

# Impacto de las restricciones derivadas de la pandemia por COVID-19 en los niveles de calidad del aire: aplicación a estaciones urbanas de tráfico en España

*Autor:*

Jaime Díez González-Pardo

*Directores:*

Dr. Rodrigo GARCÍA MANZANAS

Dr. Ignacio FERNÁNDEZ OLMO



25 de junio de 2021

## Introducción

- Contaminación Atmosférica
- COVID-19
- Objetivos

## **Introducción**

- Contaminación Atmosférica
- COVID-19
- Objetivos

## **Fuentes y Curado de Datos**

- Contaminantes
- Meteorología

## **Introducción**

- Contaminación Atmosférica
- COVID-19
- Objetivos

## **Fuentes y Curado de Datos**

- Contaminantes
- Meteorología

## **Técnicas Estadísticas y de Minería de Datos**

- Aprendizaje Supervisado
- Aprendizaje No Supervisado
- Marco de Validación

## **Introducción**

- Contaminación Atmosférica
- COVID-19
- Objetivos

## **Fuentes y Curado de Datos**

- Contaminantes
- Meteorología

## **Técnicas Estadísticas y de Minería de Datos**

- Aprendizaje Supervisado
- Aprendizaje No Supervisado
- Marco de Validación

## **Resultados**

- Cambios 2020 vs 2013-2019
- Desarrollo de Modelos Predictivos
- Cambios 2020 vs Predicción
- Análisis de Tendenias

## **Introducción**

- Contaminación Atmosférica
- COVID-19
- Objetivos

## **Fuentes y Curado de Datos**

- Contaminantes
- Meteorología

## **Técnicas Estadísticas y de Minería de Datos**

- Aprendizaje Supervisado
- Aprendizaje No Supervisado
- Marco de Validación

## **Resultados**

- Cambios 2020 vs 2013-2019
- Desarrollo de Modelos Predictivos
- Cambios 2020 vs Predicción
- Análisis de Tendenias

## **Conclusiones y Trabajos Futuros**

# Contaminación Atmosférica

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predictión

Tendencias

Conclusiones

Referencias

Se consideran contaminantes cuando provienen de actividades humanas, denominadas fuentes antropogénicas, aumentando la concentración natural de los mismos.

# Contaminación Atmosférica

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

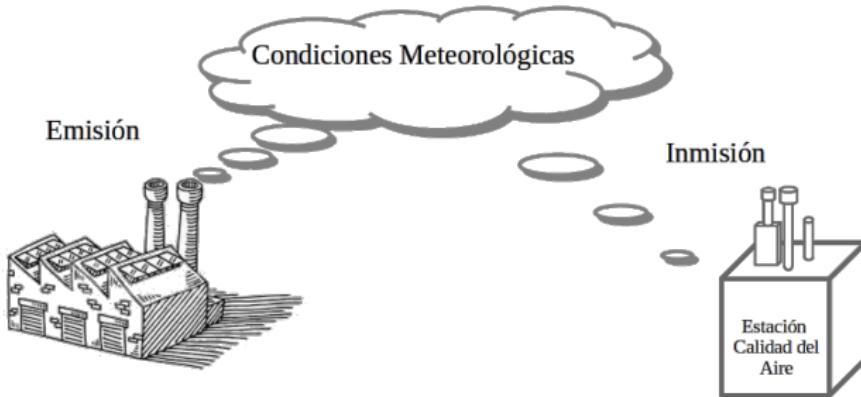
Predicción

Tendencias

Conclusiones

Referencias

Se consideran contaminantes cuando provienen de actividades humanas, denominadas fuentes antropogénicas, aumentando la concentración natural de los mismos.



# Contaminación Atmosférica

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

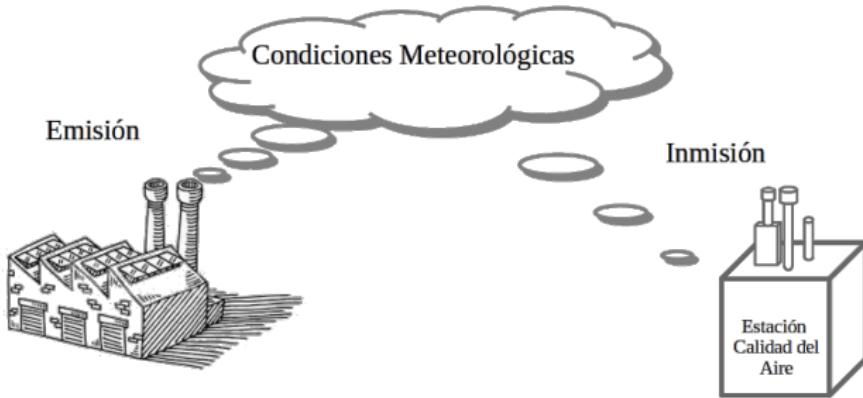
Predicción

Tendencias

Conclusiones

Referencias

Se consideran contaminantes cuando provienen de actividades humanas, denominadas fuentes antropogénicas, aumentando la concentración natural de los mismos.



Las estaciones de las redes de calidad del aire se clasifican según el tipo de población y la distancia a las principales fuentes de emisión

Área	Tipo
Rural	
Urbana	fondo
Urbana	tráfico

# Principales Contaminantes

Jaime Díez

Se han seleccionado los contaminantes troposféricos más problemáticos

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predicción

Tendencias

Conclusiones

Referencias

$NO$  y  $NO_2 \rightarrow$  Combustión a altas temperaturas

$$\frac{NO}{NO_2} > 1 \text{ en las combustiones}$$

$$VLA(NO_2) = 40 \mu g \cdot m^{-3}$$

# Principales Contaminantes

Jaime Díez

Se han seleccionado los contaminantes troposféricos más problemáticos

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predicción

Tendencias

Conclusiones

Referencias

$NO$  y  $NO_2 \rightarrow$  Combustión a altas temperaturas

$$\frac{NO}{NO_2} > 1 \text{ en las combustiones}$$

$$VLA(NO_2) = 40 \mu\text{g} \cdot m^{-3}$$

$O_3 \rightarrow$  Precensores antropogénicos



$$V0 = 120 \mu\text{g} \cdot m^{-3}$$

# Principales Contaminantes

Jaime Díez

Se han seleccionado los contaminantes troposféricos más problemáticos

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predicción

Tendencias

Conclusiones

Referencias

$NO$  y  $NO_2 \rightarrow$  Combustión a altas temperaturas

$$\frac{NO}{NO_2} > 1 \text{ en las combustiones}$$

$$VLA(NO_2) = 40 \mu\text{g} \cdot m^{-3}$$

$O_3 \rightarrow$  Precursores antropogénicos



$$V0 = 120 \mu\text{g} \cdot m^{-3}$$

$PM10$  y  $PM2.5 \rightarrow$  Gases de escape de vehículos

$PM10$  (diámetro  $< 10 \mu\text{m}$ )

