

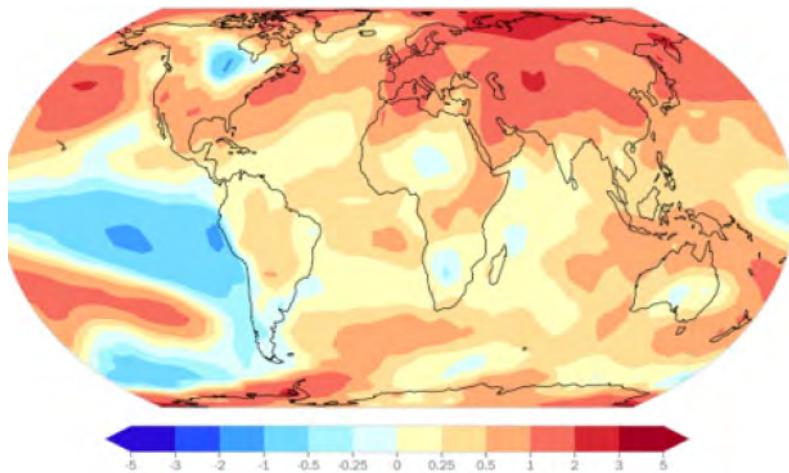
# Ciudades Sostenibles frente al Cambio Climático

**Tecnologías para el Control y Predicción de la Contaminación a nivel Urbano**

Edgar Lorenzo Sáez  
[edlosae@upv.es](mailto:edlosae@upv.es)

## 1. Conceptos previos

### *Cambio Climático*



**Impacto GLOBAL.** Concentración en la Atmósfera. Cambios en las condiciones climáticas. Para monitorear la contribución del transporte por carretera al cambio climático tenemos que monitorear las **Emisiones de GEI**

### *Calidad del aire*



**Impacto LOCAL.** Concentración en el aire que se respira. Implica riesgo, daño o malestar grave para las personas o el medio ambiente. Debemos monitorear la emisión y la **Concentración de contaminantes**

## 2. Objetivos de la Línea de Trabajo

## 2. Objetivos de la Línea de Trabajo

Sistema que permite **controlar la contaminación** con suficiente resolución espacial y temporal, **predecir y simular el impacto** de medidas de movilidad urbana sostenible a fin de **reducir las emisiones GEI y mejorar de la calidad del Aire**.



Monitoreo de  
emisiones



Monitoreo de  
concentración



Predicción



Simulación

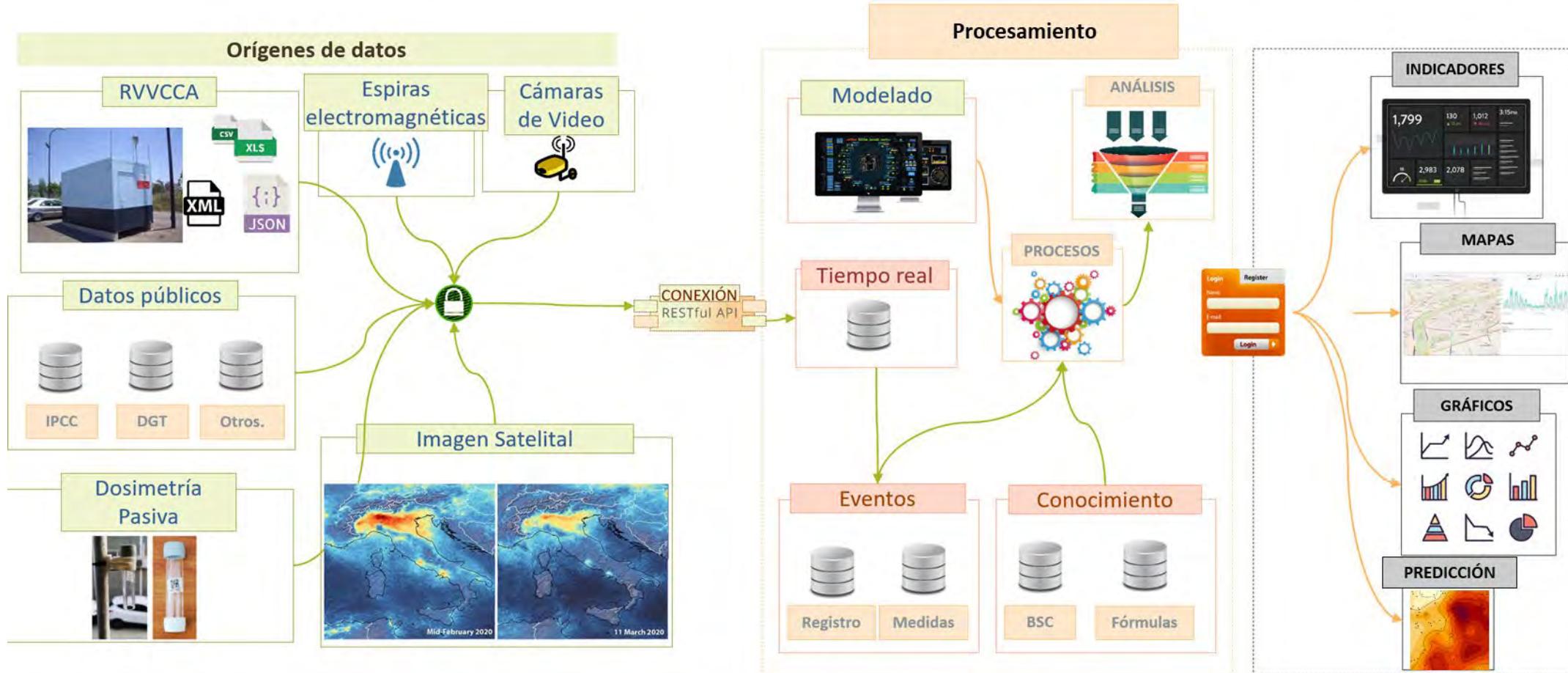


## 2. Objetivos de la Línea de Trabajo

Sistema que permite **controlar la contaminación** con suficiente resolución espacial y temporal, **predecir y simular el impacto** de medidas de movilidad urbana sostenible a fin de **reducir las emisiones GEI y mejorar de la calidad del Aire**.



## 2. Objetivos de la Línea de Trabajo



### 3. Situación actual: Monitoreo de emisiones de GEI

### 3. Situación actual: Monitoreo de emisiones de GEI

- Transporte privado: 60% del total CUANTIFICADO
- Cuantificación de las emisiones de los vehículos **DE Valencia, no EN Valencia**
- Un solo valor para **TODA** la ciudad para todo el **AÑO**

Ámbitos que dependen del Ayuntamiento	Consumos (MWh)	Emisiones (t CO <sub>2</sub> )
<b>Edificios, equipamientos e instalaciones municipales</b>	<b>100.895,25</b>	<b>19.098,01</b>
Consumo de electricidad	92.909,54	17.427,60
Consumo de Gas Natural	6.965,66	1.400,10
Consumo de gasóleo C	1.020,05	270,31
<b>Alumbrado público</b>	<b>74.580,00</b>	<b>13.989,42</b>
<b>Transporte municipal</b>	<b>166.813,14</b>	<b>41.673,06</b>
Consumo de gasolina	72,22	17,48
Consumo de gasóleo	127.197,76	33.707,41
Consumo de gas natural	39.543,16	7.948,17
Consumo de biodiesel (10%)	0,00	0,00
Consumo de biodiesel (20%)	0,00	0,00
<b>Total Ámbitos que dependen del Ayuntamiento</b>	<b>342.288,39</b>	<b>74.760,49</b>

Ámbitos que no dependen del Ayuntamiento	Consumos (MWh)	Emisiones (t CO <sub>2</sub> )
<b>Sector residencial</b>	<b>1.512.474,00</b>	<b>290.784,46</b>
Consumo de electricidad	985.013,00	184.764,80
Consumo de Gas Natural	527.461,00	106.019,66
Consumo de GLP	0,00	0,00
<b>Sector servicios</b>	<b>1.299.962,89</b>	<b>245.409,60</b>
Consumo de electricidad	1.183.174,55	221.935,15
Consumo de Gas Natural	116.788,34	23.474,46
<b>Sector industria</b>	<b>302.509,00</b>	<b>59.600,20</b>
Consumo de electricidad	89.698,00	16.825,19
Consumo de Gas Natural	212.811,00	42.775,01
<b>Transporte privado y comercial</b>	<b>4.375.367,24</b>	<b>1.137.458,73</b>
Consumo de gasolina	957.112,35	231.621,19
Consumo de gasóleo	3.418.254,89	905.837,55

