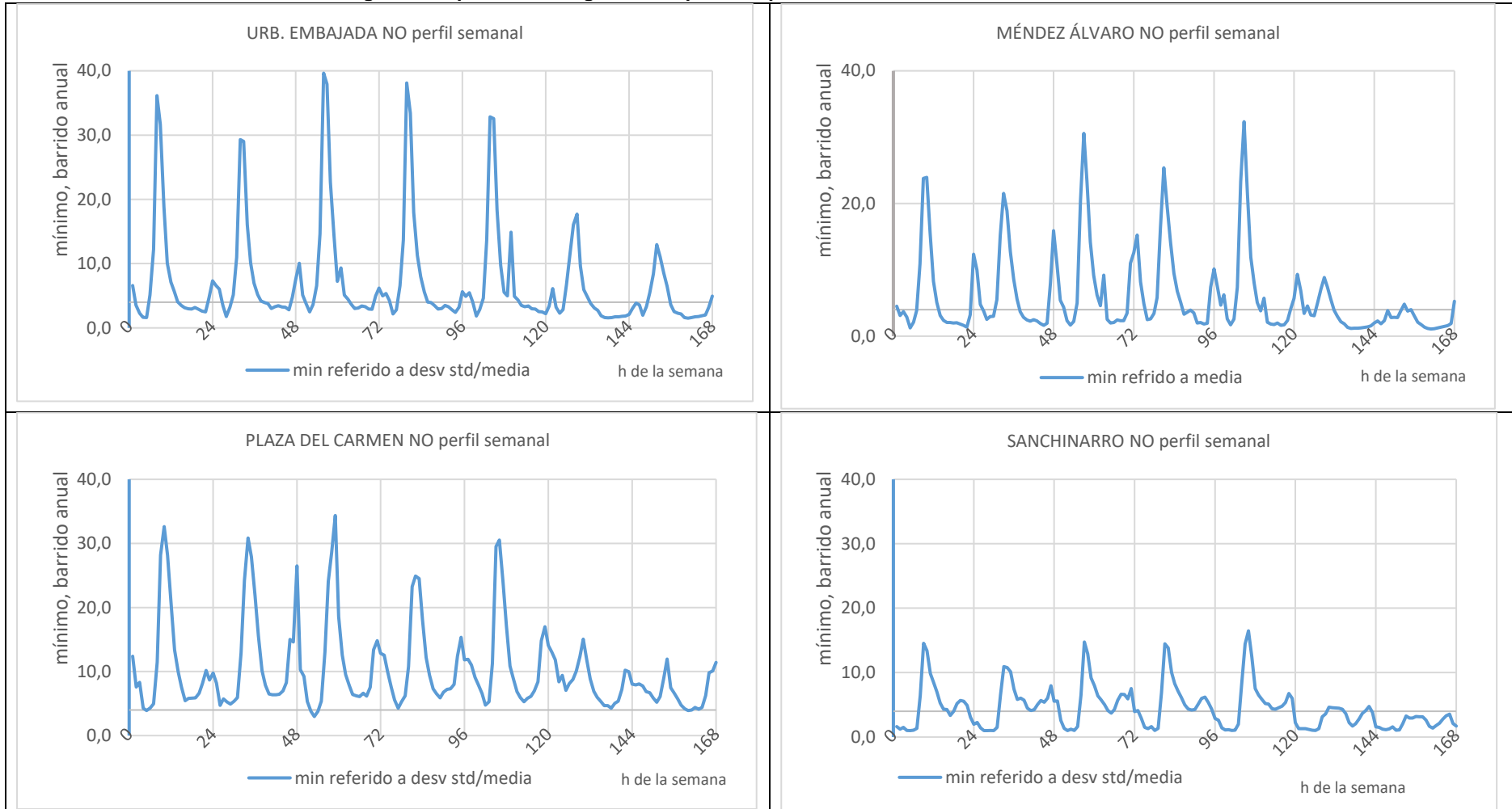
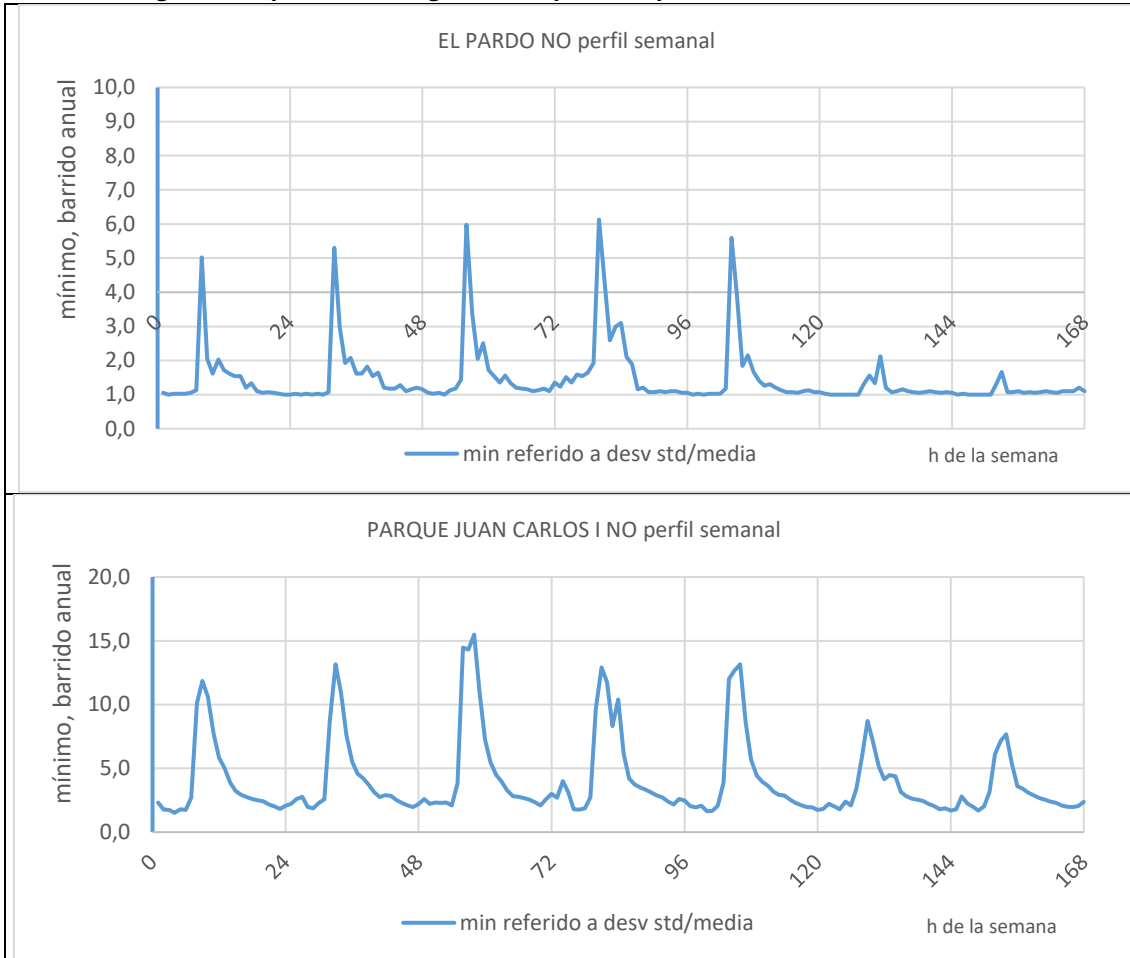