$$VLA = 40 \mu\text{g} \cdot m^{-3}$$

$PM2.5$  (diámetro  $< 2.5 \mu\text{m}$ )

$$VLA = 25 \mu\text{g} \cdot m^{-3}$$

# Desarrollo de la Pandemia por COVID-19

Jaime Díez

Contaminación  
Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predictión

Tendencias

Conclusiones

Referencias

- El **14 de marzo del 2020** el Gobierno de España decretó el estado de alarma para todo el territorio nacional como respuesta a la situación de emergencia sanitaria derivada del COVID-19  
⇒ *Confinamiento*

# Desarrollo de la Pandemia por COVID-19

Jaime Díez

Contaminación  
Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predictión

Tendencias

Conclusiones

Referencias

- El **14 de marzo del 2020** el Gobierno de España decretó el estado de alarma para todo el territorio nacional como respuesta a la situación de emergencia sanitaria derivada del COVID-19  
⇒ *Confinamiento*
- El **5 de mayo del 2020** entró en vigor el plan de desescalada  
⇒ *Fases*

# Desarrollo de la Pandemia por COVID-19

Jaime Díez

Contaminación  
Principales

COVID-19

Objetivos

Curado  
Meteorología

Técnicas  
Supervisado  
No Supervisado  
Validación

Resultados  
Anomalías  
modelos  
Predicción  
Tendencias

Conclusiones

Referencias

- El **14 de marzo del 2020** el Gobierno de España decretó el estado de alarma para todo el territorio nacional como respuesta a la situación de emergencia sanitaria derivada del COVID-19  
⇒ *Confinamiento*
- El **5 de mayo del 2020** entró en vigor el plan de desescalada  
⇒ *Fases*
- Superadas todas las fases en el conjunto del país se dió por concluído este primer estado de alarma el **21 de junio del 2020**  
⇒ *Nueva Normalidad*

# Desarrollo de la Pandemia por COVID-19

Jaime Díez

Contaminación  
Principales

COVID-19

Objetivos

Curado  
Meteorología

Técnicas  
Supervisado  
No Supervisado  
Validación

Resultados  
Anomalías  
modelos  
Predicción  
Tendencias

Conclusiones

Referencias

- El **14 de marzo del 2020** el Gobierno de España decretó el estado de alarma para todo el territorio nacional como respuesta a la situación de emergencia sanitaria derivada del COVID-19  
⇒ *Confinamiento*
- El **5 de mayo del 2020** entró en vigor el plan de desescalada  
⇒ *Fases*
- Superadas todas las fases en el conjunto del país se dió por concluído este primer estado de alarma el **21 de junio del 2020**  
⇒ *Nueva Normalidad*
- El **25 de octubre del 2020** se volvió a decretar un nuevo estado de alarma a nivel nacional, permitiendo esta vez a cada Comunidad Autónoma realizar modificaciones en las restricciones impuestas  
⇒ *Segundo estado de alarma*

# Desarrollo de la Pandemia por COVID-19

Jaime Díez

Contaminación  
Principales

COVID-19

Objetivos

Curado  
Meteorología

Técnicas  
Supervisado  
No Supervisado  
Validación

Resultados  
Anomalías  
modelos  
Predicción  
Tendencias

Conclusiones  
Referencias

- El **14 de marzo del 2020** el Gobierno de España decretó el estado de alarma para todo el territorio nacional como respuesta a la situación de emergencia sanitaria derivada del COVID-19  
⇒ *Confinamiento*
- El **5 de mayo del 2020** entró en vigor el plan de desescalada  
⇒ *Fases*
- Superadas todas las fases en el conjunto del país se dió por concluído este primer estado de alarma el **21 de junio del 2020**  
⇒ *Nueva Normalidad*
- El **25 de octubre del 2020** se volvió a decretar un nuevo estado de alarma a nivel nacional, permitiendo esta vez a cada Comunidad Autónoma realizar modificaciones en las restricciones impuestas  
⇒ *Segundo estado de alarma*
- A los primeros meses del 2020 hasta el comienzo del *Confinamiento* se le ha denominado  
⇒ *pre Confinamiento*

# Trabajos Previos y Objetivos

Jaime Díez

Contaminación  
Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predictión

Tendencias

Conclusiones

Referencias

A los pocos meses aparecieron estudios prematuros con escasa perspectiva y períodos de tiempo muy cortos, que se centraban en las anomalías frente a años anteriores (Gkatzelis et al., 2021).

# Trabajos Previos y Objetivos

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predicción

Tendencias

Conclusiones

Referencias

A los pocos meses aparecieron estudios prematuros con escasa perspectiva y períodos de tiempo muy cortos, que se centraban en las anomalías frente a años anteriores (Gkatzelis et al., 2021).

Shi et al. (2021) y Venter et al. (2020) obtuvieron un menor impacto de las restricciones por la pandemia del COVID-19 sobre los niveles de los contaminantes al tener en cuenta las condiciones meteorológicas.

# Trabajos Previos y Objetivos

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predicción

Tendencias

Conclusiones

Referencias

A los pocos meses aparecieron estudios prematuros con escasa perspectiva y períodos de tiempo muy cortos, que se centraban en las anomalías frente a años anteriores (Gkatzelis et al., 2021).

Shi et al. (2021) y Venter et al. (2020) obtuvieron un menor impacto de las restricciones por la pandemia del COVID-19 sobre los niveles de los contaminantes al tener en cuenta las condiciones meteorológicas.

## Objetivos:

- Cuantificación de las anomalías en las concentraciones de  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$ ,  $PM10$  y  $PM2.5$  obtenidas para cada estación de tráfico urbano de calidad del aire para el año 2020 respecto al período 2013-2019 (debidas al COVID-19).

# Trabajos Previos y Objetivos

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predicción

Tendencias

Conclusiones

Referencias

A los pocos meses aparecieron estudios prematuros con escasa perspectiva y períodos de tiempo muy cortos, que se centraban en las anomalías frente a años anteriores (Gkatzelis et al., 2021).