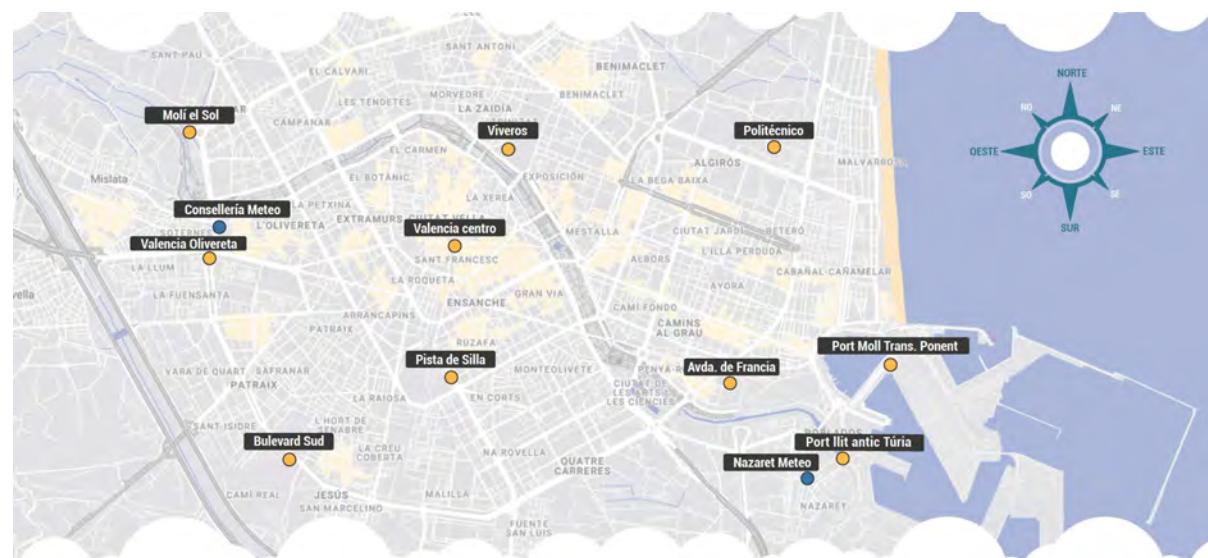
<b>Transporte urbano ferroviario</b>	<b>77.934,91</b>	<b>14.618,72</b>
Consumo de electricidad	77.934,91	14.618,72
<b>Residuos (t) (no energéticas)</b>	<b>328.612,70</b>	<b>90.664,18</b>
Recogida en masa (t)	297.363,93	90.664,18
Vidrio (t)	12.308,24	0,00
Papel y cartón (t)	11.155,84	0,00
Envases (t)	7.784,69	0,00
<b>Total Ámbitos que no dependen del Ayuntamiento</b>	<b>7.568.248,04</b>	<b>1.838.535,90</b>

<b>Total en el municipio</b>	<b>7.910.536,43</b>	<b>1.913.296,39</b>
------------------------------	---------------------	---------------------

### 3. Situación actual: Control de contaminantes que afectan a la calidad del aire



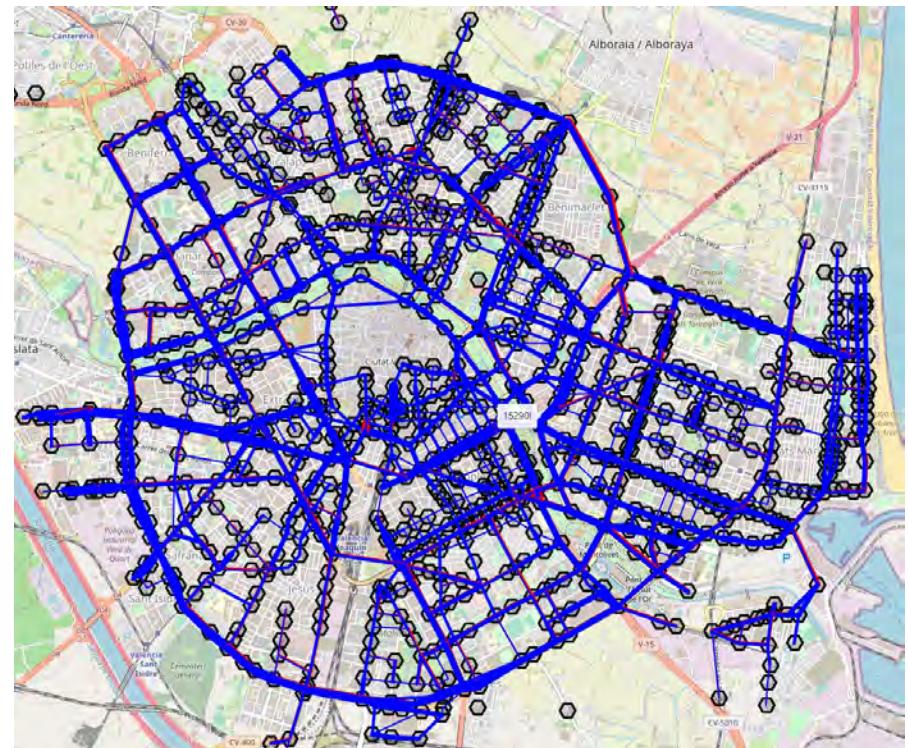
Estación de Calidad del Aire, Campus de Vera UPV



- Concentración - Sin posibilidad de individualizar el foco de emisión.
- Dificultad para definir estrategia de mitigación y mejora Calidad del aire.
- Dificultad de monitorear el impacto de las medidas.

## 4. Monitoreo de Emisiones GEI y otros contaminantes que afectan a la calidad del aire

## 4. Monitoreo de Emisiones GEI y otros contaminantes que afectan a la calidad del aire



## 4. Monitoreo de Emisiones GEI y otros contaminantes que afectan a la calidad del aire

*Emissions = Activity Data × Emission Factor*

$$Emissions = \left( \sum_{s=1}^N ITA_s \times l_s \right) \times \left( \sum_v \rho_v \sum_g EF_{v,g} \times GWP_g \right)$$

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102643>

## 4. Monitoreo de Emisiones GEI y otros contaminantes que afectan a la calidad del aire

Factor de emisión por categoría

- **Tipología de vehículo**
- **Tipología de combustible**
- **Normativa Emisiva (EURO)**

$$EF = \frac{EC}{CV} \times RATIO = FC \times RATIO$$

EF: Emission Factor (g CO<sub>2</sub>/km).

EC: Energy Consumption (MJ/km),

CV: Calorific Value of fuel (MJ/kg fuel),

RATIO: Fuel emissions (g CO<sub>2</sub>/kg fuel)

FC: Fuel consumption (kg fuel/km)



“1.A.3.b.i-iv Road Transport Appendix 4 Emission Factors 2022”

Vehicle type	Technological regulation	Fuel type
Passenger cars	Conventional	Diesel
Light commercial vehicles	ECE-15.14 and previous	Petrol
Light trucks	Euro 1, 2, 3, 4, 5, 6-2016, 7-2017 and later	Biomethane
Heavy trucks	Euro I, II, III, IV, V, VI-2016, VI-2017 and later	Butane
Buses	Euro I, II, III, IV, V, VI-2016, VI-2017 and later	Ethanol
Motorcycles		Petroleum Liquid Gas (PLG),
Mopeds		Compressed Natural Gas (CNG), Liquefied Natural Gas (LNG)
		Electric and hybrid
		Hydrogen

## 4. Monitoreo de Emisiones GEI y otros contaminantes que afectan a la calidad del aire

Example:  
Valencia  
140  
categories

Tipología de Vehículo	Combustible	Normativa	CO	VOC	NOx	PM	NMVOC	EC (MJ/km)	SO2	NH3	Pb	CH4	N2O	CO2	CO2eq
AUTOBUSES	Diesel	Euro V	0.223	0.027	3.090	0.046	0.022	12.850	0.024	0.011	1.54E-05	0.005	0.030	964.235	972.279
AUTOBUSES	Diesel	Euro VI	0.223	0.027	0.597	0.002	0.022	12.850	0.004	0.009	1.54E-05	0.005	0.037	831.875	841.827
CAMIONES HASTA 3500kg	Diesel	Euro 3	0.273	0.097	0.871	0.041	0.094	1.960	0.047	0.001	4.17E-06	0.003	0.009	264.844	267.313
CAMIONES HASTA 3500kg	Diesel	Euro 6	0.000	0.035	0.903	0.000	0.035	1.960	0.001	0.002	4.17E-06	0.000	0.004	239.398	240.458
CAMIONES MÁS DE 3500kg	Diesel	Euro V	0.200	0.008	1.218	0.011	0.005	3.615	0.020	0.011	5.17E-06	0.003	0.017	783.876	788.454
CAMIONES MÁS DE 3500kg	Diesel	Euro VI	0.062	0.008	0.109	0.001	0.005	3.545	0.004	0.090	5.17E-06	0.003	0.017	772.976	777.554
CICLOMOTORES	Gasolina	Euro 2	2.800	2.584	0.170	0.026	2.560	0.875	0.049	0.001	1.10E-05	0.024	0.001	97.260	98.200
FURGONETAS	Diesel	Euro 4	0.375	0.036	0.831	0.041	0.035	1.960	0.007	0.001	4.17E-06	0.001	0.009	266.728	269.144
FURGONETAS	Diesel	Euro 5	0.075	0.035	1.150	0.001	0.035	1.960	0.007	0.002	4.17E-06	0.000	0.004	260.498	261.558
FURGONETAS	Diesel	Euro 6	0.075	0.035	0.960	0.001	0.035	1.960	0.001	0.002	4.17E-06	0.000	0.004	239.398	240.458
MOTOCICLETAS	Gasolina	Euro 4	2.730	0.786	0.280	0.010	0.806	0.880	0.003	0.002	5.74E-07	0.020	0.002	112.340	113.422
MOTOCICLETAS	Gasolina	Euro 5	2.730	0.786	0.280	0.010	0.806	0.880	0.003	0.002	5.74E-07	0.020	0.002	107.750	108.832
TURISMOS	Diesel	Euro 3	0.076	0.023	0.682	0.028	0.020	1.960	0.032	0.001	1.82E-05	0.003	0.007	181.064	183.003
TURISMOS	Diesel	Euro 4	0.060	0.015	0.471	0.027	0.014	1.960	0.005	0.001	1.82E-05	0.001	0.010	177.378	180.059
TURISMOS	Diesel	Euro 5	0.040	0.008	0.537	0.000	0.008	1.960	0.004	0.002	1.82E-05	0.000	0.004	172.838	173.900
TURISMOS	Diesel	Euro 6	0.032	0.008	0.442	0.000	0.008	1.960	0.001	0.002	1.82E-05	0.000	0.004	156.638	157.700
TURISMOS	Gasolina	Euro 5	0.250	0.068	0.025	0.000	0.065	2.458	0.005	0.012	1.82E-05	0.003	0.001	207.948	208.373
TURISMOS	Gasolina	Euro 6	0.220	0.068	0.025	0.000	0.065	2.458	0.001	0.012	1.82E-05	0.003	0.001	199.278	199.703

