

Madrid 2021

PROGRAMA
DESARROLLO CON PYTHON Y ANÁLISIS DE DATOS

**EFFECTOS DEL CONFINAMIENTO
EN LA CALIDAD DEL AIRE DE
MADRID**

Antonio Gil Ortega
Pedro Jiménez Pedrero
Inmaculada Arques Porcel
Jesús Salek Abdalá Ruiz



**DIGITAL
EXPERIENCE
SCHOOL**

1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	OBJETIVOS	4
3.	DATOS Y CIFRAS	4
	<i>PARTÍCULAS</i>	
	<i>OZONO (O3)</i>	
	<i>DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO2)</i>	
	<i>DIÓXIDO DE AZUFRE (SO2)</i>	
	<i>MONÓXIDO DE CARBONO (CO)</i>	
4.	METODOLOGÍA	7
	<i>EMISIONES</i>	
	<i>AFOROS DE TRÁFICO</i>	
	<i>ACCIDENTES DE TRÁFICO</i>	
	<i>TRÁFICO AÉREO</i>	
	<i>TELETRABAJO</i>	
5.	EVOLUCIÓN SOBRE EMISIONES	9
	<i>5.1.EMISIONES DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO</i>	
	<i>5.2.EMISIONES DE PARTÍCULAS PM10</i>	
	<i>5.3.EMISIONES DE PARTÍCULAS PM2.5</i>	
6.	EVOLUCIÓN DEL TRÁFICO	16
	<i>6.1.AFOROS DE TRÁFICO</i>	
	<i>6.2.ACCIDENTES DE TRÁFICO</i>	
	<i>6.3.TRÁFICO AÉREO</i>	
7.	TELETRABAJO	22
8.	SANCIONES ECONÓMICAS	23
9.	ARQUITECTURA	23
10.	CONCLUSIONES	24
11.	FUENTES DE DATOS	26

1. INTRODUCCIÓN

La Covid-19 es una enfermedad infecciosa causada por el coronavirus SARS-Cov-2, iniciada en Wuhan, China, a finales de 2019, convirtiéndose en una pandemia mundial.

En España, el aumento significativo de casos, llevó a declarar el estado de alarma el 14 de marzo. Entre las medidas adoptadas, se incluyó la limitación de circulación de las personas, se fomentó el teletrabajo, además de otras formas de contención en el ámbito educativo y comercial.

Debido al empeoramiento de la situación, entre el 28 de marzo y el 9 de abril se paralizó toda actividad no esencial, por lo que numerosas empresas e industrias dejaron de funcionar.

El estado de alarma fue prorrogado hasta el 21 de junio, donde se trasladó el control de la desescalada a las Comunidades Autónomas.

La adopción de estas medidas ha tenido un impacto directo sobre la calidad del aire. Los componentes que se analizan para evaluar la calidad del aire en España son:

- CO (Monóxido de Carbono)
- NO₂(dióxido de nitrógeno)
- O₃ (Ozono)
- Partículas en suspensión inferiores a 10µm (PM10)
- Partículas en suspensión inferiores a 2.5µm (PM2.5)
- SO₂ (Dióxido de Azufre)

En nuestro caso, nos centraremos en el NO₂ y las partículas PM10 y PM25 tanto durante el período de confinamiento, como en el año anterior y posterior.

La Covid-19 ha supuesto una crisis a nivel mundial, pero intentemos darle la vuelta y verlo como una oportunidad para mejorar nuestro planeta.

2. OBJETIVOS

- Comparativa de los principales elementos contaminantes durante el confinamiento y su posterior evolución
- Ver cómo ha influido el confinamiento en la calidad del aire en Madrid
- Observar los principales factores que han influido en la mejora de la calidad del aire, como es la reducción de la movilidad terrestre y aérea, o el fomento de medidas como el teletrabajo
- Comparativa de los principales factores contaminantes con el límite máximo recomendado de la OMS
- Comprobar la situación actual de estos factores contaminantes
- Ver cómo medidas como el teletrabajo, ayudan a mejorar la calidad del aire

3. DATOS Y CIFRAS

La contaminación del aire, supone un importante riesgo medioambiental que afecta directamente a nuestra salud.

Se estima, que esta contaminación fue la causa de 4,2 millones de muertes prematuras por año en todo el mundo.

Reduciendo los niveles de contaminación del aire se podrían reducir la mortalidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, como el asma.

PARTÍCULAS

Es el contaminante que más afecta a las personas. Son una mezcla de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire.

No se ha podido identificar ningún umbral por debajo del cual no se hayan observado daños para la salud.

Las partículas PM10, son partículas con un diámetro de 10 micrones o menos. Pueden penetrar y alojarse en los pulmones.

Las partículas PM2.5, son aquellas con un diámetro de 2,5 micrones o menos. Pueden atravesar la barrera pulmonar y llegar al sistema sanguíneo

	sept-21
PM 2.5	5 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ de media anual
	15 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ de media en 24 horas
PM 10	15 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ de media anual
	45 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ de media en 24 horas

OZONO (O3)

El ozono a nivel del suelo no debe confundirse con la capa de ozono. Se trata de uno de los principales compuestos de la niebla tóxica.

Se relaciona con problemas respiratorios y pulmonares.

	sept-21
O3	60 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ de media en 8h

DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO2)

Su principal fuente de emisión es la calefacción, así como los motores de vehículos y barcos.

Según estudios, se asocia con bronquitis en niños y la disminución de la función pulmonar observada en ciudades norteamericanas y europeas.

	sept-21
NO2	10 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ de media anual
	25 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ de media en 24 horas

DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂)

Su principal fuente de emisión es la combustión de fósiles con azufre, usados para calefacción generación de electricidad y vehículos a motor.

El SO₂ puede afectar a las funciones pulmonares, al sistema respiratorio y, causar irritación ocular.

Según la OMS, los ingresos hospitalarios por cardiopatías y la mortalidad aumentan en los días en que los niveles de SO₂ son más altos.

Además, cuando se combina con agua, se convierte en ácido sulfúrico, que es el principal componente de la lluvia ácida

	sept-21
SO ₂	40 µm/m ³ de media 24h

MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

Su principal fuente de emisión es el transporte por carretera. Se emite como consecuencia de la combustión incompleta de carburantes fósiles y biocombustibles.

El CO afecta a la capacidad de transporte de oxígeno a la sangre, así como disfunciones cardiacas, daños en el sistema nervioso, dolor de cabeza, mareos y fatiga. Estos efectos pueden producirse también sobre la fauna silvestre.

También tiene consecuencias sobre el clima, ya que contribuye a la formación de gases de efecto invernadero.

	sept-21
CO	10 mg/m ³ máximo diario en 8h

4. METODOLOGÍA

Nuestro objetivo es determinar cómo ha impactado el periodo de confinamiento, provocado por el COVID-19 en la calidad del aire.

Al ser un problema tan amplio, decidimos acotarlo a la ciudad de Madrid como caso de estudio, por tamaño, por población y por representatividad.

Los enfoques que hemos seguido han sido los siguientes:

EMISIONES

Para analizar las variables relativas a la calidad de aire, en nuestro caso, NO₂, PM₁₀ y PM_{2,5} (por ser las más representativas) tomamos los datos del portal de transparencia del Ayuntamiento de Madrid.

Decidimos estudiar la estación 8 (Escuelas Aguirre) como centro de nuestro estudio, ya que es la más cercana a las oficinas de AtSistemas de la calle Acanto, y ofrece mediciones de todas las variables. De modo, que podemos ofrecer una mayor homogeneidad de los datos. Los datos vienen dados en dos columnas, la primera nos indica el dato a tratar y en la segunda, nos dice si el valor ha sido validado o no. Teniendo en cuenta que solamente los valores validados son válidos, lo que hacemos es sustituir los valores no válidos por la media de todos los valores válidos, de modo que dichos valores no distorsionen la media diaria.

Tomamos los valores horarios y calculamos la media diaria y mensual para poder hacer las representaciones gráficas y las comparaciones, así como también los valores máximos.

AFOROS DE TRÁFICO

Son los datos con el número de vehículos que pasan por las estaciones permanentes de medición de tráfico. Para nuestro estudio, vamos a estudiar los valores de la estación 47 (Calle Alcalá), por ser la más cercana a la estación de medición de emisiones, y poder ofrecer así un mejor estudio de correlación de los datos.