Shi et al. (2021) y Venter et al. (2020) obtuvieron un menor impacto de las restricciones por la pandemia del COVID-19 sobre los niveles de los contaminantes al tener en cuenta las condiciones meteorológicas.

## Objetivos:

- Cuantificación de las anomalías en las concentraciones de  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$ ,  $PM10$  y  $PM2.5$  obtenidas para cada estación de tráfico urbano de calidad del aire para el año 2020 respecto al período 2013-2019 (debidas al COVID-19).
- Desarrollo de un modelo de predicción local (para cada estación de tráfico urbano de calidad del aire) para la concentración de  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$ ,  $PM10$  y  $PM2.5$ , a partir de variables meteorológicas.

# Trabajos Previos y Objetivos

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predictión

Tendencias

Conclusiones

Referencias

A los pocos meses aparecieron estudios prematuros con escasa perspectiva y períodos de tiempo muy cortos, que se centraban en las anomalías frente a años anteriores (Gkatzelis et al., 2021).

Shi et al. (2021) y Venter et al. (2020) obtuvieron un menor impacto de las restricciones por la pandemia del COVID-19 sobre los niveles de los contaminantes al tener en cuenta las condiciones meteorológicas.

## Objetivos:

- Cuantificación de las anomalías en las concentraciones de  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$ ,  $PM10$  y  $PM2.5$  obtenidas para cada estación de tráfico urbano de calidad del aire para el año 2020 respecto al período 2013-2019 (debidas al COVID-19).
- Desarrollo de un modelo de predicción local (para cada estación de tráfico urbano de calidad del aire) para la concentración de  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$ ,  $PM10$  y  $PM2.5$ , a partir de variables meteorológicas.
- Cuantificación de los cambios relativos observados durante el año 2020 para el  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$ ,  $PM10$  y  $PM2.5$  de acuerdo al modelo predictivo del punto anterior.

# Datos: Calidad del Aire

Jaime Díez

Contaminación  
Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado  
No Supervisado  
Validación

Resultados

Anomalías  
modelos  
Predicción  
Tendencias

Conclusiones

Referencias

Período de estudio  $\begin{cases} 2013 - 2019 & \rightarrow \text{Entrenamiento de los modelos} \\ 2020 & \rightarrow \text{Análisis} \end{cases}$

\*La European Environment Agency (EEA) facilita datos a partir del 2013

# Datos: Calidad del Aire

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predictión

Tendencias

Conclusiones

Referencias

Período de estudio  $\begin{cases} 2013 - 2019 & \rightarrow \text{Entrenamiento de los modelos} \\ 2020 & \rightarrow \text{Análisis} \end{cases}$

\*La European Environment Agency (EEA) facilita datos a partir del 2013

Se han obtenido los datos de calidad del aire de las estaciones de tipo **tráfico urbano** de las ciudades de España de **más de cien mil habitantes**.

# Datos: Calidad del Aire

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predictión

Tendencias

Conclusiones

Referencias

Período de estudio  $\begin{cases} 2013 - 2019 & \rightarrow \text{Entrenamiento de los modelos} \\ 2020 & \rightarrow \text{Análisis} \end{cases}$

\*La European Environment Agency (EEA) facilita datos a partir del 2013

Se han obtenido los datos de calidad del aire de las estaciones de tipo **tráfico urbano** de las ciudades de España de **más de cien mil habitantes**.

## Contaminantes:

*NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM10 y PM2.5*

210 pares estación-contaminante    34 Municipios

Población 13.5 Millones

# Datos: Calidad del Aire

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predicción

Tendencias

Conclusiones

Referencias

Período de estudio  $\begin{cases} 2013 - 2019 & \rightarrow \text{Entrenamiento de los modelos} \\ 2020 & \rightarrow \text{Análisis} \end{cases}$

\*La European Environment Agency (EEA) facilita datos a partir del 2013

Se han obtenido los datos de calidad del aire de las estaciones de tipo **tráfico urbano** de las ciudades de España de **más de cien mil habitantes**.

## Contaminantes:

*NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM10 y PM2.5*

210 pares estación-contaminante    34 Municipios

Población 13.5 Millones

## Requisitos:

- Tener al menos el 80 % de los datos durante el intervalo:

1-marzo-2020 al 30-junio-2020

- Falten menos de 5 años de datos

# Mapa Estaciones Calidad del Aire

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

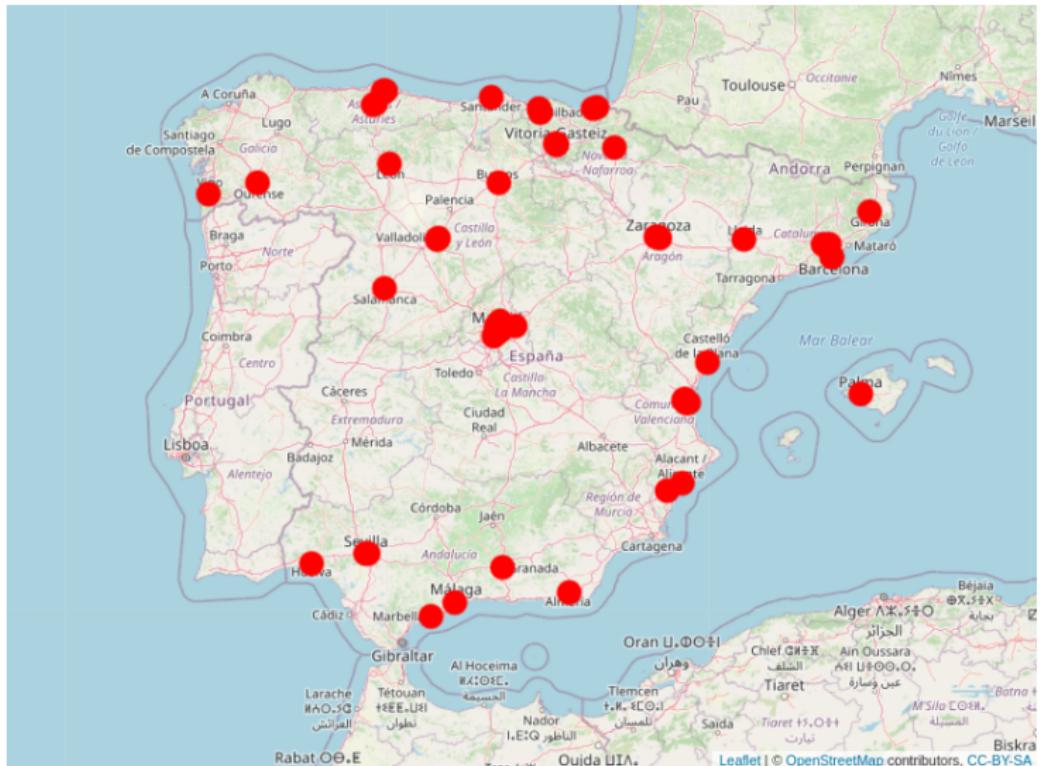
modelos

Predicción

Tendencias

Conclusiones

Referencias



# Datos: Meteorología

## ● AEMET

Variable	Descripción	Unidad
<b>tmed</b>	Temperatura media diaria	ºC
<b>prec</b>	Precipitación diaria de 07 a 07	mm
<b>tmax</b>	Temperatura mínima del día	ºC
<b>tmin</b>	Temperatura máxima del día	ºC
<b>presmax</b>	Presión máxima al nivel de referencia de la estación	hPa
<b>presmin</b>	Presión mínima al nivel de referencia de la estación	hPa

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predicción

Tendencias

Conclusiones

Referencias

# Datos: Meteorología

## ● AEMET

Variable	Descripción	Unidad
<b>tmed</b>	Temperatura media diaria	°C
<b>prec</b>	Precipitación diaria de 07 a 07	mm
<b>tmax</b>	Temperatura mínima del día	°C
<b>tmin</b>	Temperatura máxima del día	°C
<b>presmax</b>	Presión máxima al nivel de referencia de la estación	hPa
<b>presmin</b>	Presión mínima al nivel de referencia de la estación	hPa

## ● NOAA ISD

Variable	Descripción	Unidad
<b>ws</b>	Velocidad del viento	$m \cdot s^{-1}$
<b>wd</b>	Dirección del viento	grados. 90 para el Este

# Datos: Meteorología

## ● AEMET

Variable	Descripción	Unidad
<b>tmed</b>	Temperatura media diaria	°C
<b>prec</b>	Precipitación diaria de 07 a 07	mm
<b>tmax</b>	Temperatura mínima del día	°C
<b>tmin</b>	Temperatura máxima del día	°C
<b>presmax</b>	Presión máxima al nivel de referencia de la estación	hPa
<b>presmin</b>	Presión mínima al nivel de referencia de la estación	hPa

## ● NOAA ISD

Variable	Descripción	Unidad
<b>ws</b>	Velocidad del viento	$m \cdot s^{-1}$
<b>wd</b>	Dirección del viento	grados. 90 para el Este

## ● ERA5-Land

Variable	Descripción	Unidad
<b>solar.radiation</b>	Radiación Solar	$W/m^2$
<b>RH</b>	Humedad Relativa	%

# Aprendizaje Supervisado

Jaime Díez

Contaminación  
Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

**Supervisado**

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predictión

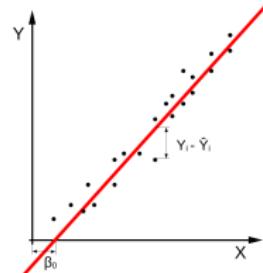
Tendencias

Conclusiones

Referencias

## ● Modelos Lineales ( $lm$ )

$$Y \approx \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_p X_p$$



# Aprendizaje Supervisado

Jaime Díez

Contaminación  
Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías  
modelos

Predicción

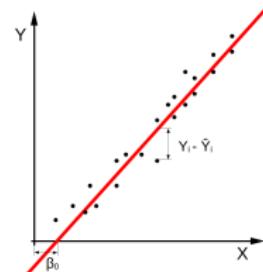
Tendencias

Conclusiones

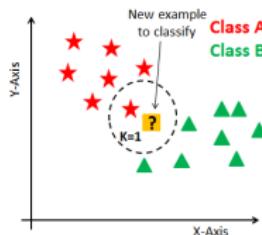
Referencias

## ● Modelos Lineales ( $lm$ )

$$Y \approx \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p$$



## ● Vecinos Cercanos ( $knn$ )



## ● Random Forest ( $rf$ )



# Aprendizaje Supervisado

Jaime Díez

Contaminación  
Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías  
modelos

Predicción

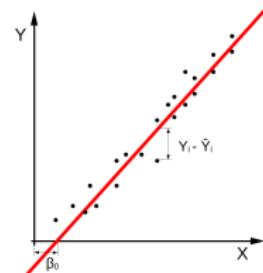
Tendencias

Conclusiones

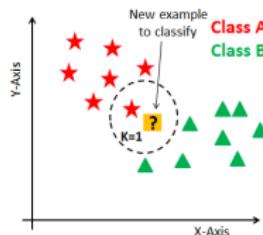
Referencias

## ● Modelos Lineales ( $lm$ )

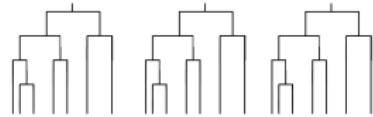
$$Y \approx \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_p X_p$$



## ● Vecinos Cercanos ( $knn$ )



## ● Random Forest ( $rf$ )



## ● Quantile-Quantile (q-q) Mapping

Calibrado de la CDF empírica predicha mediante el ajuste de  $n$  cuantiles según la CDF empírica observada



# Aprendizaje No Supervisado

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

**No Supervisado**

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predictión

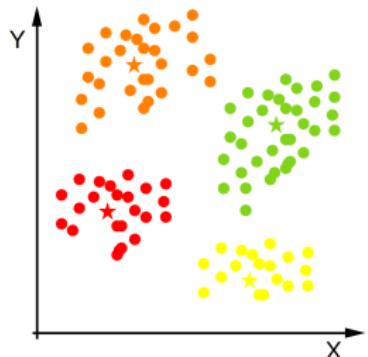
Tendencias

Conclusiones

Referencias

## ● Clustering (k-means)

Agrupamiento de los datos según su afinidad. En k-means se fija el número de centroides  $k$