Dos escenarios  
de aplicación

1

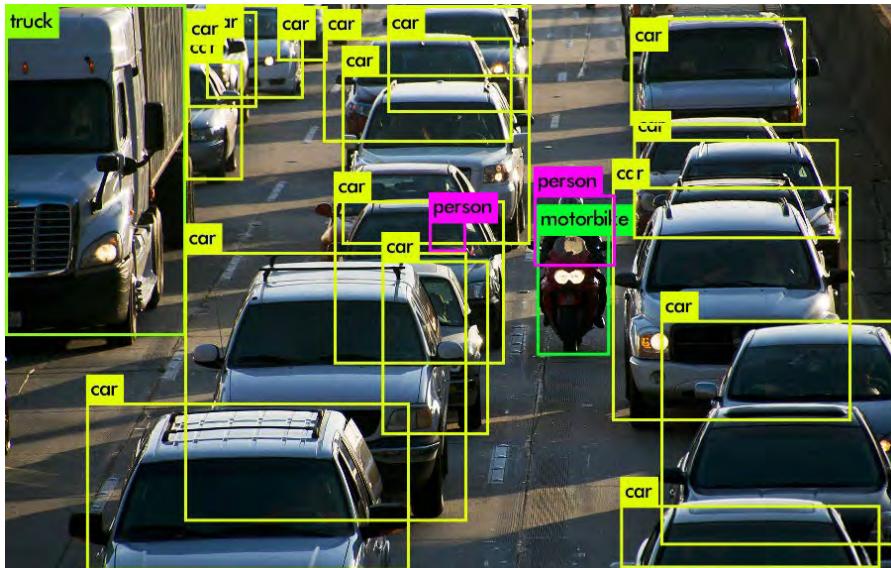
**Si conocemos** el tipo de vehículo detectado por la espira

2

**No conocemos** el tipo de vehículo detectado por la espira

## 4. Monitoreo de Emisiones GEI y otros contaminantes que afectan a la calidad del aire

Escenario 1



## 4. Monitoreo de Emisiones GEI y otros contaminantes que afectan a la calidad del aire

Escenario

2

Tipología de Vehículo	Combustible	Normativa	Número	km recorridos	% urbano	CO	VOC	NOx	PM	NMVOC	EC (MJ/km)	SO2	NH3	Pb	CH4	N2O	CO2	CO2eq
AUTOBUSES	Diesel	Euro V	83	27987	100.00	0.223	0.027	3.090	0.046	0.022	12.850	0.024	0.011	1.54E-05	0.005	0.030	964.235	972.279
AUTOBUSES	Diesel	Euro VI	104	27987	100.00	0.223	0.027	0.597	0.002	0.022	12.850	0.004	0.009	1.54E-05	0.005	0.037	831.875	841.827
CAMIONES HASTA 3500kg	Diesel	Euro 3	6522	30000	78.00	0.273	0.097	0.871	0.041	0.094	1.960	0.047	0.001	4.17E-06	0.003	0.009	264.844	267.313
CAMIONES HASTA 3500kg	Diesel	Euro 6	999	30000	78.00	0.000	0.035	0.903	0.000	0.035	1.960	0.001	0.002	4.17E-06	0.000	0.004	239.398	240.458
CAMIONES MÁS DE 3500kg	Diesel	Euro V	285	70000	24.90	0.200	0.008	1.218	0.011	0.005	3.615	0.020	0.011	5.17E-06	0.003	0.017	783.876	788.454
CAMIONES MÁS DE 3500kg	Diesel	Euro VI	225	70000	24.90	0.062	0.008	0.109	0.001	0.005	3.545	0.004	0.090	5.17E-06	0.003	0.017	772.976	777.554
CICLOMOTORES	Gasolina	Euro 2	10361	2067	100.00	2.800	2.584	0.170	0.026	2.560	0.875	0.049	0.001	1.10E-05	0.024	0.001	97.260	98.200
FURGONETAS	Diesel	Euro 4	3224	30000	78.00	0.375	0.036	0.831	0.041	0.035	1.960	0.007	0.001	4.17E-06	0.001	0.009	266.728	269.144
FURGONETAS	Diesel	Euro 5	3111	30000	78.00	0.075	0.035	1.150	0.001	0.035	1.960	0.007	0.002	4.17E-06	0.000	0.004	260.498	261.558
FURGONETAS	Diesel	Euro 6	2885	30000	78.00	0.075	0.035	0.960	0.001	0.035	1.960	0.001	0.002	4.17E-06	0.000	0.004	239.398	240.458
MOTOCICLETAS	Gasolina	Euro 4	18484	3403	73.70	2.730	0.786	0.280	0.010	0.806	0.880	0.003	0.002	5.74E-07	0.020	0.002	112.340	113.422
MOTOCICLETAS	Gasolina	Euro 5	21419	3403	73.70	2.730	0.786	0.280	0.010	0.806	0.880	0.003	0.002	5.74E-07	0.020	0.002	107.750	108.832
TURISMOS	Diesel	Euro 3	32208	17916	68.80	0.076	0.023	0.682	0.028	0.020	1.960	0.032	0.001	1.82E-05	0.003	0.007	181.064	183.003
TURISMOS	Diesel	Euro 4	64234	17916	68.80	0.060	0.015	0.471	0.027	0.014	1.960	0.005	0.001	1.82E-05	0.001	0.010	177.378	180.059
TURISMOS	Diesel	Euro 5	36655	17916	68.80	0.040	0.008	0.537	0.000	0.008	1.960	0.004	0.002	1.82E-05	0.000	0.004	172.838	173.900
TURISMOS	Diesel	Euro 6	23422	17916	68.80	0.032	0.008	0.442	0.000	0.008	1.960	0.001	0.002	1.82E-05	0.000	0.004	156.638	157.700
TURISMOS	Gasolina	Euro 5	21900	11723	30.50	0.250	0.068	0.025	0.000	0.065	2.458	0.005	0.012	1.82E-05	0.003	0.001	207.948	208.373
TURISMOS	Gasolina	Euro 6	39279	11723	30.50	0.220	0.068	0.025	0.000	0.065	2.458	0.001	0.012	1.82E-05	0.003	0.001	199.278	199.703

CO	VOC	NOx	PM	NMVOC	EC (MJ/km)	SO2	NH3	Pb	CH4	N2O	CO2	CO2eq
1.352	0.310	0.708	0.037	0.302	2.109	0.067	0.006	0.000	0.014	0.006	211.526	213.620
Factor de emisión del parque tipo (g/km)												