Figura 3. Representación gráfica del patrón o perfil semanal NO, estación Suburbana



Estaciones urbanas tráfico

El nivel de inmisión en las estaciones de tipo UT no sobrepasan los $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Figura 1. Por otro lado, se aprecia que hay una tendencia clara, a que los picos más altos se den a primeras horas de la mañana, sobre las 9 am y posteriormente se produzca otro repunte aunque algo menor por la tarde-noche. Este comportamiento se podría explicar por la mayor circulación de tráfico rodado en dichas horas coincidiendo con la entrada y salida de la población a sus lugares de trabajo. Por otra parte, durante los fines de semana los picos de concentración son inferiores a los de los días laborales, no superando en ningún caso los $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La estación que registra los valores más bajos es la de Moratalaz con un valor máximo de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mientras que la media de las demás estaciones se encuentra en torno a los $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este hecho se podría deber a la localización de dicha estación, que se encuentra bastante distante del núcleo

urbano en comparación con las otras EM que prácticamente están en el centro urbano de Madrid.

Estaciones urbanas de fondo

En cuanto a las estaciones de la figura 2, de tipo urbana fondo, los valores de concentración no sobre pasan en ningún caso los $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se observa una tendencia bien definida, similar a las UT, con picos bastantes pronunciados los días laborales y más reducidos los fines de semana. Este comportamiento también es similar al caso anterior, los máximos a primera hora de la mañana y pequeño repunte por la tarde-noche. En cuanto a los fines de semana los valores no superan en ningún caso los $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La estación que menos concentración presenta de las 4 es la de Sanchinarro con niveles que no superan los $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La situación de estas EM en la periferia de la ciudad explicaría que los niveles de concentración son inferiores que los de las de tipo urbano tráfico.

Estaciones Suburbana.