# Aprendizaje No Supervisado

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predictión

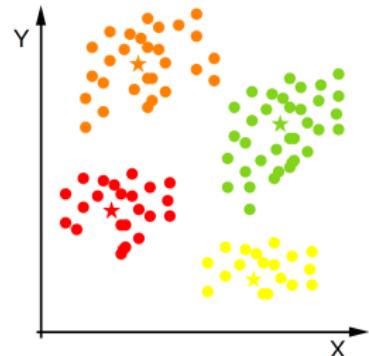
Tendencias

Conclusiones

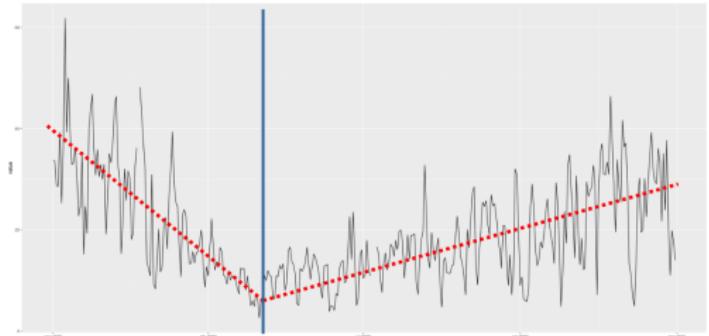
Referencias

## ● Clustering (k-means)

Agrupamiento de los datos según su afinidad. En k-means se fija el número de centroides  $k$



## ● Breakpoints



# Marco de Validación

Jaime Díez

Contaminación  
Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

**Validación**

Resultados

Anomalías

modelos

Predictión

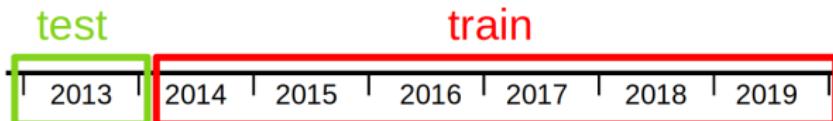
Tendencias

Conclusiones

Referencias

## ● **Validación cruzada**

Se ha utilizado un esquema 7-fold cross validation, siendo cada uno de los 7 subconjuntos de test uno de los años estudiados



# Marco de Validación

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predictión

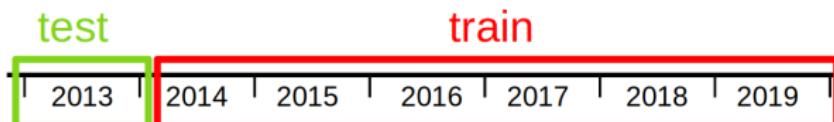
Tendencias

Conclusiones

Referencias

## ● Validación cruzada

Se ha utilizado un esquema 7-fold cross validation, siendo cada uno de los 7 subconjuntos de test uno de los años estudiados



## ● Métricas de Validación

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad bias = \frac{\bar{\hat{y}}_i}{\bar{y}_i} = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{y}_i}{\sum_{i=1}^n y_i}$$

$$\text{ratio de varianza} = \frac{s_{\hat{y}}^2}{s_y^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

$$r_{\hat{y}y} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Se ha utilizado además la correlación con los datos desestacionalizados

# Análisis del Cambio en la Concentración

Jaime Díez

Contaminación  
Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predicción

Tendencias

Conclusiones

Referencias

Se ha realizado el análisis del cambio en los niveles de los contaminantes ( $NO$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$ ,  $PM10$  y  $PM2.5$ ) durante el año 2020 debido a las restricciones derivadas de la pandemia por COVID-19

$$CR_i[\%] = 100 \cdot \frac{C_{i,2020} - C_{i,ref}}{C_{i,ref}}$$

Se han llevado a cabo dos procedimientos distintos para la medida del cambio relativo según la  $C_{ref}$  utilizada.

# 2020 vs 2013-2019 ( $C_{i,ref} = C_{i,2013-2019}$ )

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

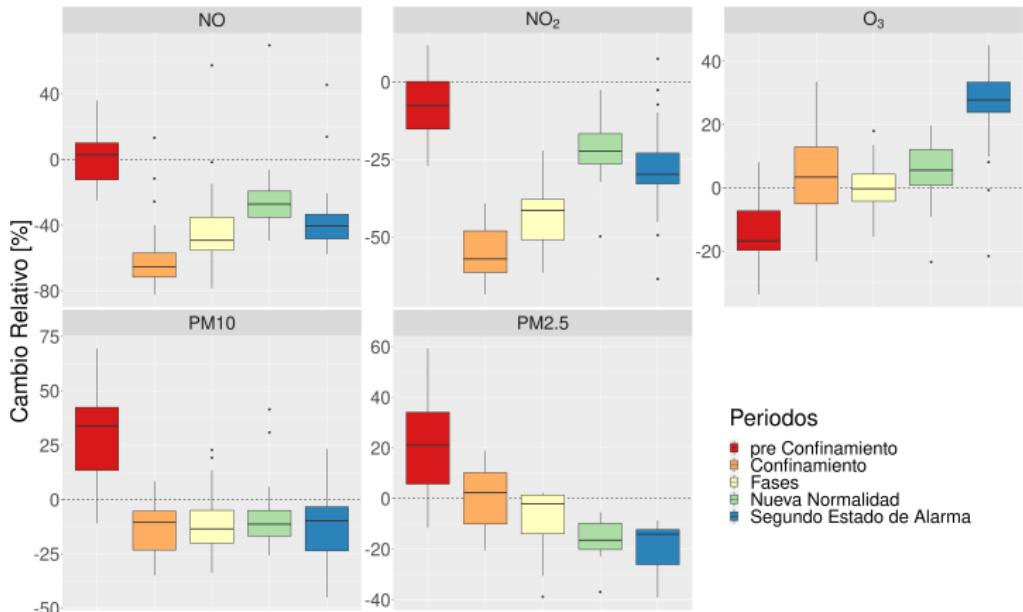
modelos

Predicción

Tendencias

Conclusiones

Referencias



Se observa un patrón claro para los  $NO_x$  con una caída en el confinamiento ( $NO: -60\%$  y  $NO_2:-55.1\%$ ) seguida de un aumento de sus niveles en los siguientes períodos.

# Desarrollo Modelos Predictivos

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

**modelos**

Predictión

Tendencias

Conclusiones

Referencias

Se han seleccionado para el ajuste de los modelos un conjunto de 10 estaciones representativas por cada contaminante.

# Desarrollo Modelos Predictivos

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

**modelos**

Predictión

Tendencias

Conclusiones

Referencias

Se han seleccionado para el ajuste de los modelos un conjunto de 10 estaciones representativas por cada contaminante.

Se han eliminado los valores de las concentraciones de los contaminantes fuera del intervalo  $5IQR$ .