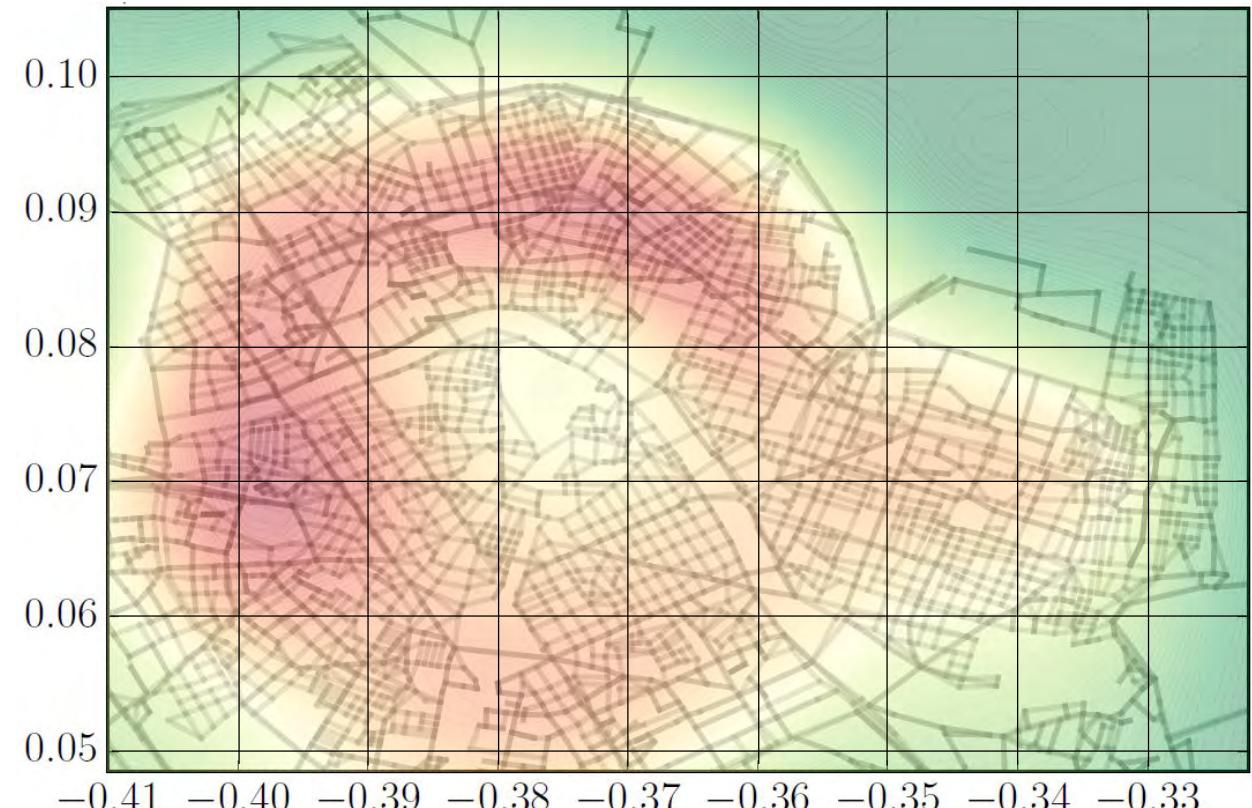
## 4. Monitoreo de Emisiones GEI y otros contaminantes que afectan a la calidad del aire

1. Categorización de los tramos existentes (número carriles, tipo de vía, etc.):
  - Monitoreados
  - Sin monitorear

2. Cálculo de emisiones por tramo monitoreado

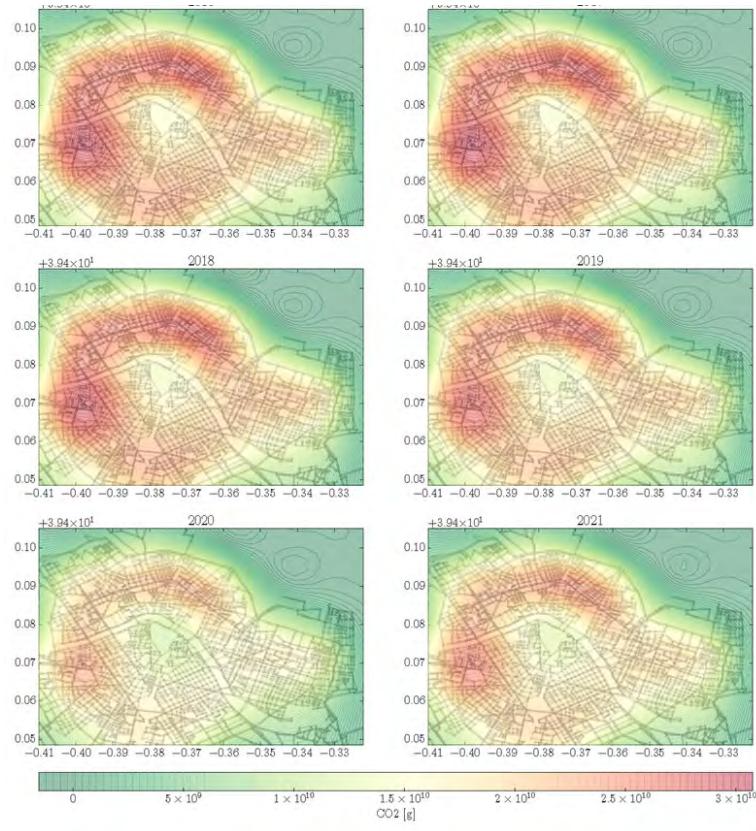
$$E = \left( \sum_{s=1}^N ITA_s \times l_s \right) \times \left( \sum_v \rho_v \sum_g EF_{v,g} \times GWP_g \right)$$

3. Extrapolación tramos monitoreados del cuadrante y colindantes a los NO-Monitoreados (CADA VENTANA DE TIEMPO)



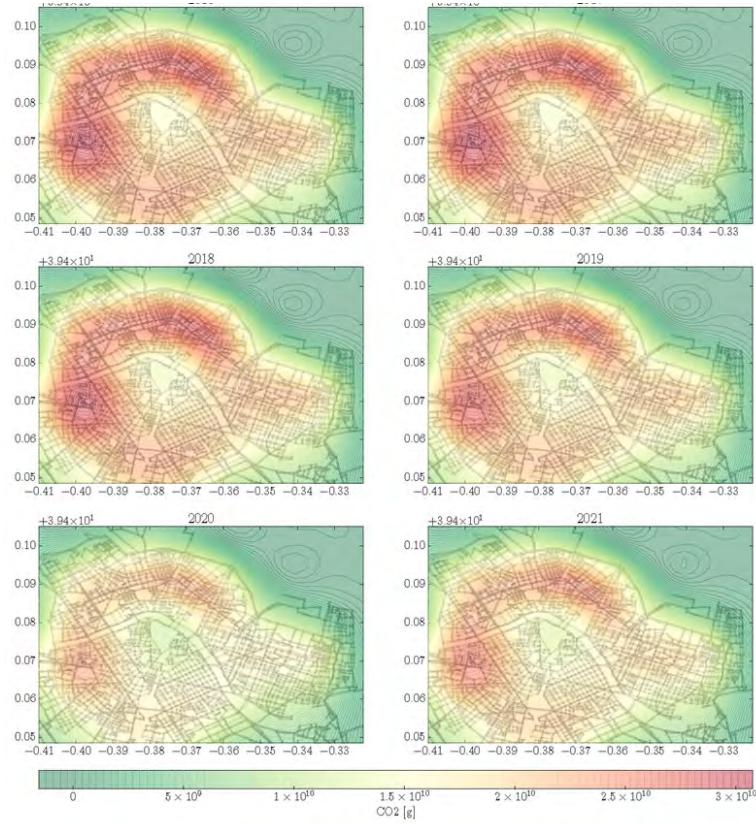
<https://doi.org/10.1016/j.apr.2025.102600>

## 4. Monitoreo de Emisiones GEI y otros contaminantes que afectan a la calidad del aire

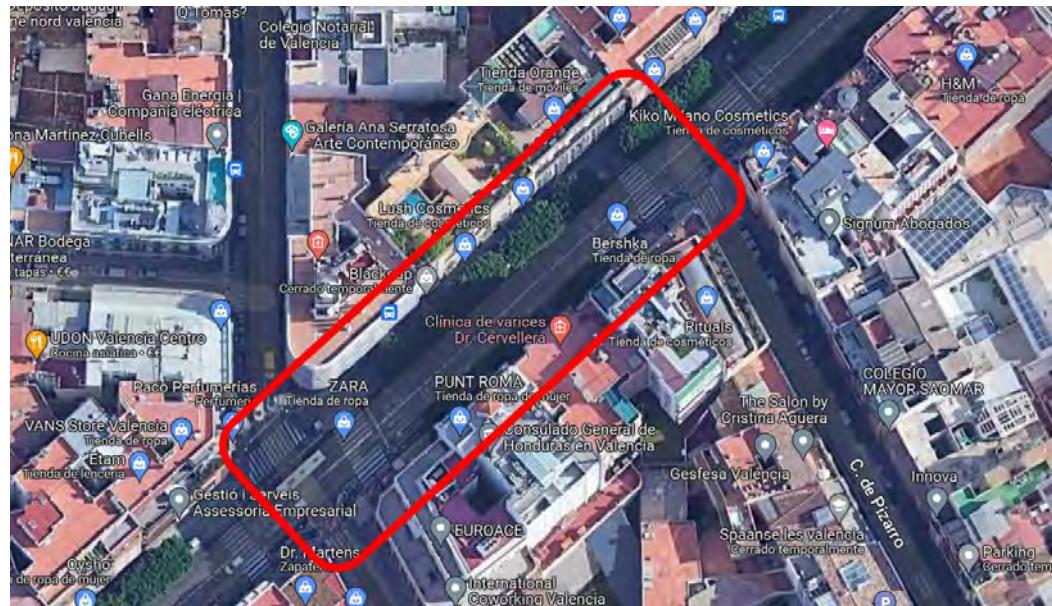


- **Monitorear una única zona de implantación (incluso un único tramo de vía p.e C/Colón). Y evaluar si la medida ha desplazado las emisiones a otra área.**
- **Monitorear el impacto de una medida con variabilidad temporal.** Por ejemplo, el impacto de una restricción de tráfico (LEZ) durante una ventana de tiempo (por ejemplo, de 9 a. m. a 6 p. m.). **Y evaluar si la medida ha desplazado las emisiones a otro período de tiempo.**
- Calcular la línea base con **alta resolución espacial y temporal**. (Para implementar medidas específicas).
- Esta metodología permite utilizar **datos históricos para evaluar los impactos de medidas pasadas**: Carriles bici, Peatonalización de áreas, Reducción del límite de velocidad, BRT, Mejorar de servicio de TP, ZBE, etc.