Dicha base de datos ofrece datos horarios, que hemos convertido en valores medios, máximos y totales, tanto diarios como mensuales.

ACCIDENTES DE TRÁFICO

Registrados en la ciudad de Madrid por la policía municipal.

Agrupamos por días y meses para calcular el número total de accidentes ocurridos en la capital .

TRÁFICO AÉREO

Consultamos la web de datos abiertos de AENA para obtener los datos del número de vuelos y pasajeros en nuestro período de estudio.

Filtramos solo para estudiar los datos relativos al aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas. Calculamos el número total de vuelos, en este caso, anual ya que son los únicos datos que nos ofrecen. Calculamos a su vez el porcentaje de descenso de un año sobre el otro.

TELETRABAJO

A través de la página web del INE (Instituto Nacional de Estadística) obtenemos los datos de los trabajadores que trabajaron, tanto ocasionalmente, como más de la mitad de los días de la semana desde su domicilio.

En este caso, los datos que ofrecen son anuales, no permitiendo realizar una comparación homogénea con el resto de variables.

5. EVOLUCIÓN SOBRE EMISIONES

5.1. EMISIONES DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO

El dióxido de nitrógeno (NO₂), es un gas cuyo origen principal se encuentra en los procesos de combustión a altas temperaturas generadas en motores de combustión interna. Es por ello que el tráfico (especialmente de motores diésel) tiene una relación directa.

Sus efectos sobre la salud son muy diversos. Además de afectar a la función pulmonar, también se ha relacionado con partos prematuros, con alteraciones en el desarrollo cognitivo y con el aumento de riesgo de mortalidad por causas cardiovasculares y respiratorias.

Según el informe anual de calidad de aire europeo de 2018, publicado por la Agencia Europea de Medioambiente, en España 6.800 muertes prematuras son atribuibles al NO₂.

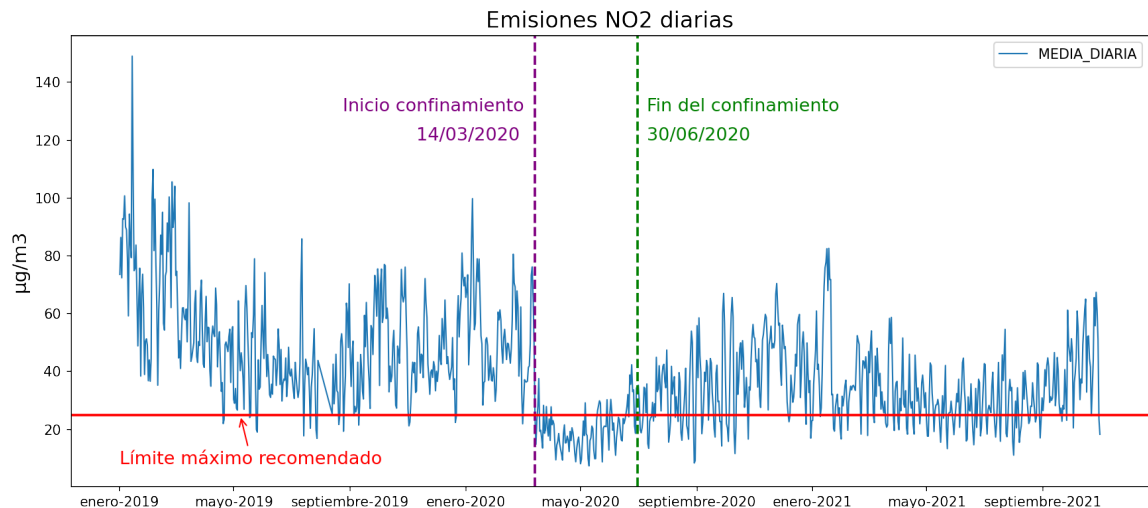
Según estudio publicado por *The Lancet Planetary Health* en 2021, Madrid se sitúa a la cabeza en emisiones de NO₂ entre 858 ciudades europeas.

MUERTES EVITABLES EN MADRID POR NO₂

CUMPLIENDO CON LAS NUEVAS RECOMENDACIONES DE LA OMS (2021)	1.966
CUMPLIENDO CON LAS RECOMENDACIONES ANTERIORES DE LA OMS (2005)	206
IGUALANDO LOS NIVELES MÁS BAJOS DE CONTAMINACIÓN DE LAS CIUDADES ESTUDIADAS	2.380

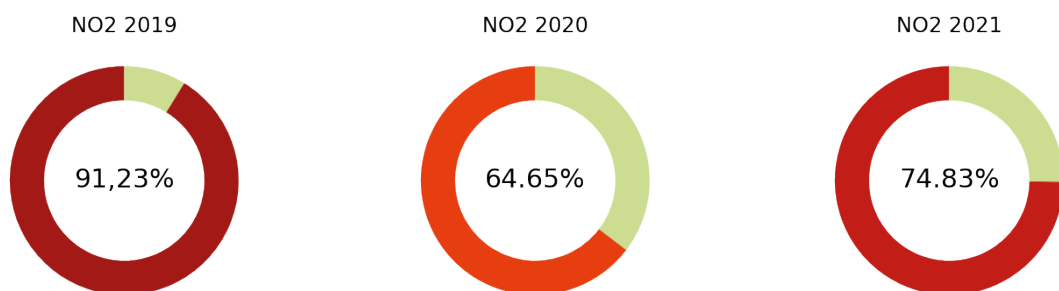
Con respecto a las emisiones durante el periodo de estudio, como podemos ver en el gráfico, se observa un claro descenso de las emisiones coincidiendo con el periodo de confinamiento. Pasando de valores en torno a 90 µg/m³ a valores cercanos a 20 µg/m³.

Es importante tener en cuenta que, en este caso, el límite recomendado por la OMS es de 25 µg/m³ de media diaria, muy por debajo de las emisiones actuales.



Del análisis de los datos podemos obtener los días al año que se han superado los límites establecidos por la OMS, lo que nos hace ver la gravedad del problema al que nos enfrentamos. Debemos tener en cuenta, que el porcentaje calculado en 2021 se refiere al período enero-octubre, ya que de los meses de noviembre y diciembre no tenemos datos. Se observa un descenso significativo durante el año 2020, provocado por la reducción de las emisiones durante el periodo de confinamiento. Si bien es cierto que durante 2021 el porcentaje ha aumentado, aún no hemos llegado a los límites pre pandemia.

PORCENTAJE DÍAS SUPERANDO EL LÍMITE DE LA OMS



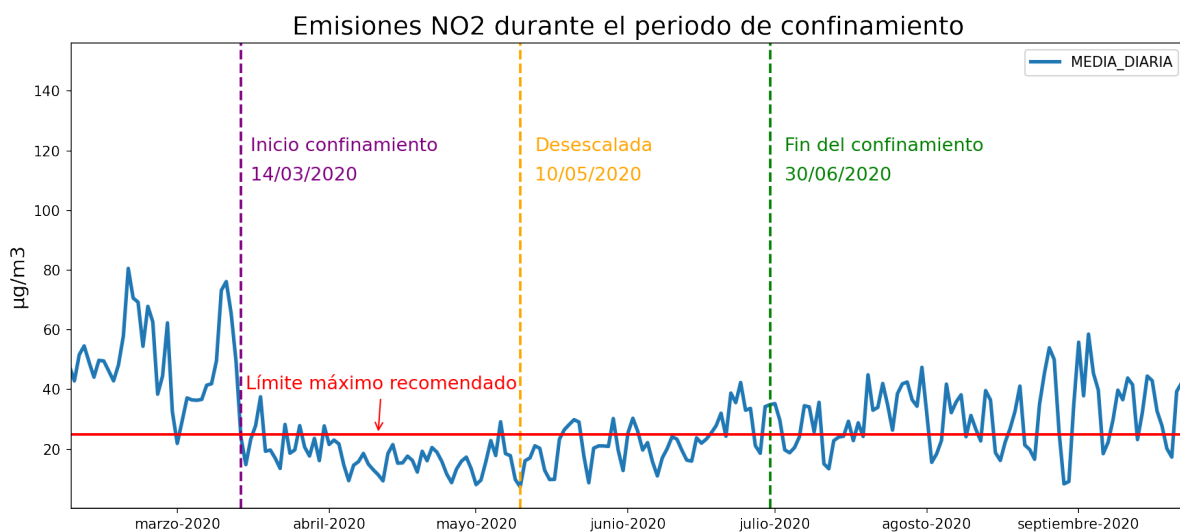
Podemos observar también cómo, de forma recurrente, los niveles de NO₂ aumentan durante los meses de invierno. Esto es debido a un fenómeno conocido como dinámica atmosférica. El aire frío pesa más que el caliente por lo que, en condiciones normales, este último asciende de manera natural y se mezcla en las capas más altas de la atmósfera. Normalmente, el aire más cercano al suelo está más caliente que el que tiene por encima (a mayor altitud, menor temperatura). Pero durante el invierno, en ciudades con un clima

estable se produce un fenómeno denominado inversión térmica. Es decir, que se altera el orden de las capas de aire.