# Desarrollo Modelos Predictivos

Jaime Díez

Contaminación  
Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predicción

Tendencias

Conclusiones

Referencias

Se han seleccionado para el ajuste de los modelos un conjunto de 10 estaciones representativas por cada contaminante.

Se han eliminado los valores de las concentraciones de los contaminantes fuera del intervalo  $5IQR$ .

Se ha estudiado el efecto de la persistencia en los modelos desarrollados añadiendo a las variables meteorológicas del propio día a predecir ( $t = 0$ ) la información meteorológica del día anterior ( $t = [0, 1]$ ), de los dos días previos ( $t = [0, 1, 2]$ ) y de los tres días previos ( $t = [0, 1, 2, 3]$ ).

# Validación Cruzada: *lm*

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

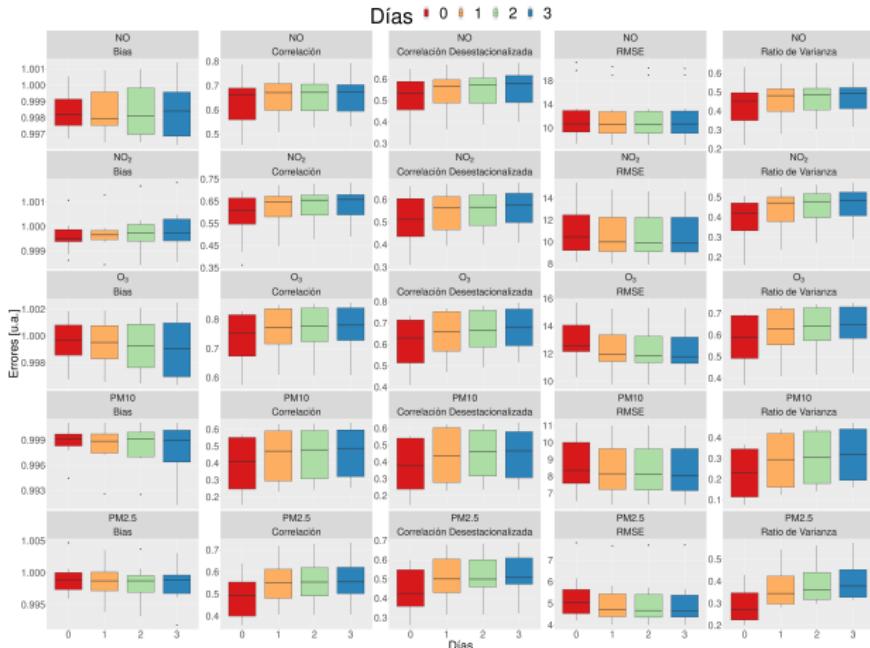
modelos

Predicción

Tendencias

Conclusiones

Referencias



La regresión lineal múltiple obtiene mejores resultados en sus métricas al introducir como predictor la información meteorológica de los días previos.

# Validación Cruzada: *knn*

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

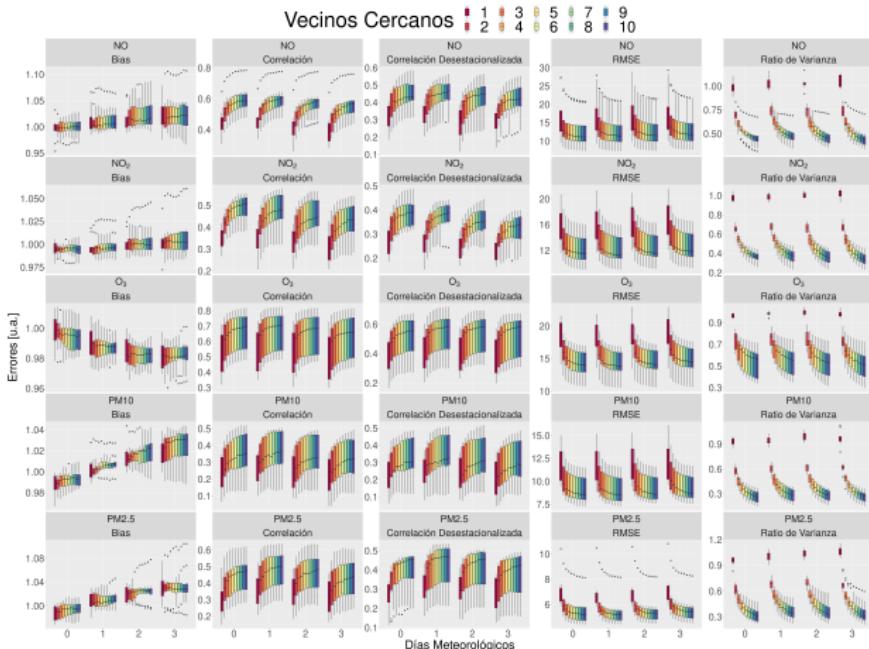
modelos

Predicción

Tendencias

Conclusiones

Referencias



La técnica *knn* no saca provecho del factor de persistencia, tendiendo a empeorar las correlaciones y el bias, pero sí mejora notablemente en términos de RMSE y correlación al aumenter el número de vecinos cercanos.

# Validación Cruzada: $rf$

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

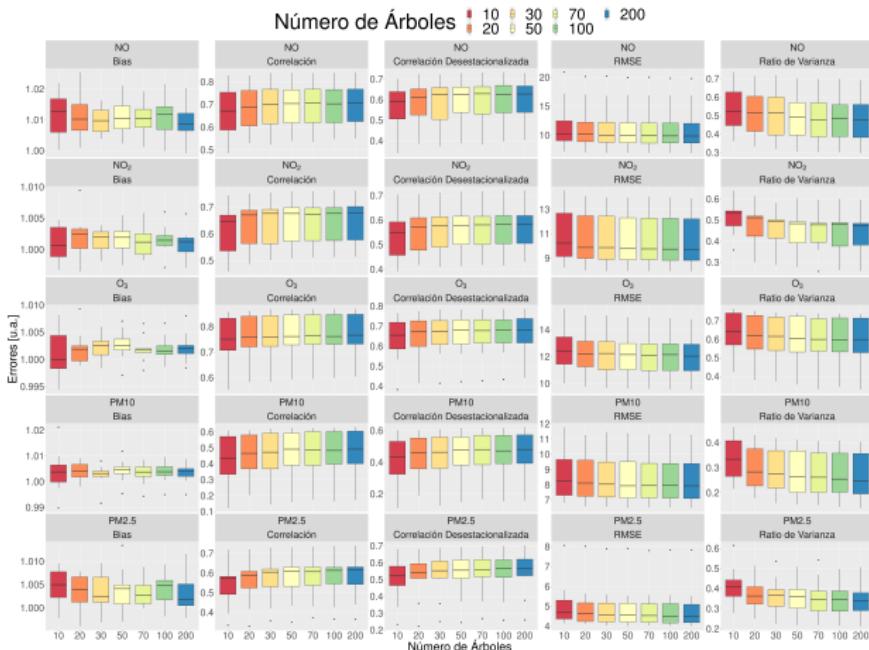
modelos

Predicción

Tendencias

Conclusiones

Referencias



Para el *random forest* no se ha estudiado el efecto de la persistencia, pero sí el de sensibilidad al parámetro *ntree*, obteniendo mejoras para el RMSE y la correlación al aumentar el número de árboles.