## 4. Monitoreo de Emisiones GEI y otros contaminantes que afectan a la calidad del aire

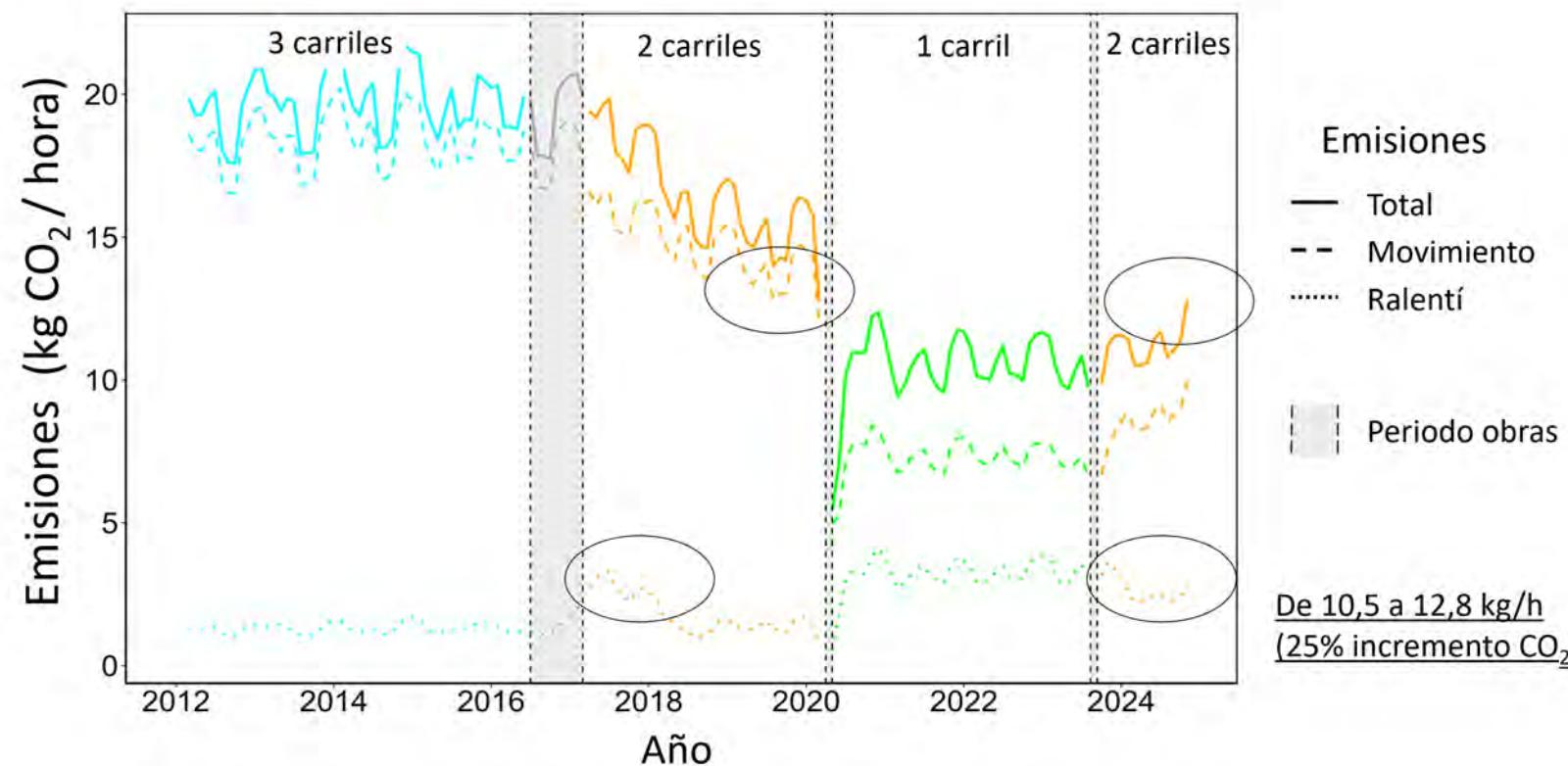


- **Monitorear una única zona de implantación (incluso un único tramo de vía p.e C/Colón). Y evaluar si la medida ha desplazado las emisiones a otra área.**