Este fenómeno suele ocurrir las noches de invierno, con cielos despejados, con viento débiles y sobre suelo continental. En estas circunstancias, cuando la temperatura baja, el suelo se enfría rápidamente y provoca también una bajada drástica de temperatura en el aire de las capas más bajas (el que respiramos y el que presenta una mayor concentración de contaminantes que salen del tubo de escape de los vehículos).

Ese enfriamiento del aire más cercano al suelo altera la dinámica atmosférica. Como las capas de aire que tiene encima están más calientes, la masa de aire contaminado queda atrapado a escasos metros del suelo. Así se produce la denominada boina de polución de Madrid. Una dinámica que solo se rompe con lluvias vientos fuertes o una disminución de las principales fuentes de emisión de contaminantes.

Si hacemos un zoom sobre el periodo de confinamiento, vemos cómo los valores se encuentra en torno al límite establecido. Aunque, incluso en este caso, hay días que siguen superando el límite.



También se observa un ligero incremento de las emisiones coincidiendo con el periodo de desescalada.

5.2. EMISIONES DE PARTÍCULAS PM10

Las partículas PM10, son partículas con un diámetro de 10 micrones o menos. Pueden penetrar y alojarse en los pulmones.

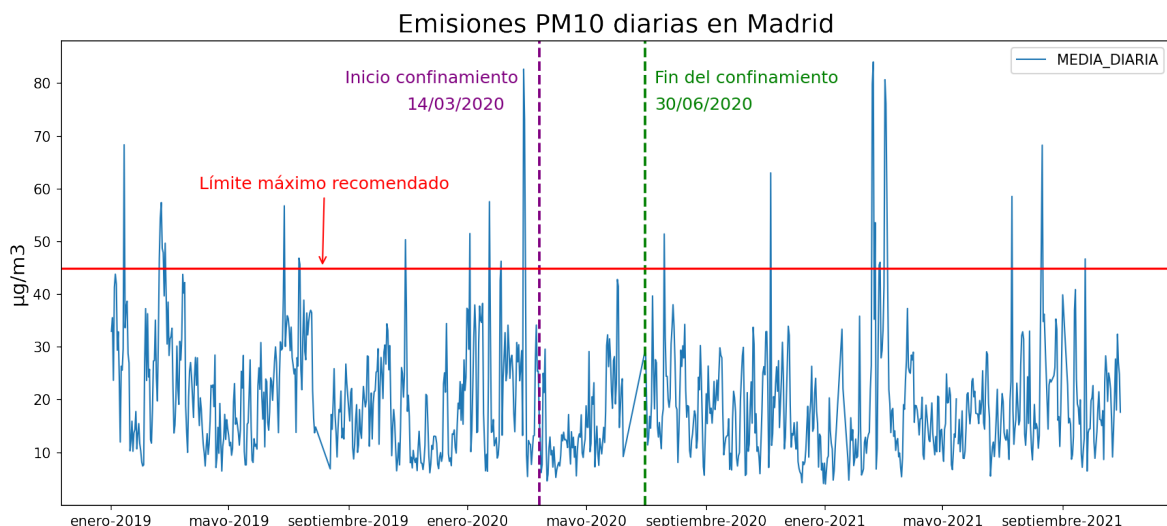
El origen de estas partículas puede ser:

- Primario. Cuando las partículas son emitidas de forma directa a la atmósfera. En ambientes urbanos, se asocia con la circulación de vehículos y el tráfico rodado (incluyendo tanto las emisiones del motor, como el desgaste de los frenos y neumáticos). Además, también está relacionado con la quema de biomasa para la calefacción de viviendas, fuentes industriales y la construcción.
- Secundario. Cuando se producen en la atmósfera como resultado de reacciones químicas a partir de otros gases (SO₂, NO_x y NH₃).

Su impacto en la salud es similar al NO₂, aunque en este caso también está relacionado con el Alzheimer.

Según el informe de la AEMA, 23.000 muertes prematuras serías atribuibles al PM10 y PM25.

En el gráfico se observa un decremento significativo en el comienzo del confinamiento, aunque en este caso, el descenso no es tan prolongado como en el caso del NO₂. Y empezamos a ver un incremento de las emisiones al comenzar las fases de desescalada.

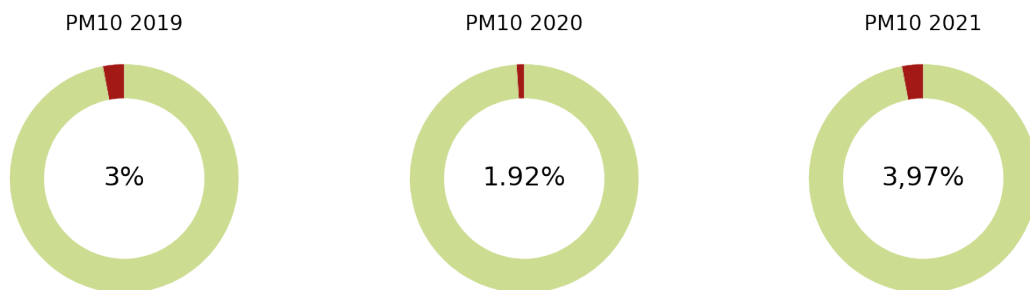


Si observamos los días al año que se han superado los límites establecidos por la OMS, podemos ver cómo, en este caso, el porcentaje de días que se supera el límite máximo es mínimo con respecto a los que no se supera. Sin embargo, no podemos olvidar la gravedad de las emisiones PM10 en nuestra salud.

En este caso, al igual que con el NO2, el nivel de las emisiones aumenta en los meses de invierno, debido a la dinámica atmosférica.

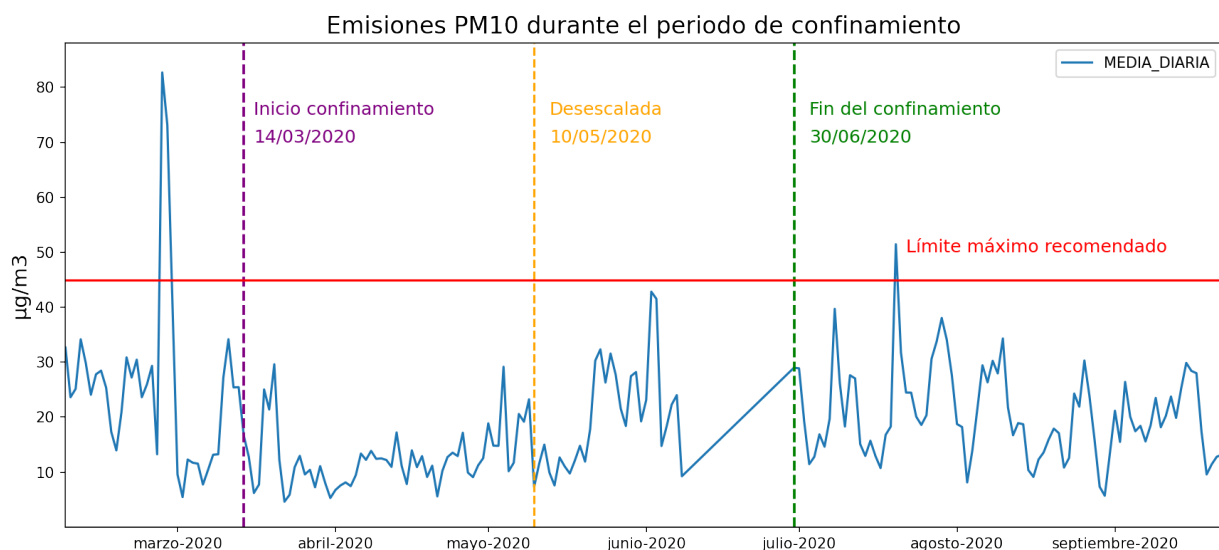
Vemos como durante el año 2020, el porcentaje se ha reducido en más de un punto, debido a la reducción de las emisiones durante el confinamiento. Sin embargo, vemos como durante 2021, hemos superado las emisiones anteriores al confinamiento.