# Comparativa entre Técnicas

Se han comparado los mejores modelos obtenidos para cada técnica anterior con y sin post-corrección q-q mapping

Jaime Díez

Contaminación  
Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predicción

Tendencias

Conclusiones

Referencias

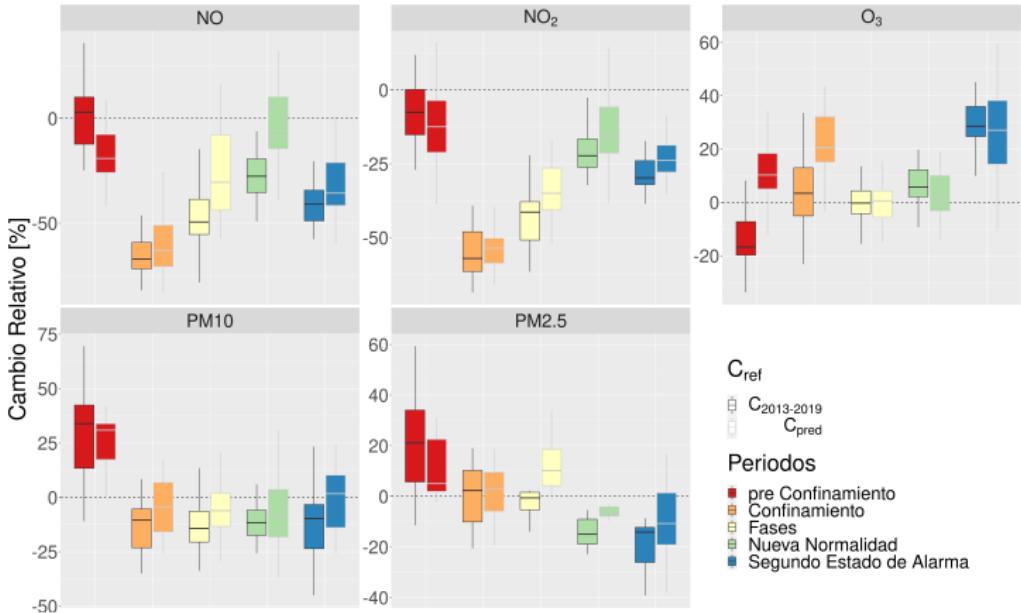


Se han obtenido los mejores resultados para la técnica de regresión lineal múltiple que incluye datos meteorológicos tanto del día a predecir como de los tres días precedentes más un q-q mapping.

# 2020 vs Predicción ( $C_{i,ref} = C_{i,pred}$ )

Jaime Díez

Contaminación  
Principales  
COVID-19  
Objetivos  
Curado  
Meteorología  
Técnicas  
Supervisado  
No Supervisado  
Validación  
Resultados  
Anomalías  
modelos  
**Predicción**  
Tendencias  
Conclusiones  
Referencias

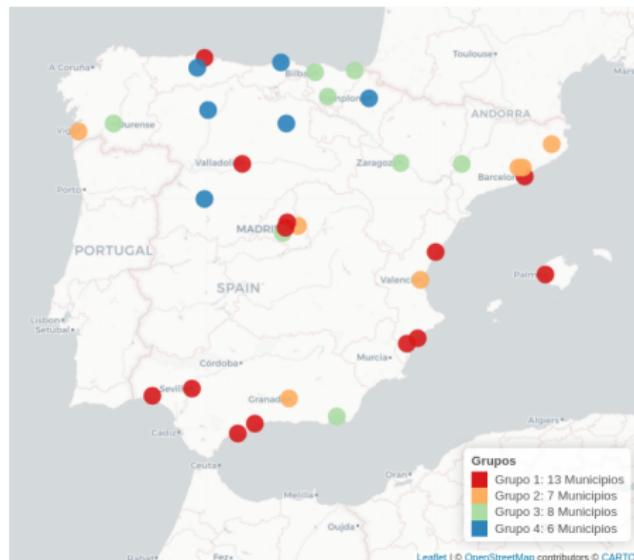


Se obtiene un patrón similar al obtenido para  $C_{i,ref} = C_{i,2013-2019}$  pero con un menor impacto de las restricciones por COVID-19.  
Los valores distintos a 0 durante el *pre Confinamiento* muestran sobreestimación o subestimación del modelo.

# Análisis de Tendencias

Se han estudiado los cambios de tendencia en las series temporales del cambio relativo del  $NO_2$ , realizando para ello un agrupamiento mediante  $k\text{-means}$  de las series temporales de cada municipio con un comportamiento similar.