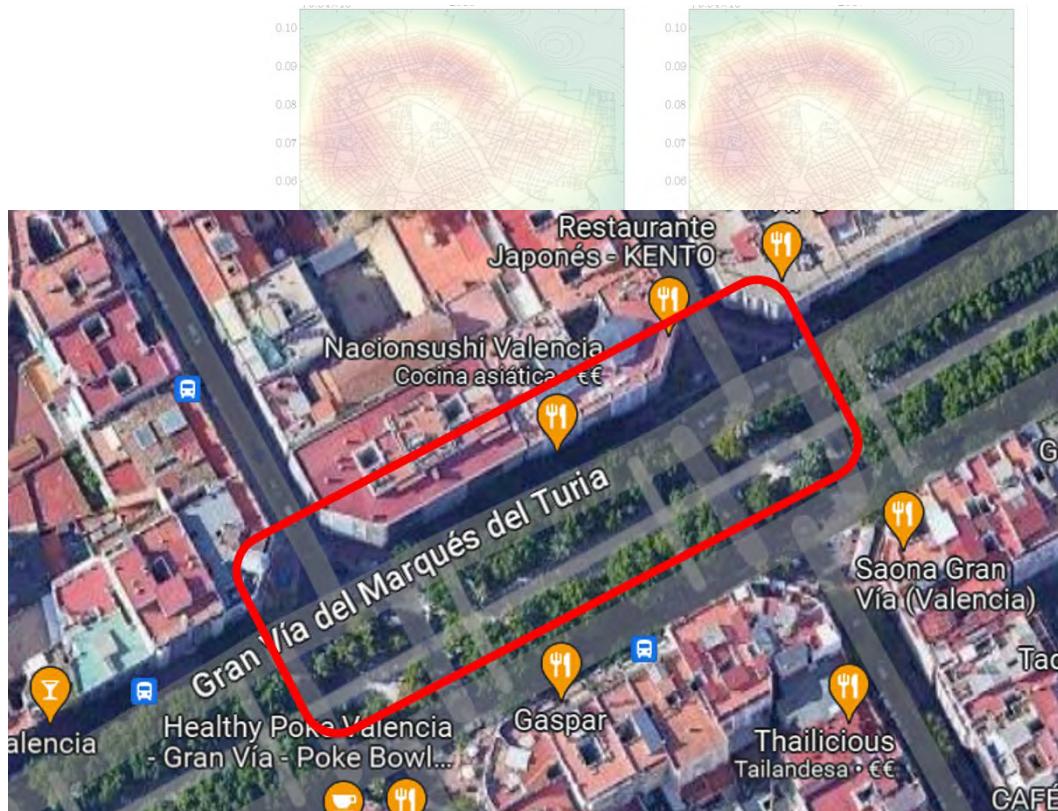


## 4. Monitoreo de Emisiones GEI y otros contaminantes que afectan a la calidad del aire

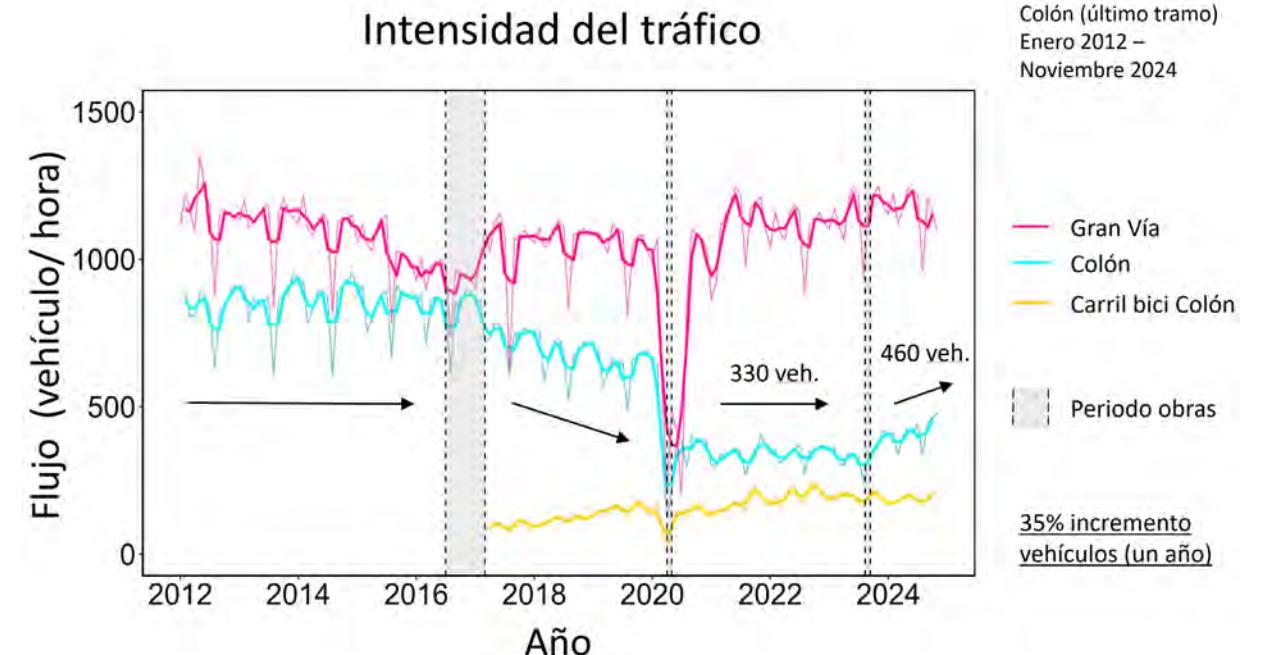
### Emisiones del tráfico



## 4. Monitoreo de Emisiones GEI y otros contaminantes que afectan a la calidad del aire



- **Monitorear una única zona de implantación (incluso un único tramo de vía p.e C/Colón). Y evaluar si la medida ha desplazado las emisiones a otra área.**



## 5. Monitoreo de Concentración de Contaminantes que afectan a la Calidad del Aire

## 5. Monitoreo de Concentración de Contaminantes que afectan a la Calidad del Aire

### Problemática Actual



Estación de Calidad del Aire, Campus de Vera UPV



## 5. Monitoreo de Concentración de Contaminantes que afectan a la Calidad del Aire

- Despliegue de **red complementaria** de Sensores de Dosimetría Pasiva de NO<sub>2</sub>

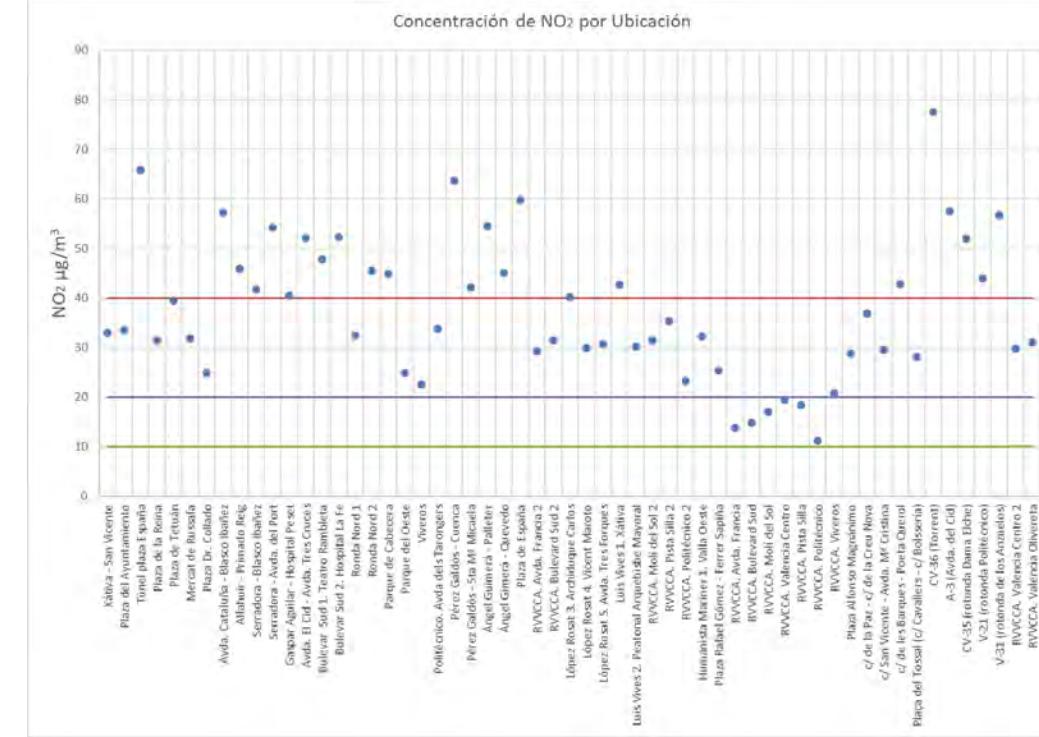
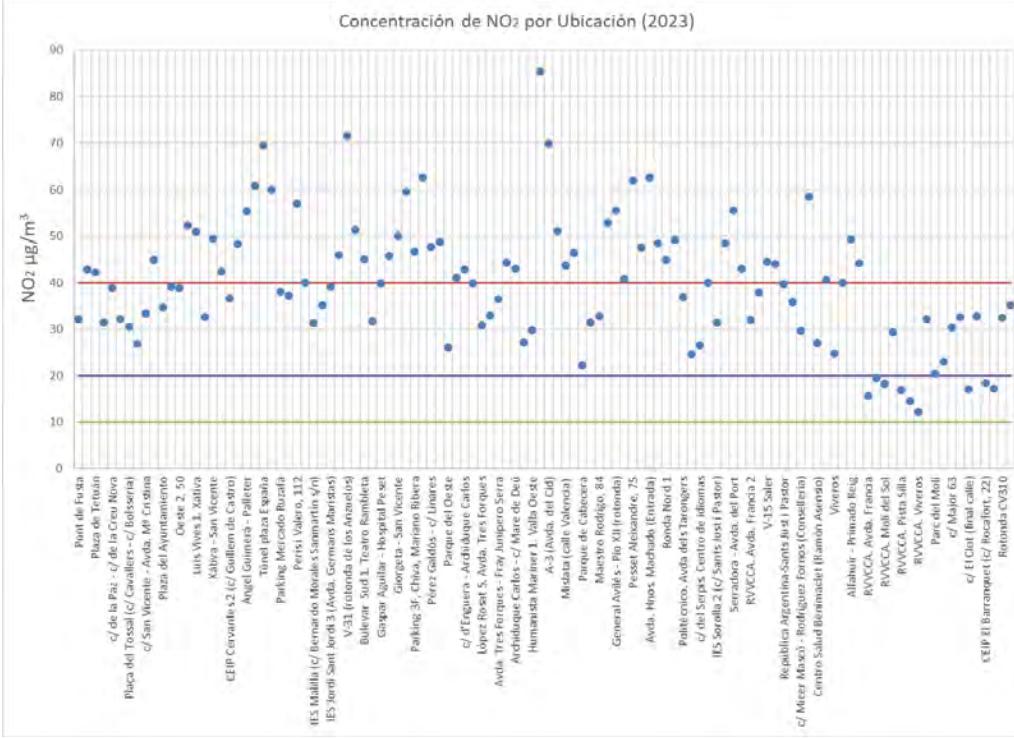


1. Centre ciutat (Plaça Ajuntament)
2. Entradas y salidas (Av. Catalunya - Blasco Ibáñez)
3. Parcs (Parc Polífilo)
4. Parc infantil (Parc carrer Marva-Albacete)
5. Centre escolar (CEIP López Rosat)
6. Trànsits (Av. Cid)



<https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe435>

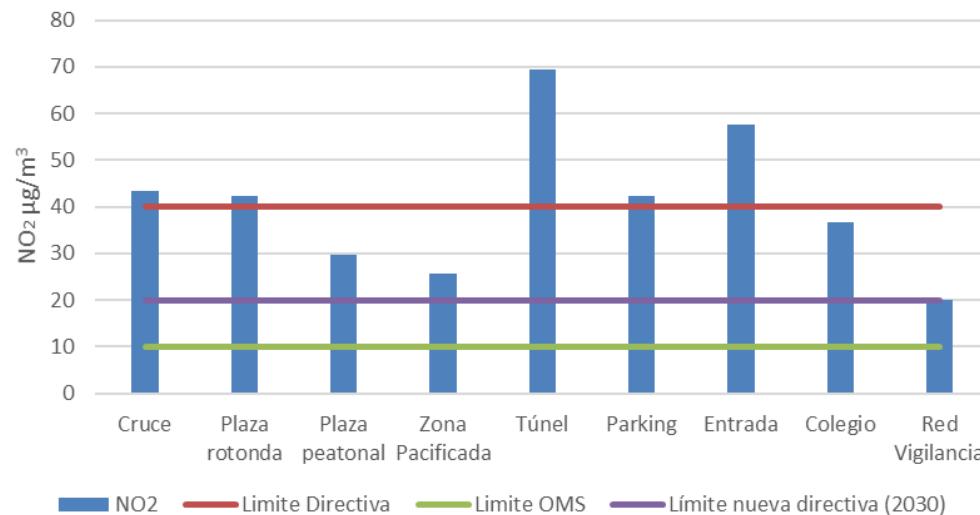
## 5. Monitoreo de Concentración de Contaminantes que afectan a la Calidad del Aire