PORCENTAJE DÍAS SUPERANDO EL LÍMITE DE LA OMS



Debemos tener en cuenta, que el porcentaje calculado en 2021 se refiere al período enero-octubre, ya que de los meses de noviembre y diciembre no tenemos datos.

Si nos centramos en el período de confinamientos, los niveles de PM10, aun siendo altos, suelen mantenerse por debajo del límite diario de 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Durante el período de junio y julio de 2020 podemos observar que hay una ausencia de datos que provoca una discrepancia en la gráfica.

5.3. EMISIONES DE PARTÍCULAS PM2.5

Las partículas PM2.5 son partículas con un diámetro de 10 micrones o menos.

Están consideradas el contaminante más peligroso para el ser humano, ya que debido a su tamaño, son capaces de llegar al torrente sanguíneo. Sus efectos sobre la salud son muy graves, incluso en concentraciones muy bajas; de hecho, no se ha podido identificar ningún umbral por debajo del cual no se hayan observado daños para la salud.

Su fuente de emisión es igual que en las partículas PM10 y lo que las diferencia es su tamaño.

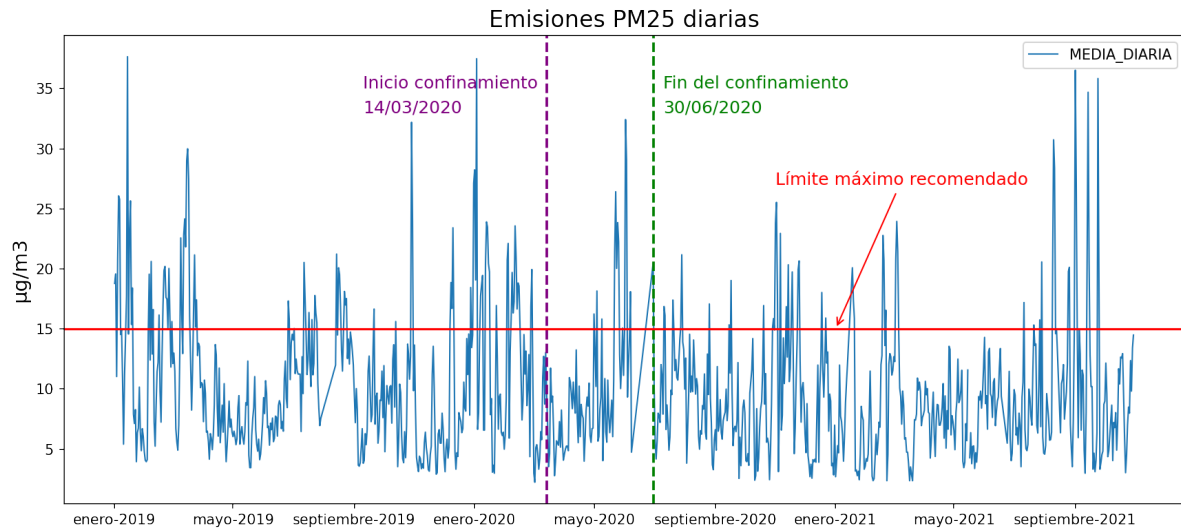
Hasta septiembre de 2021, la OMS recomendaba menos de 25 micrones por metro cúbico de aire en un día. Sin embargo, sus actuales recomendaciones reducen ese límite a 15 micrones.

Según el estudio de *The Lancet Planetary Health* en 2021, Madrid ocupa el puesto 551 entre 858 ciudades europeas en emisiones de PM2.5

MUERTES EVITABLES EN MADRID POR PM_{2.5}

CUMPLIENDO CON LAS NUEVAS RECOMENDACIONES DE LA OMS (2021)	1.876
CUMPLIENDO CON LAS RECOMENDACIONES ANTERIORES DE LA OMS (2005)	689
IGUALANDO LOS NIVELES MÁS BAJOS DE CONTAMINACIÓN DE LAS CIUDADES ESTUDIADAS	2.179

En el gráfico siguiente, donde se representan las emisiones diarias de PM2.5 se observa un decremento significativo en el comienzo del confinamiento, aunque al igual que ocurría en el caso de las partículas PM10 el descenso no es muy prolongado en el tiempo.

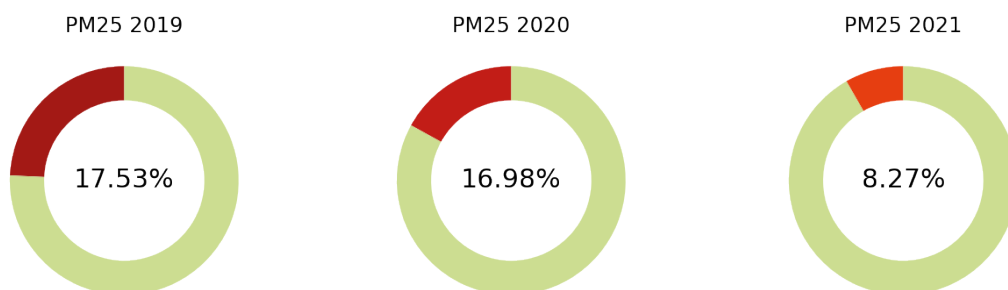


Si observamos los días al año que se han superado los límites establecidos por la OMS, podemos ver cómo los datos son preocupantes teniendo en cuenta los efectos que tienen estas partículas para nuestra salud.

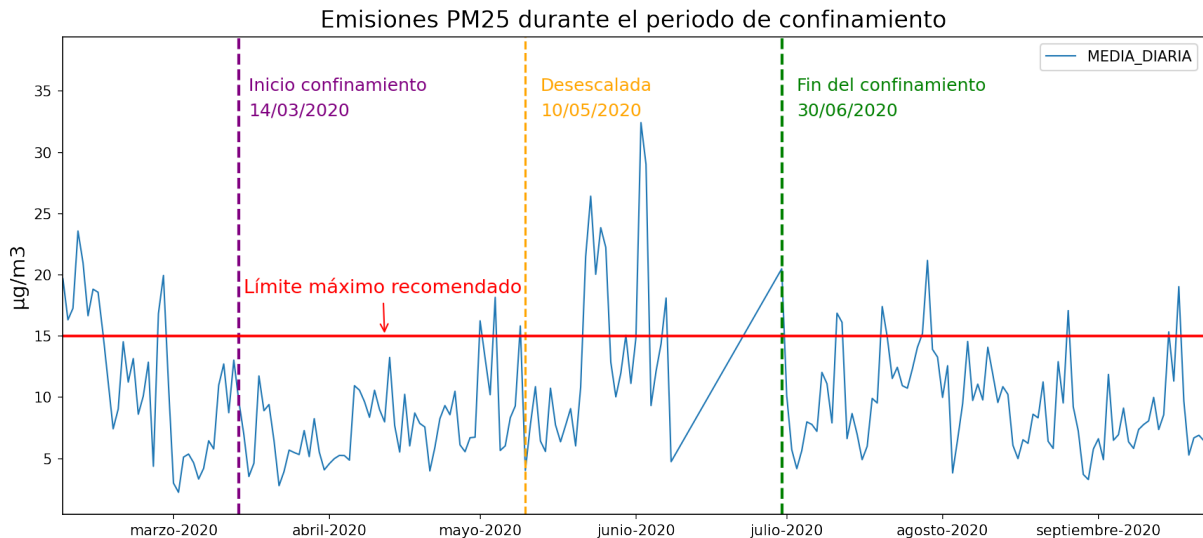
En este caso, al igual que con el NO₂, el nivel de las emisiones aumenta en los meses de invierno, debido a la dinámica atmosférica.

Debemos tener en cuenta, que el porcentaje calculado en 2021 se refiere al período enero-octubre, ya que de los meses de noviembre y diciembre no tenemos datos.

PORCENTAJE DÍAS SUPERANDO EL LÍMITE DE LA OMS



Si centramos el foco en el período de confinamiento empezamos a ver un incremento de las emisiones de PM25 al comenzar las fases de desescalada.