En relación a las estaciones de la figura 3, de tipo suburbano, presentan unos valores de concentración que no superan los $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, muy inferiores en comparación con las estaciones UT y UF. Son estaciones situadas a las afueras de la ciudad y dispuestas en espacios calificados como zonas verdes. La concentración máxima que se registra se aprecia a primera hora de la mañana coincidiendo con el comportamiento de las estaciones de otro los otros dos tipos. Los fines de semana muestran esa tendencia ya mencionada con antelación, picos de concentración inferiores a los de días laborales, que en ningún caso superan valores de $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

ANEXO II

1. Tabla resumen de los contaminantes captados las estaciones de medición automática en los distritos de la ciudad de Madrid.

Magnitud	Abreviatura o fórmula	Unidad medida	Técnica de medida
01	Dióxido de Azufre	SO ₂	µg/m ³
06	Monóxido de Carbono	CO	mg/m ³
07	Monóxido de Nitrógeno	NO	µg/m ³
08	Dióxido de Nitrógeno	NO ₂	µg/m ³
09	Partículas < 2.5 µm	PM2.5	µg/m ³
10	Partículas < 10 µm	PM10	µg/m ³
12	Óxidos de Nitrógeno	NOx	µg/m ³
14	Ozono	O ₃	µg/m ³
20	Tolueno	TOL	µg/m ³
30	Benceno	BEN	µg/m ³
35	Etilbenceno	EBE	µg/m ³
37	Metaxileno	MXY	µg/m ³
38	Paraxileno	PXY	µg/m ³
39	Ortoxileno	OXY	µg/m ³
42	Hidrocarburos totales (hexano)	TCH	mg/m ³
43	Metano	CH ₄	mg/m ³
44	Hidrocarburos no metánicos (hexano)	NMHC	mg/m ³

Tabla 1: Tabla representativa de los contaminantes captados por las estaciones de medición automática en la ciudad de Madrid., Fuente: Ayuntamiento de Madrid

2. Representación de la distribución de los datos manejados en el programa Excel.

The image shows a screenshot of an Excel spreadsheet with a grid of data. The columns are labeled A through I. The data is organized in a structured manner, likely representing station identifiers and their corresponding measurement parameters. The grid contains a large number of rows and columns of alphanumeric codes.

Figura 1: Hoja Excel con la traducción del código de datos de las estaciones automáticas de medición contaminantes

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA COMUNIDAD DE MADRID:
elaboración y propiedades del Patrón de inmisión de NO

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	El Pardo		El Pardo		El Pardo		El Pardo			
3	día	hora	NO		NO ₂		O ₃			
4	01/01/2013	1:00	1,00		15,00		88,00			
5	01/01/2013	2:00	1,00		9,00		84,00			
6	01/01/2013	3:00	1,00		8,00		66,00			
7	01/01/2013	4:00	1,00		12,00		60,00			
8	01/01/2013	5:00	1,00		7,00		57,00			
9	01/01/2013	6:00	1,00		6,00		65,00			
10	01/01/2013	7:00	1,00		21,00		45,00			
11	01/01/2013	8:00	1,00		31,00		34,00			
12	01/01/2013	9:00	1,00		35,00		38,00			
13	01/01/2013	10:00	1,00		9,00		95,00			
14	01/01/2013	11:00	1,00		3,00		111,00			
15	01/01/2013	12:00	1,00		3,00		113,00			
16	01/01/2013	13:00	1,00		2,00		113,00			
17	01/01/2013	14:00	1,00		1,00		109,00			
18	01/01/2013	15:00	1,00		1,00		111,00			
19	01/01/2013	16:00	1,00		2,00		111,00			
20	01/01/2013	17:00	1,00		1,00		112,00			
21	01/01/2013	18:00	1,00		1,00		116,00			
22	01/01/2013	19:00	1,00		1,00		120,00			
23	01/01/2013	20:00	1,00		1,00		119,00			
24	01/01/2013	21:00	1,00		2,00		115,00			
25	01/01/2013	22:00	1,00		4,00		110,00			
26	01/01/2013	23:00	1,00		4,00		104,00			
27	01/01/2013	24:00	1,00		4,00		107,00			
28	02/01/2013	1:00	1,00		4,00		121,00			
29	02/01/2013	2:00	1,00		2,00		113,00			
30	02/01/2013	3:00	1,00		1,00		100,00			
31	02/01/2013	4:00	1,00		1,00		93,00			
32	02/01/2013	5:00	1,00		2,00		86,00			
33	02/01/2013	6:00	1,00		2,00		80,00			
34	02/01/2013	7:00	1,00		7,00		68,00			
35	02/01/2013	8:00	1,00		12,00		54,00			
36	02/01/2013	9:00	1,00		11,00		53,00			
37	02/01/2013	10:00	1,00		7,00		71,00			
<p>extrae números 08 08 fin 18 18 fin 24 24 fin 39 39 fin 40 40 fin</p>										