<https://predatics.es/wp-content/uploads/2025/09/Informe-dosimetría-PREDATICS-1.pdf>

## 5. Monitoreo de Concentración de Contaminantes que afectan a la Calidad del Aire

Concentración media de NO<sub>2</sub> según caracterización (2023)

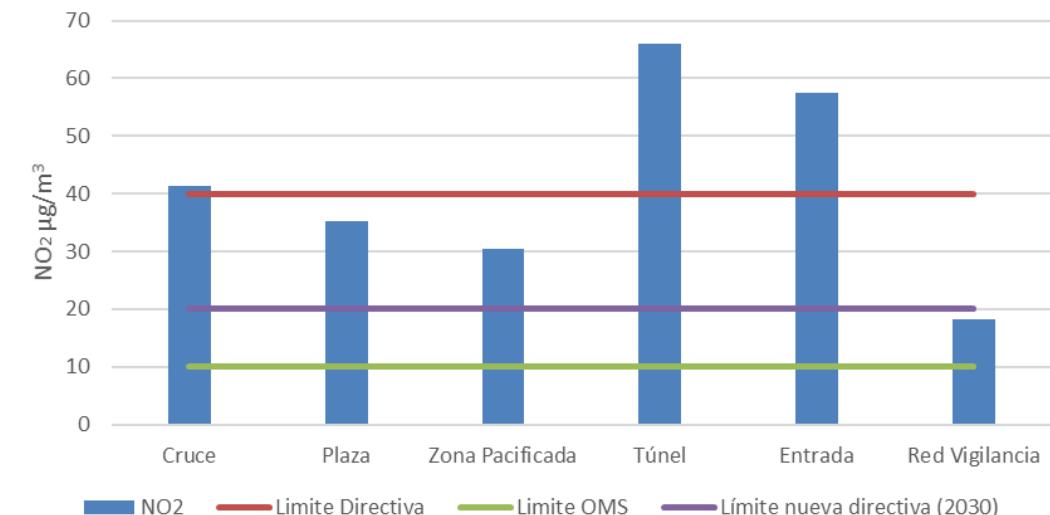


Límite Actual Directiva

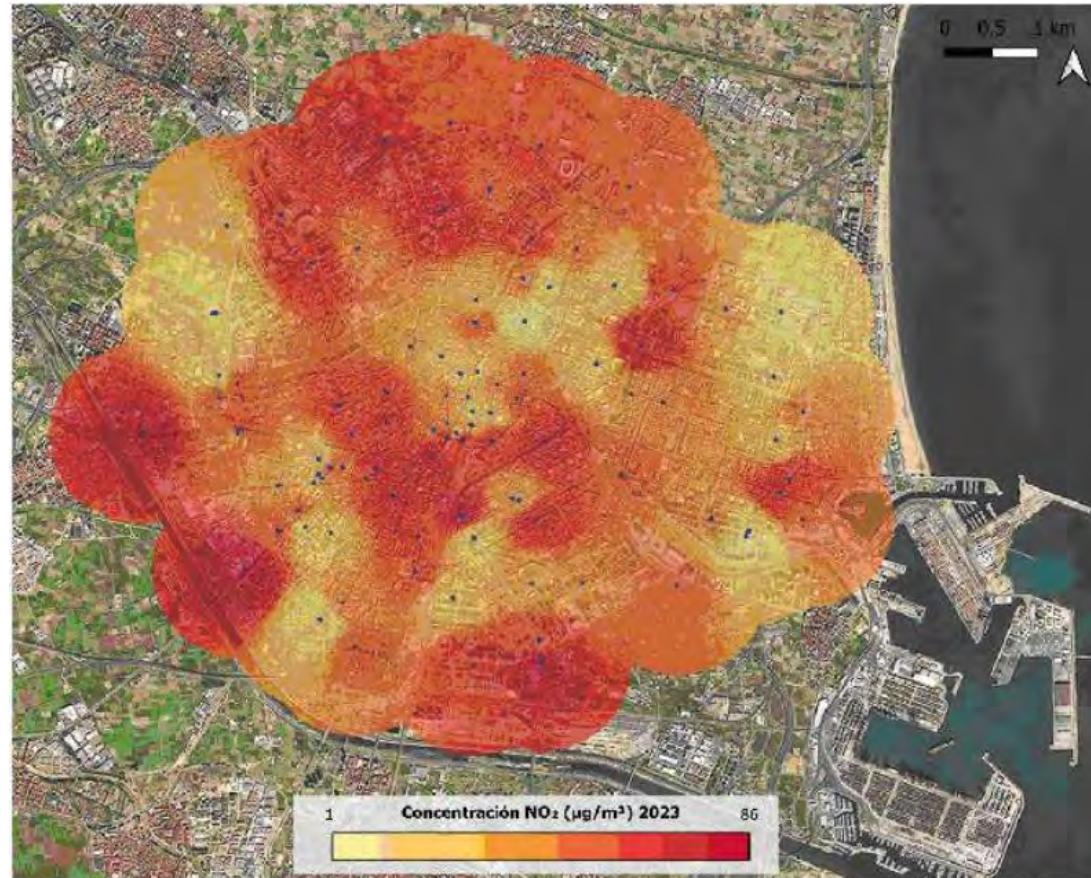
Límite Nueva Directiva

Límite OMS

Concentración media de NO<sub>2</sub> según caracterización (2024)



## 5. Monitoreo de Concentración de Contaminantes que afectan a la Calidad del Aire



Dependencia de  
campañas costosas y con  
poca resolución temporal

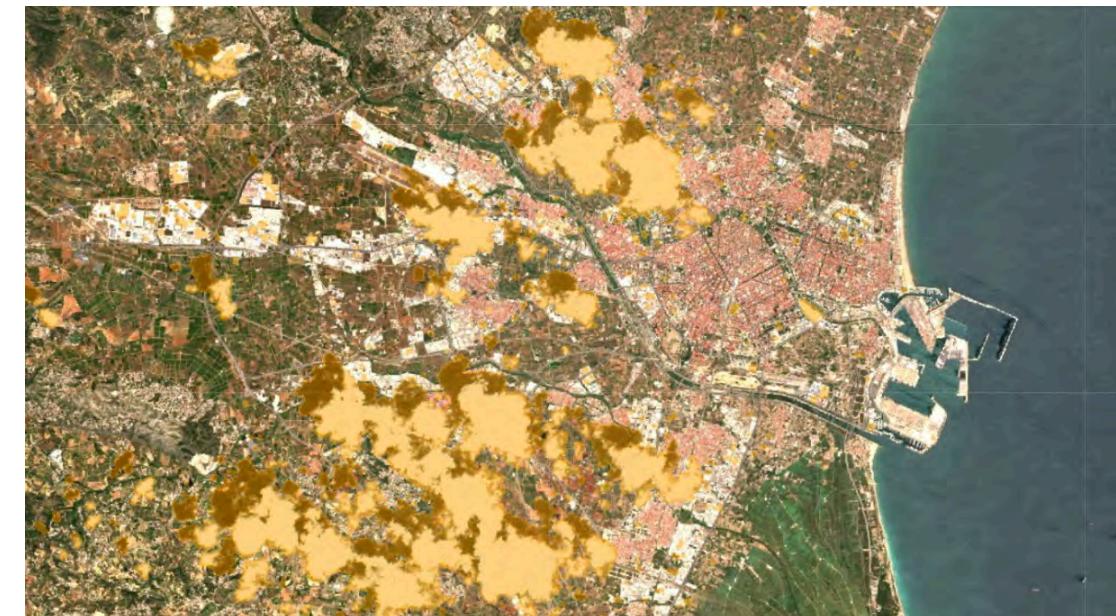
<https://predatics.es/wp-content/uploads/2025/09/Informe-dosimetría-PREDATICS-1.pdf>

## 5. Monitoreo de Concentración de Contaminantes que afectan a la Calidad del Aire

- **Monitoreo de la calidad del aire en base a Imagen Satélite (Sentinel 2) con una resolución de pixel de 60m**

### 1. Filtrado y Correcciones en Imágenes

- Enmascaramiento:  
QA60, Cloud Probability, S2Cloudless
- Determinación de la reflectancia superficial:  
Método LaSRC