Durante el período de junio y julio de 2020, al igual que ocurría en las mediciones de PM10, podemos observar que hay una ausencia de datos que provoca una discrepancia en la gráfica.

6. EVOLUCIÓN DEL TRÁFICO

Con la explosión de la pandemia y la llegada del confinamiento, se impusieron en España estrictas medidas que impedían la movilidad de la población a excepción de los sectores esenciales.

Esto llevó a la drástica reducción del tráfico tanto rodado como aéreo.

6.1. AFOROS DE TRÁFICO

Hace referencia al número medio de vehículos que pasan por la estación permanente de la medición del tráfico 47, de la calle Alcalá.

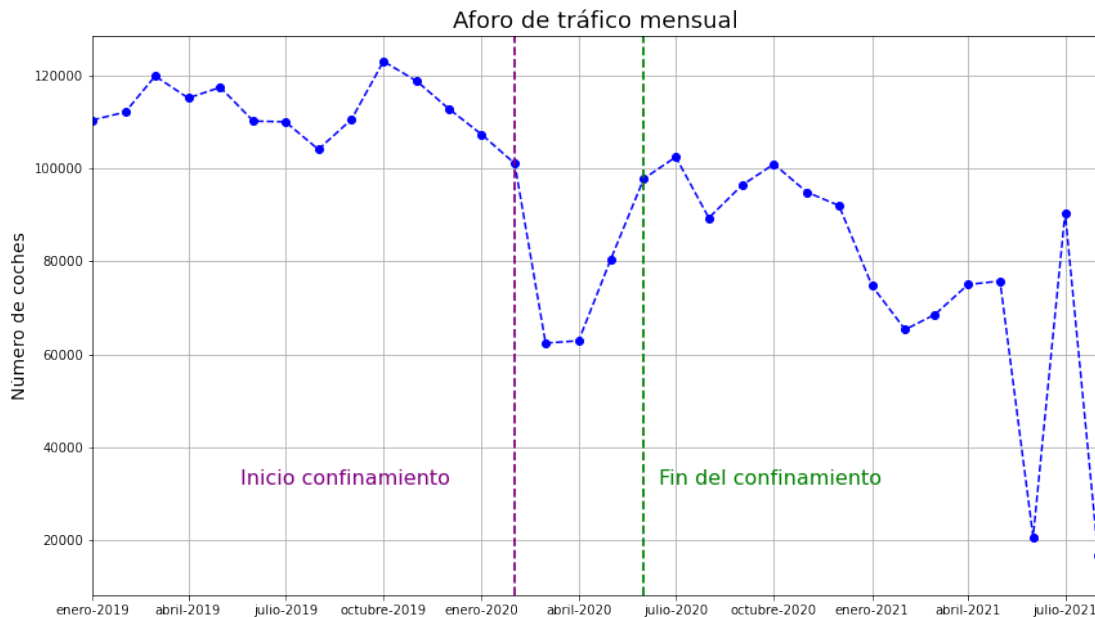
Durante el período de estudio vemos cómo el tráfico que pasa por esta estación es elevado, llegando incluso a superar los 120.000 vehículos al mes.

Con la llegada del confinamiento, se impusieron en España, medida muy estrictas con respecto al desplazamiento de la población, a excepción de los sectores considerados como

esenciales. Es por ello, que se observa, claramente un descenso del aforo del tráfico al comienzo de dicho confinamiento.

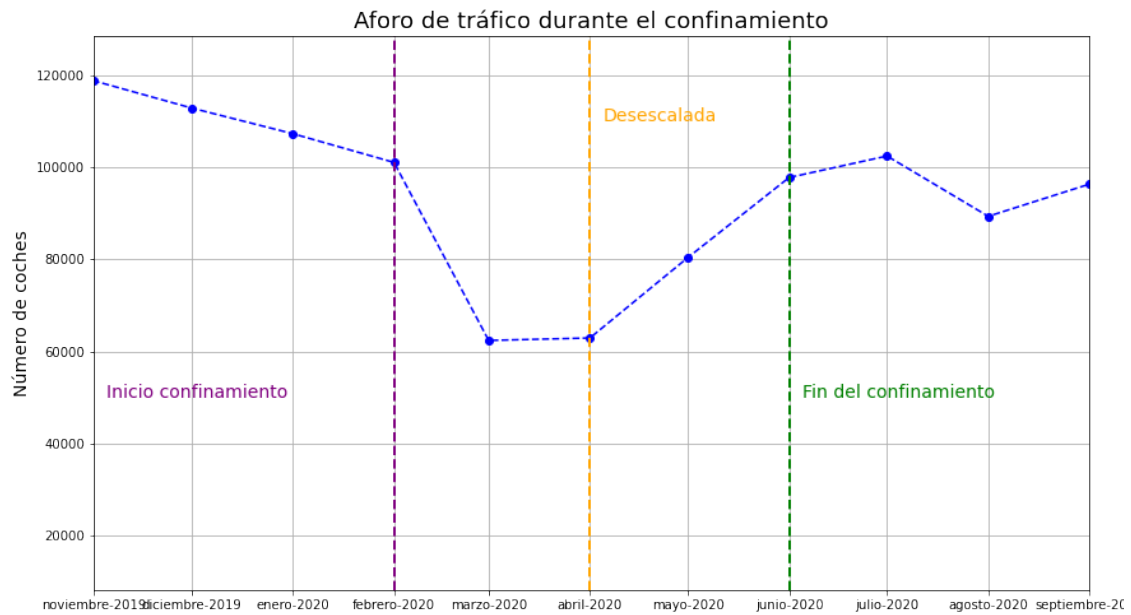
También se observa cómo, a pesar de que se ha vuelto a incrementar el tráfico una vez acabado el confinamiento, no se ha llegado a niveles pre pandemia.

También cabe resaltar, que a partir del mes de mayo se ha producido un movimiento inusual en la gráfica, con una gran caída de los desplazamientos. Esto es debido a unas obras realizadas en la calle en dicho periodo.



Si centramos nuestra atención en los meses que abarcó el estado de alarma se ve claramente como, al inicio del mismo se produjo una reducción del tráfico entorno al 50%, y que el mismo comenzó a incrementarse una vez comenzó el período de desescalada, pero sin llegar a los niveles anteriores al confinamiento.

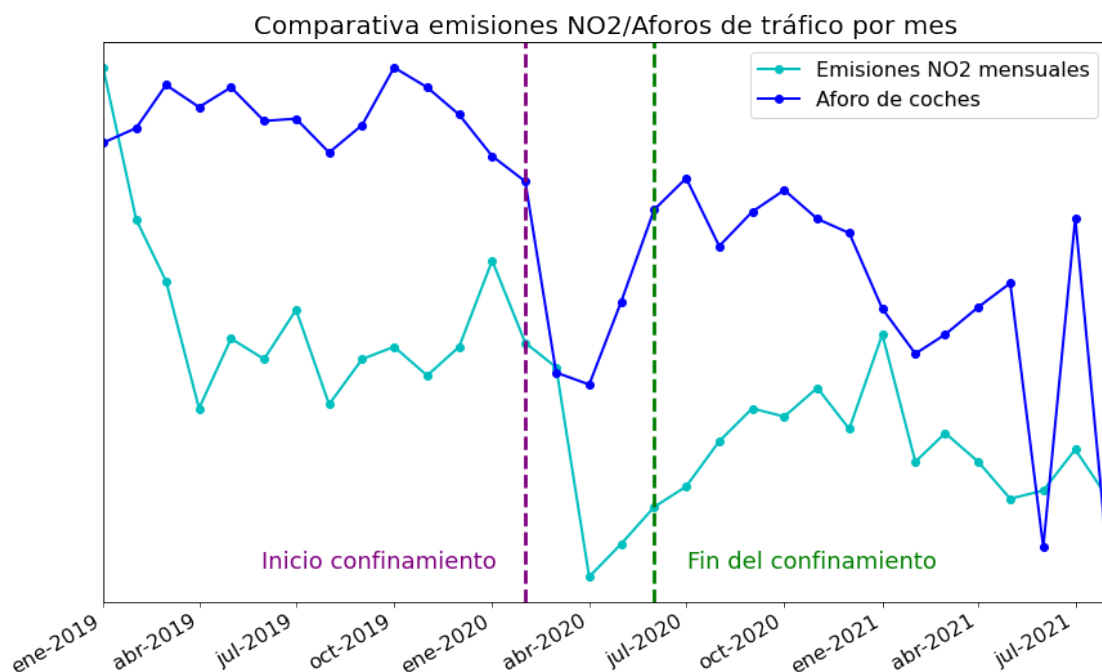
Efectos del confinamiento en la calidad del aire de Madrid