$k = 4$  centroides



# Análisis de Tendencias

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

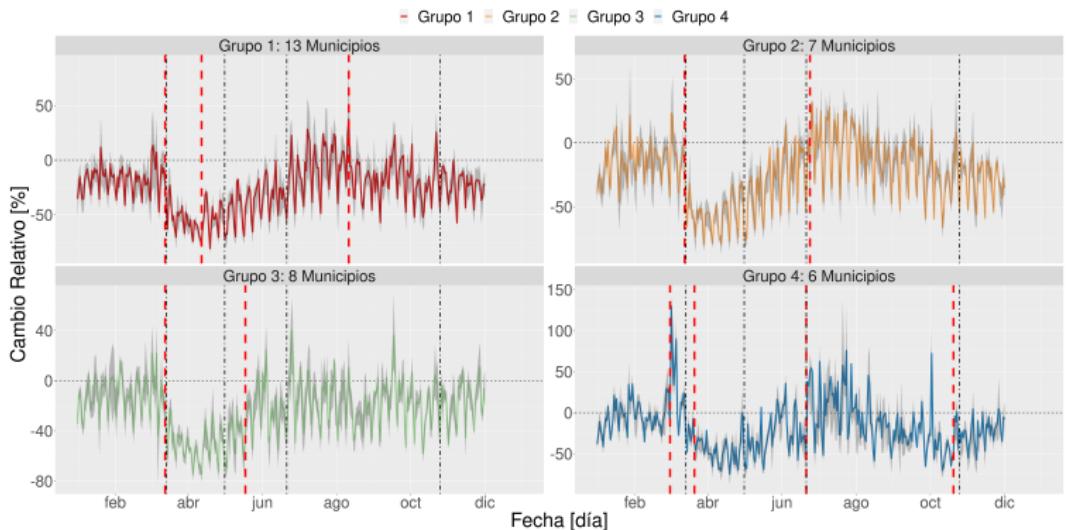
Predicción

Tendencias

Conclusiones

Referencias

Se ha asumido una relación lineal entre el cambio relativo y el día, fijando el número máximo de breakpoints en  $m = 4$  y el tamaño mínimo de cada intervalo en 15 días.



Se ha obtenido un *breakpoint* muy cercano al día en el que se decretó el primer estado de alarma.

# Conclusiones

Jaime Díez

Contaminación  
Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predictión

Tendencias

**Conclusiones**

Referencias

- Se han identificado anomalías notables para los  $NO_x$  con una caída brusca ( $NO: -60.1\%$  y  $NO_2: -55.1\%$ ) durante el período *Confinamiento*.

# Conclusiones

Jaime Díez

Contaminación  
Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predicción

Tendencias

Conclusiones

Referencias

- Se han identificado anomalías notables para los  $NO_x$  con una caída brusca ( $NO: -60.1\%$  y  $NO_2: -55.1\%$ ) durante el período *Confinamiento*.
- Se ha realizado la construcción y validación de varios modelos predictivos para la concentración basados en información meteorológica. El modelo simple de regresión lineal que tiene en cuenta la persistencia en las condiciones meteorológicas proporciona el mejor rendimiento.

# Conclusiones

Jaime Díez

Contaminación  
Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predicción

Tendencias

Conclusiones

Referencias

- Se han identificado anomalías notables para los  $NO_x$  con una caída brusca ( $NO$ : -60.1% y  $NO_2$ : -55.1%) durante el período *Confinamiento*.
- Se ha realizado la construcción y validación de varios modelos predictivos para la concentración basados en información meteorológica. El modelo simple de regresión lineal que tiene en cuenta la persistencia en las condiciones meteorológicas proporciona el mejor rendimiento.
- A partir de las predicciones se pudo constatar un menor impacto de las restricciones derivadas de la pandemia para los  $NO_x$  ( $NO$ : -54.7% y  $NO_2$ : -51.3%).

# Trabajos Futuros

Jaime Díez

Contaminación  
Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predictión

Tendencias

**Conclusiones**

Referencias

- Una posible mejora al modelo podría ser el uso de nuevos predictores añadidos a los ya utilizados: Factores de emisión, cuantificación del tráfico, intrusiones de polvo africano, ...

# Trabajos Futuros

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predictión

Tendencias

Conclusiones

Referencias

- Una posible mejora al modelo podría ser el uso de nuevos predictores añadidos a los ya utilizados: Factores de emisión, cuantificación del tráfico, intrusiones de polvo africano, ...
- Desarrollo de un sistema de alerta temprana de superación de los límites de los contaminantes a partir de predicciones meteorológicas a corto plazo.

# Trabajos Futuros

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías  
modelos

Predicción

Tendencias

Conclusiones

Referencias

- Una posible mejora al modelo podría ser el uso de nuevos predictores añadidos a los ya utilizados: Factores de emisión, cuantificación del tráfico, intrusiones de polvo africano, ...
- Desarrollo de un sistema de alerta temprana de superación de los límites de los contaminantes a partir de predicciones meteorológicas a corto plazo.
- Si se tienen los factores de emisión y número de vehículos se podría desarrollar una herramienta para el estudio del efecto de las políticas de restricción del tráfico en la contaminación urbana.

# Reproducibilidad de los Resultados

Jaime Díez

Contaminación  
Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas  
Supervisado  
No Supervisado  
Validación

Resultados  
Anomalías  
modelos  
Predicción  
Tendencias

Conclusiones

Referencias

Durante este TFM se ha prestado especial atención a la reproducibilidad de los resultados, uno de los factores clave para el adecuado desarrollo del open science. Por ello, todas las herramientas que se han utilizado son de uso libre y accesibles por cualquier usuario.

Debido a que este trabajo se engloba dentro de un proyecto de investigación en desarrollo, se ha restringido el acceso al código del proyecto, que estará disponible de manera pública tras la finalización de este, en un período máximo de 1 año desde la defensa de este TFM.

Este TFM se ha realizado en el marco del proyecto “Contaminación atmosférica y COVID-19: ¿qué podemos aprender de esta pandemia?”, seleccionado en la convocatoria “Ayudas Fundación BBVA a Equipos de Investigación Científica SARS-CoV-2 y COVID-19”, en el área de Ecología y Veterinaria.

# Referencias

Jaime Díez

Contaminación

Principales

COVID-19

Objetivos

Curado

Meteorología

Técnicas

Supervisado

No Supervisado

Validación

Resultados

Anomalías

modelos

Predicción

Tendencias

Conclusiones

Referencias

- GKATZELIS, G. I., GILMAN, J. B., BROWN, S. S., ESKES, H., GOMES, A. R., LANGE, A. C., McDONALD, B. C., PEISCHL, J., PETZOLD, A., THOMPSON, C. R., ET AL. (2021). The global impacts of covid-19 lockdowns on urban air pollution: a critical review and recommendations. 9(1).
- SHI, Z., SONG, C., LIU, B., LU, G., XU, J., VAN VU, T., ELLIOTT, R. J. R., LI, W., BLOSS, W. J., and HARRISON, R. M. (2021). Abrupt but smaller than expected changes in surface air quality attributable to covid-19 lockdowns. 7(3). URL <https://advances.sciencemag.org/content/7/3/eabd6696>.
- VENTER, Z. S., AUNAN, K., CHOWDHURY, S., and LELIEVELD, J. (2020). Covid-19 lockdowns cause global air pollution declines. 117(32):18984–18990. URL <https://www.pnas.org/content/117/32/18984>.