Figura 2: Hoja Excel con la distribución de datos de las estaciones ordenados

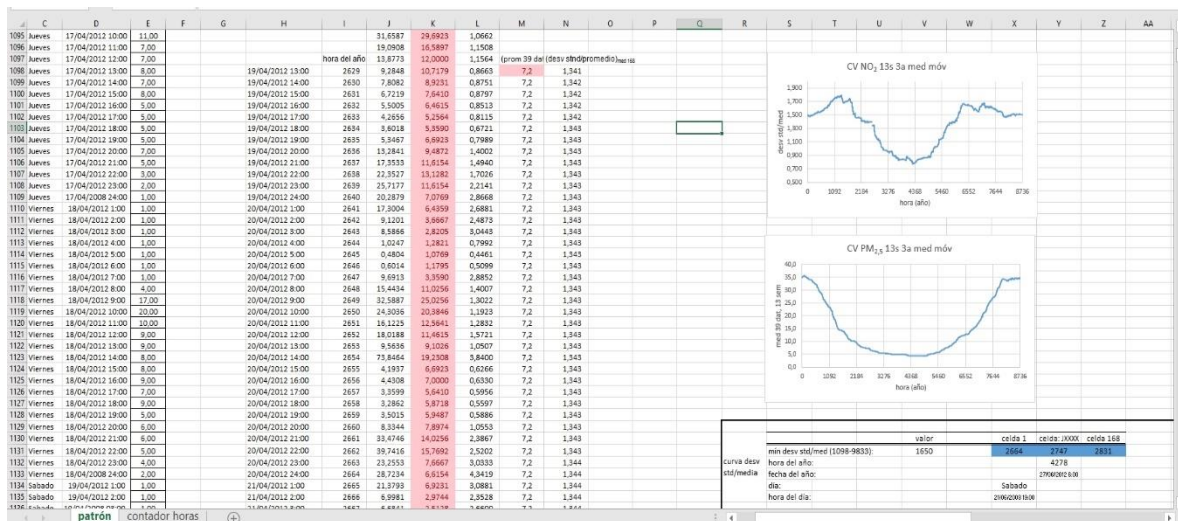


Figura 3: Hoja Excel con la representación de valor de la desviación stan/media y la media.

ANEXO III

1. Niveles de concentración anual de Dióxido de Nitrógeno para la ciudad de Madrid, periodo 2006 a 2016

Los niveles de concentración media anuales de NO₂ se encuentran muy por encima del valor límite de 40 µg/m³ para el periodo 2012/2015.

En la Figura 8 se resume el nivel del contaminante en cuestión al que ha estado sometida la ciudad de Madrid durante la pasada década.

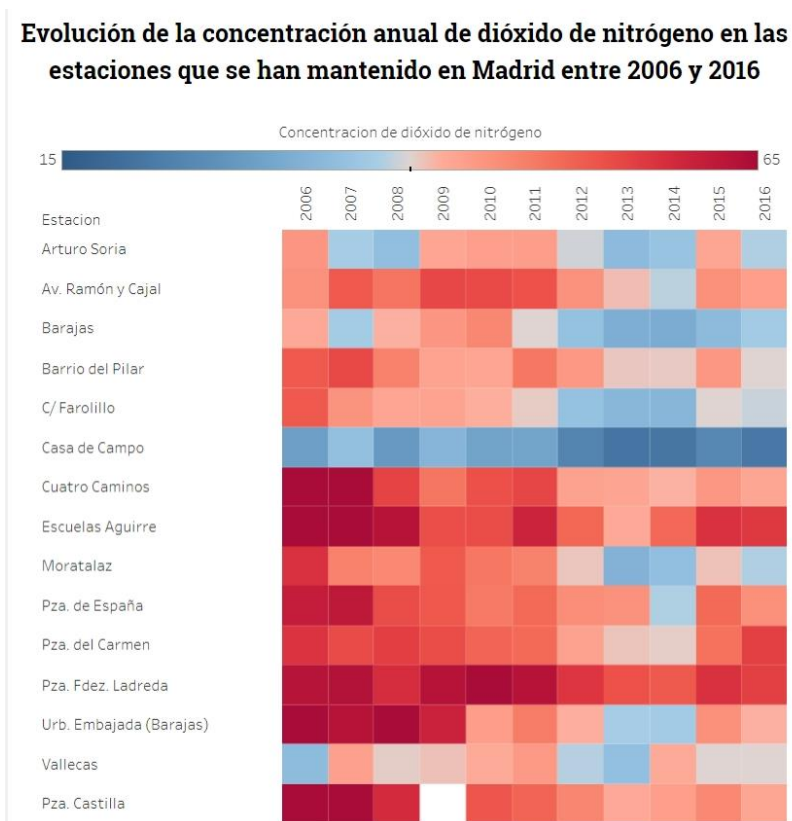


Figura 1: Datos de los niveles de concentración media anuales de NO₂ en Madrid. Fuente: Datos.madrid.es. (2018)