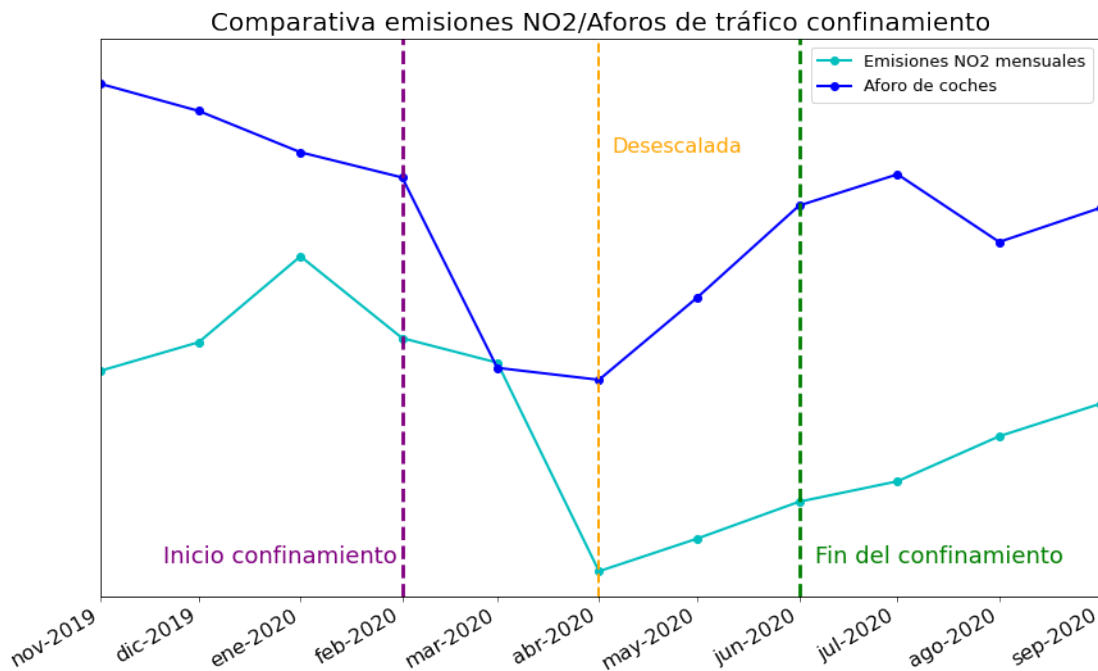
En la siguiente gráfica vemos la relación entre el aforo del tráfico y las emisiones de NO₂ emitidas a la atmósfera. Como se puede observar se trata de una relación directamente proporcional, puesto que al aumentar el aforo, aumentan las emisiones y viceversa.

Cabe destacar el punto de la gráfica situada en enero de 2021, donde se puede apreciar una bajada de los desplazamientos, coincidiendo con la borrasca Filomena, que imposibilitó los desplazamientos por la ciudad debido a la nieve.

También es importante señalar cómo de forma recurrente las emisiones de NO₂ aumentan durante los meses de diciembre y enero debido, cómo hemos visto, a la dinámica atmosférica.

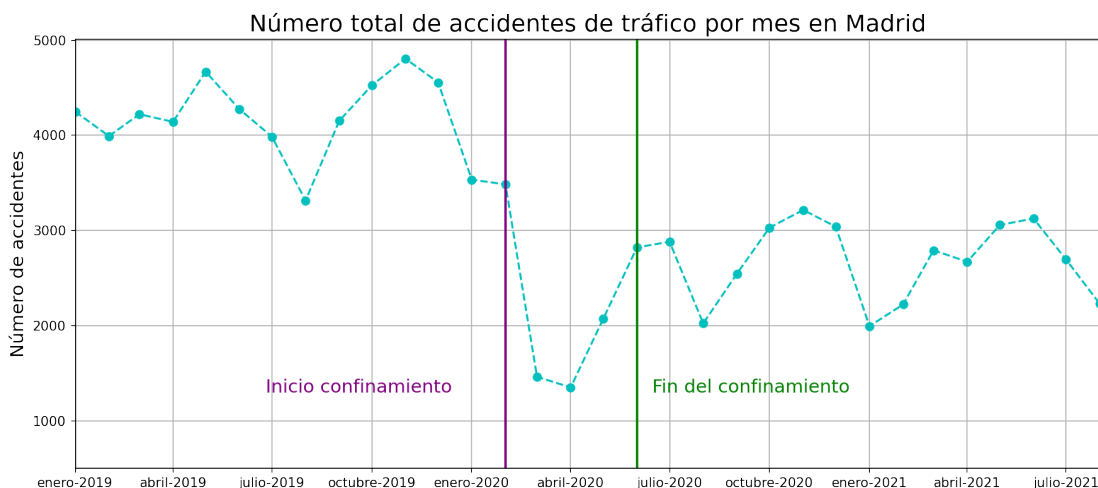


Al centrar la gráfica en torno al período de confinamiento, podemos ver como tanto el número de vehículos como las emisiones de NO₂ aumentan al iniciarse la desescalada.

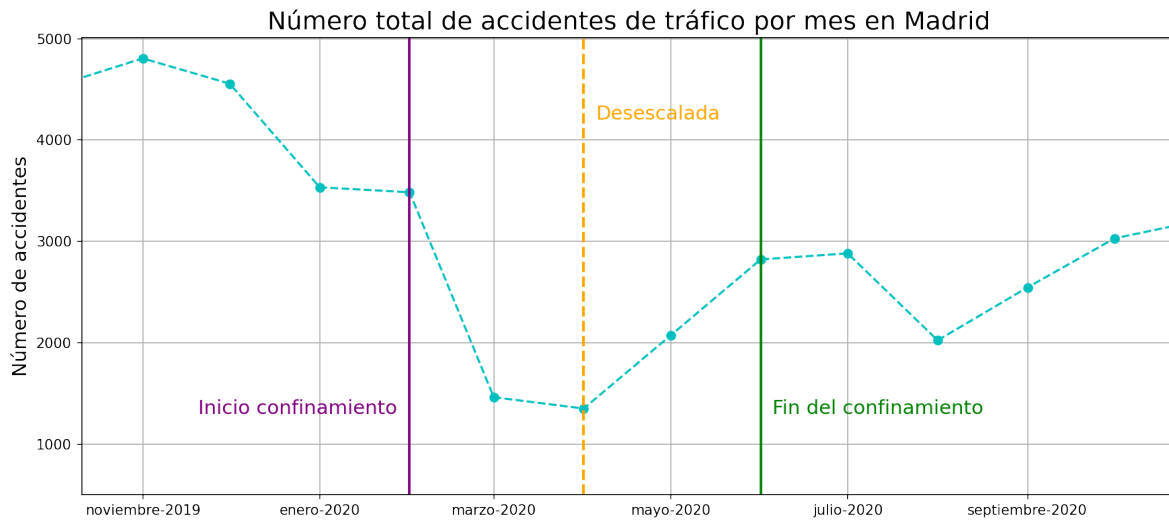


6.2. ACCIDENTES DE TRÁFICO

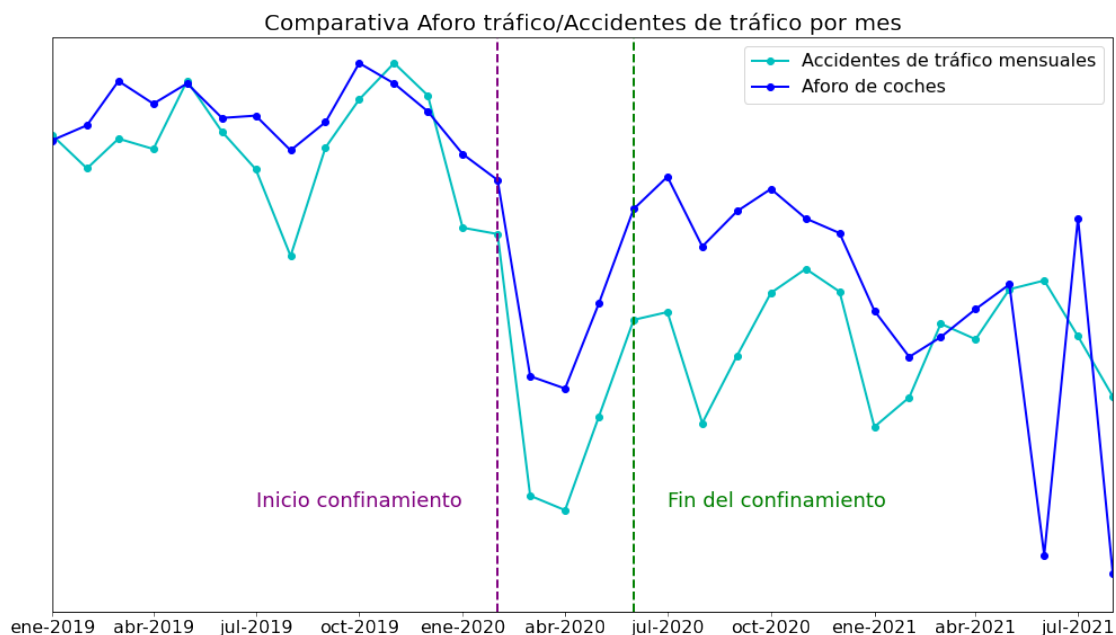
La disminución del aforo de tráfico, lleva implícita la reducción del número de accidentes. Reduciéndose durante el periodo de estudio de forma drástica, tal y como se aprecia en el gráfico, donde podemos observar el número total de accidentes por mes en la ciudad de Madrid.

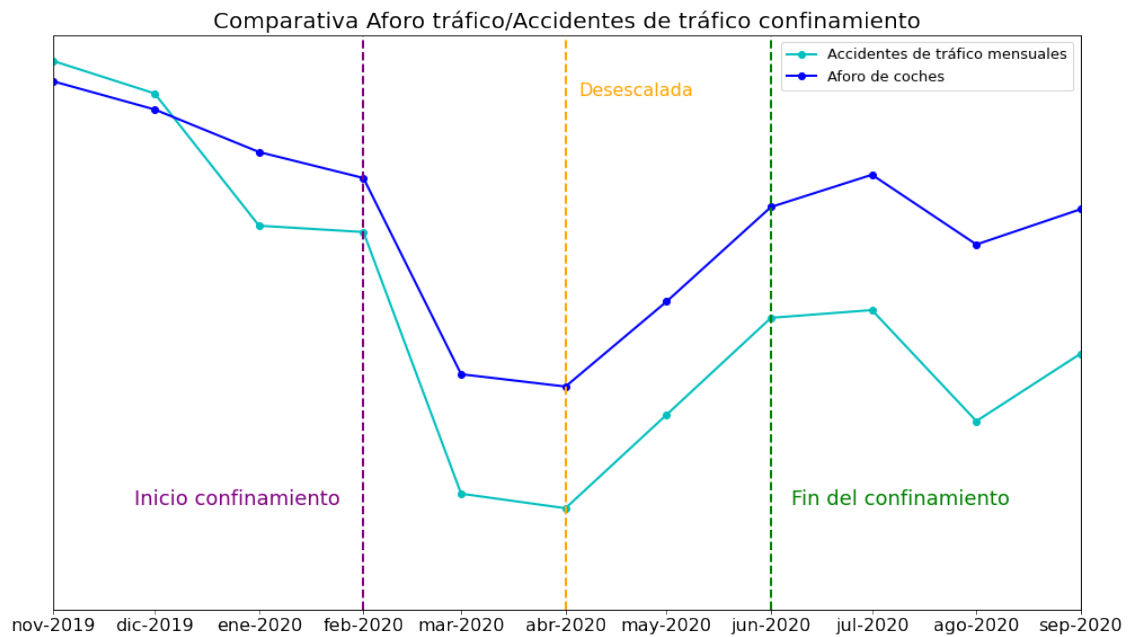


En este caso, al igual que ocurría en el aforo de tráfico, vemos cómo los accidentes comienzan a aumentar progresivamente coincidiendo con el período de desescalada.



Al realizar la comparación del aforo de tráfico con los accidentes, vemos cómo se relacionan de forma directamente proporcional: el aumento del aforo trae consigo un aumento de los accidentes. Sin embargo, observamos que durante enero de 2021 esta tendencia no se cumple. Esto es debido a que durante dicho mes se produjo la borrasca Filomena, lo que impidió los desplazamientos pero, a su vez provocó un incremento en los accidentes de tráfico.

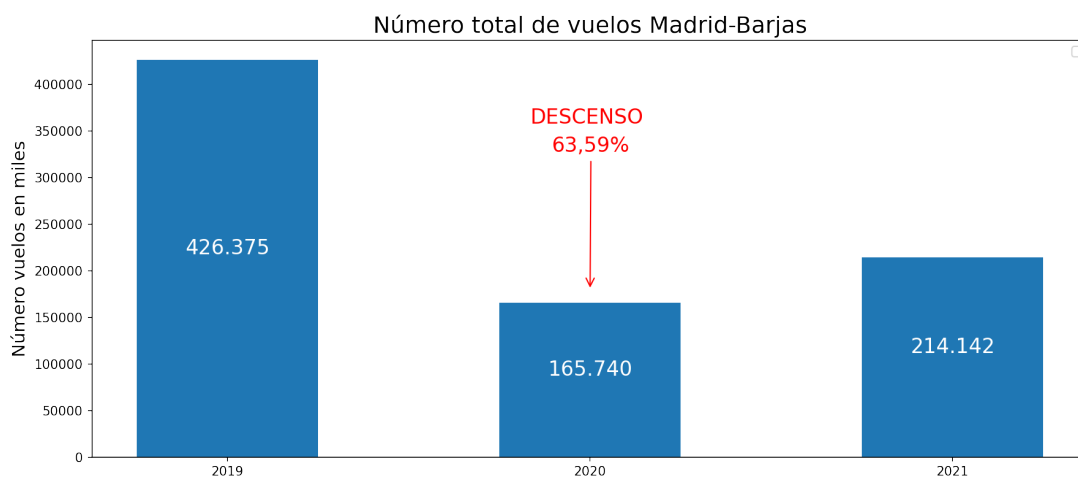




6.3. TRÁFICO AÉREO

En el caso del tráfico aéreo, sólo en el aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas el número de vuelos descendió en casi 300.00 en 2020 con respecto al año anterior.

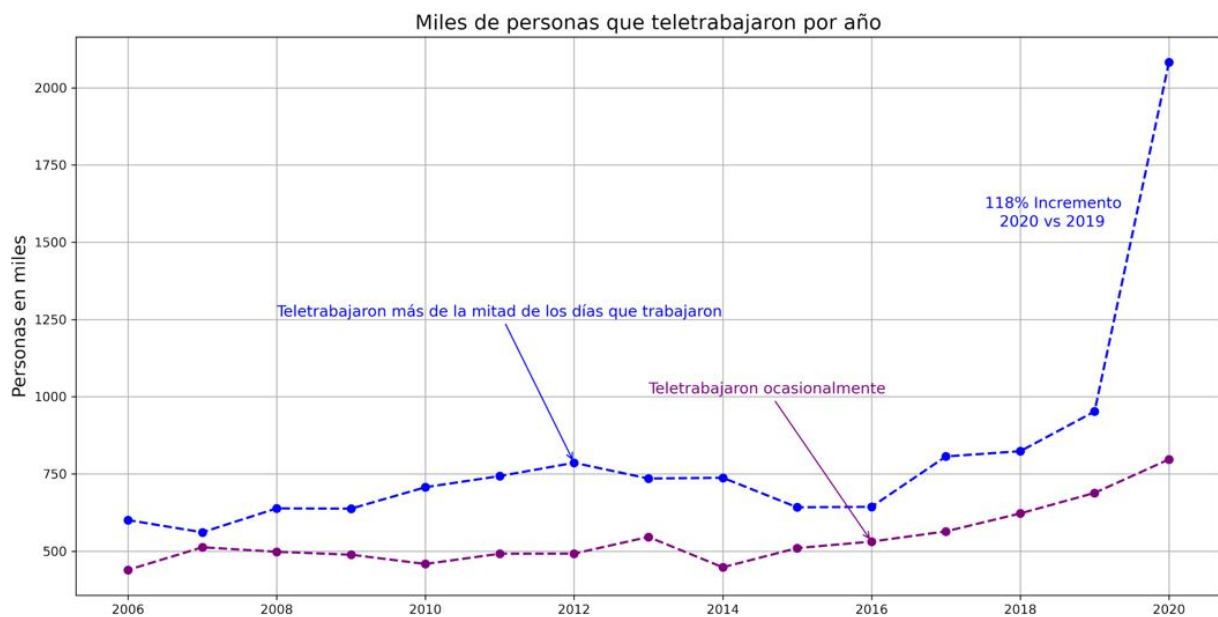
Lo que no solo influye las emisiones directas de los aviones, sino que también afectan en los desplazamientos de personas y mercancías hacia el aeropuerto.



7. TELETRABAJO

La información relacionada con la evolución del teletrabajo, se ha obtenido del censo de población activa, del INE (Instituto Nacional de Estadística). Dichos datos se sirven por años y no hay información referente al año en curso (2021). Se han tomado los últimos años para permitir que se vea la tendencia anterior, donde la tendencia creciente era insignificante, en comparación con el último año.

En el año 2020, la cantidad de personas que teletrabajaron más de la mitad de los días, aumentó un 118,67% respecto al año anterior. Viendo la tendencia de años anteriores, se ve claramente como en el año de la pandemia, se optó por la única vía posible para mantener activo el tejido empresarial. Las personas que teletrabajaron ocasionalmente en 2020 (menos de la mitad de los días que trabajaron), no representan un crecimiento demasiado diferente al de años anteriores. Esto nos hace pensar que se optó por implantar el teletrabajo en el mayor número de los días, de forma mayoritaria.



8. SANCIONES ECONÓMICAS

En julio de 2019 la Comisión Europea denunció a España por incumplimiento sistemático de emisiones de NO₂ en Madrid, Barcelona y el Baix Llobregat.

Después de años de advertencias, en 2005 se abrió, desde la Unión Europea, un expediente a varios países, entre los que se encontraba España. Pero, en 2018, España se libró de entrar en la lista de países denunciados por el Tribunal de Justicia Europeo por contaminación, alegando estar tomando medidas para el control de las emisiones. En Madrid, la medida estrella era Madrid Central.

En julio de 2019, el comisario de medioambiente europeo envió una carta al Gobierno de España en la que advertía de “la grave situación con respecto a la calidad del aire”.

Sin embargo, a día de hoy, las emisiones siguen estando muy por encima de los límites recomendados por el OMS y, por tanto, suponen un grave riesgo para la salud de toda la población. Según cálculos de Ecologistas en Acción, la multa podría alcanzar los 200 millones de euros por año de incumpliendo, lo que haría ascender el total a 2.000 millones de euros. Cifra que no pagarían las ciudades infractoras, en este caso Madrid y Barcelona, sino el conjunto del país.

9. ARQUITECTURA

Los datos se han obtenido, de las diversas fuentes, en formatos csv y Excel. Tanto estos ficheros como los utilizados durante el análisis, han sido almacenados en un proyecto público de Github, consultable en el siguiente link:

<https://github.com/78ToniGil/Aire-Dexs>

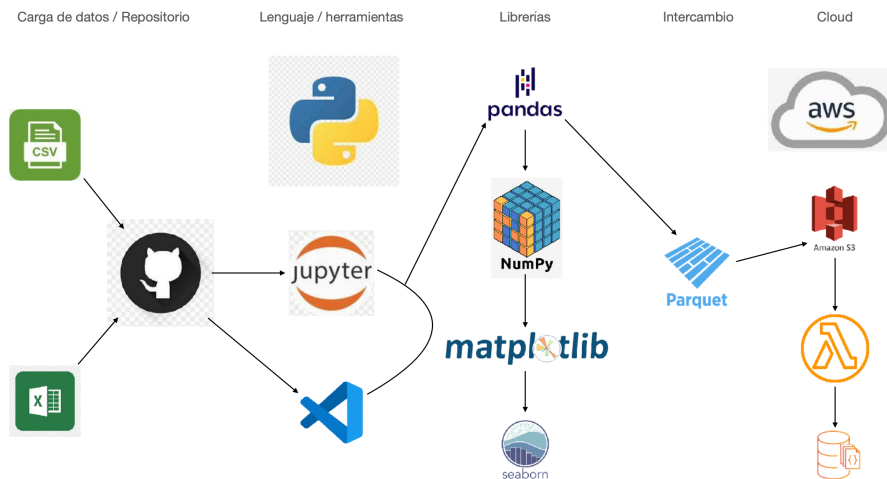
El procesamiento y limpieza se ha realizado utilizando el lenguaje Python, en los frameworks Jupyterlab y Visual Code Studio. Principalmente, se han utilizado las librerías numpy y pandas para el análisis exploratorio de datos.

Finalmente, se muestran las conclusiones con gráficos realizados con Matplotlib y Seaborn.

De forma adicional, se ha incluido una pequeña muestra de funcionalidad, simulando un Data Pipeline, montada sobre arquitectura cloud en Amazon Web Services.

Para esto, los dataframes limpios y procesados, se han convertido en ficheros parquet, que se han subido a un bucket de S3 llamado “Dexs”. Una vez allí, el evento PUT dispara una función Lambda que:

- Lee el contenido de los ficheros
- Procesa los ficheros, insertando cada línea como un documento de una base de datos DocumentDB, que es la base de datos de documentos de AWS, compatible con MongoDB.
- Una vez procesados e insertados en la base de datos de documentos, se mueven a un segundo bucket llamado “Dexs-procesados”.



10. CONCLUSIONES

Las medidas de confinamiento impuestas por el estado de alarma modificaron de forma radical nuestros patrones de desplazamientos, consumo y formas de vida.

Esto se tradujo en una mejora de la calidad del aire. Sobre todo, debido al gran descenso de NO₂ en la ciudad de Madrid. También se aprecia una bajada en los niveles PM_{2.5} y PM₁₀ aunque en este caso la bajada no ha sido tan acusada ni mantenida en el tiempo.

Conviene destacar el hecho de que como consecuencia del descenso de desplazamientos, el número de accidentes de tráfico también disminuyó de forma significativa durante el período de estudio.

Conforme han ido avanzando las fases de desescalada, los niveles de NO₂ han ido aumentando progresivamente. Sin embargo, aún no se ha llegado a niveles pre-pandemia, debido a las restricciones en los desplazamientos impuestos por las distintas CCAA. Así como al aumento del teletrabajo.

El teletrabajo ha sido una medida fomentada por las empresas y las administraciones como una forma de protección a los trabajadores. De hecho, en 2020 con respecto al 2019, el teletrabajo aumentó un 118%. Esto ha ayudado significativamente a la reducción de la movilidad y, por tanto, a una mejora en los niveles de NO₂.

Como retos a tener en cuenta, hay que considerar la posibilidad de un aumento en el uso del coche particular en detrimento del transporte público debido al miedo al contagio. Lo que podía llevarnos a volver a índices de contaminación pre-pandemia.

Por ello, como resultado de este estudio nos gustaría resaltar cómo la adopción de medidas como el teletrabajo (en aquellos puestos en los que sea posible) pueden influir de forma decisiva en la salud de todos. Así, según un estudio de Greenpeace, si las empresas aumentaran un día el teletrabajo, las emisiones diarias debidas a los desplazamientos se reducirían entre un 7%-8%. En el caso de que el aumento fuera de dos días, esta reducción rondaría el 15%.

11. FUENTES DE DATOS

- **Ayuntamiento de Madrid**

Datos sobre los elementos químicos a estudiar por día, durante los años 2019, 2020 y 2021 en la ciudad de Madrid

<https://datos.madrid.es>

- **Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico**

Datos sobre emisiones por parte de sectores industriales en los años 2019 y 2020

<https://www.miteco.gob.es>

- **Ayuntamiento de Madrid**

Datos sobre accidentes de tráfico durante los años 2019, 2020 y 2021

<https://datos.madrid.es>

- **AENA**

Datos sobre la evolución del tráfico aéreo

<https://www.aena.es/es/estadisticas/inicio.html>

- **INE**

Datos sobre la evolución del teletrabajo

https://www.ine.es/covid/covid_inicio.htm