## 5. Monitoreo de Concentración de Contaminantes que afectan a la Calidad del Aire

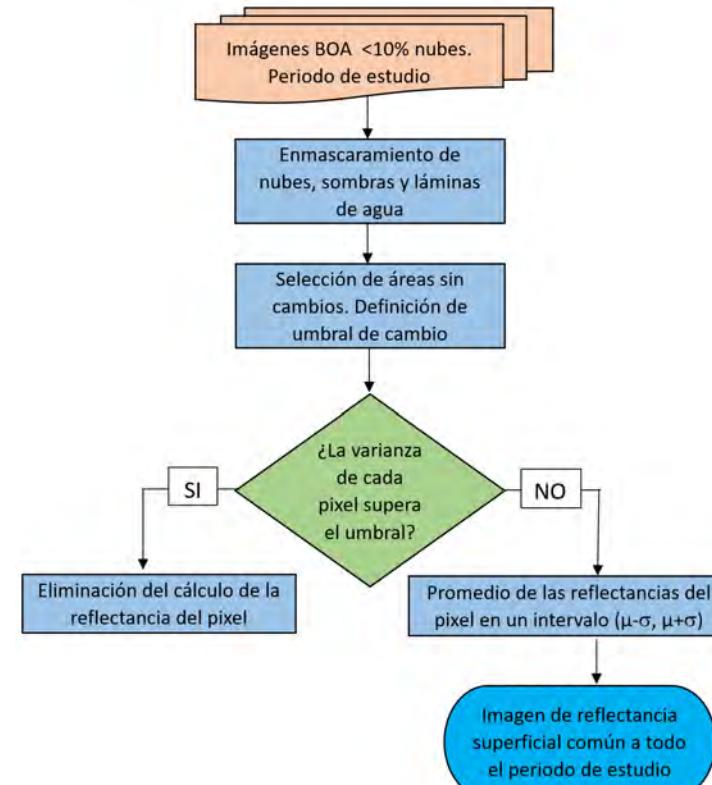
- Monitoreo de la calidad del aire en base a Imagen Satélite (Sentinel 2) con una resolución de pixel de 60m

### 1. Filtrado y Correcciones en Imágenes

- Enmascaramiento:  
QA60, Cloud Probability, S2Cloudless
- Determinación de la reflectancia superficial:  
Método LaSRC

### 2. Generación de Look-up Tables (LUTs)

- Modelo radiativo 6SV para condiciones atmosféricas por imagen: creación de LUTs
- Parámetros atmosféricos personalizados por imagen: SZA, VZA, AOT, SSA, ALPHA
- Obtención de dos LUT (bandas coastl y roja) por imagen



## 5. Monitoreo de Concentración de Contaminantes que afectan a la Calidad del Aire

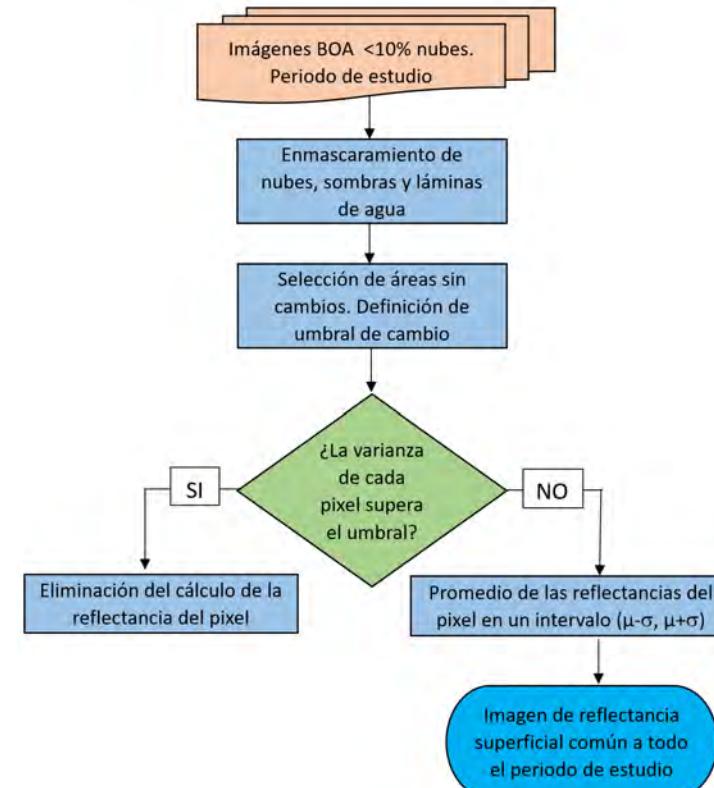
- Monitoreo de la calidad del aire en base a Imagen Satélite (Sentinel 2) con una resolución de pixel de 60m

### 3. Estimación del AOD y Validación

- Cálculo a 550 nm con reflectancia simulada vs. observada
- Interpolación bilineal para AOD final
- Validación con datos AERONET (estaciones de Burjassot y El Palmar).

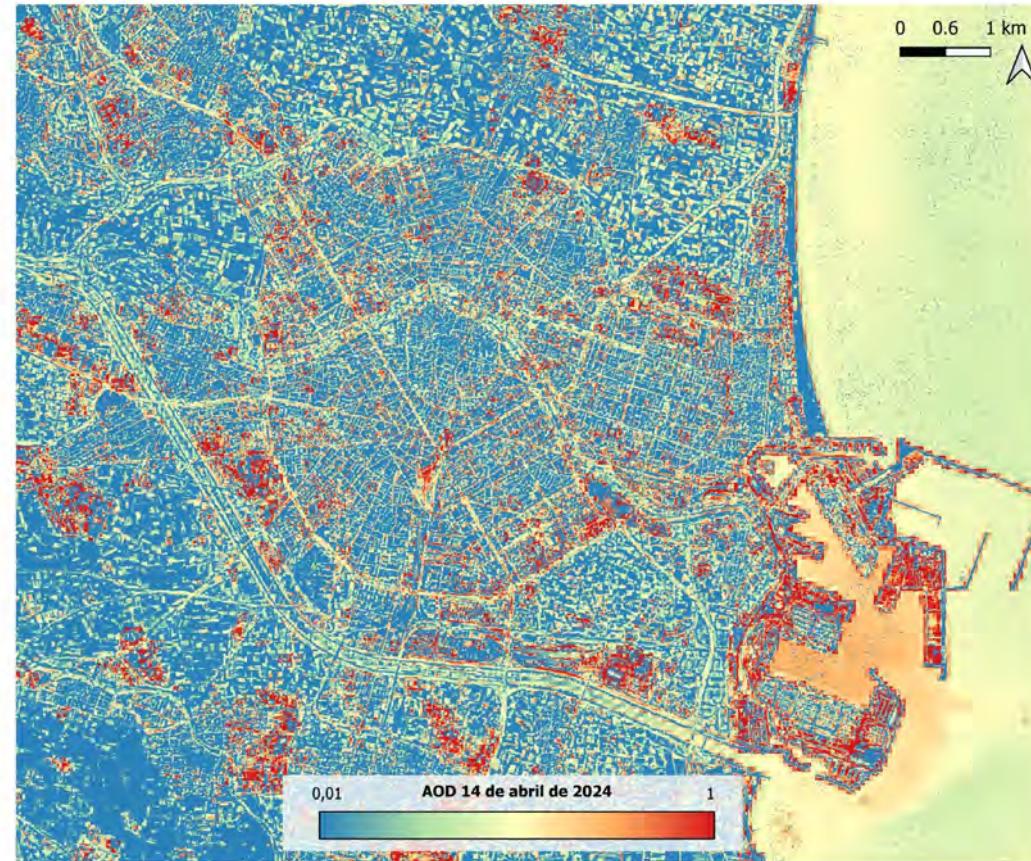
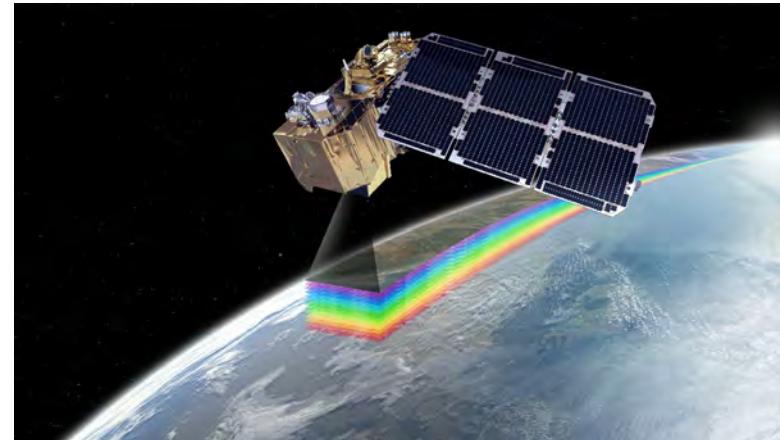
### 4. Estimación de NO<sub>2</sub> y PM2.5

- Modelo de regresión lineal múltiple con AOD y datos de calidad del aire de RVVCCA y otros





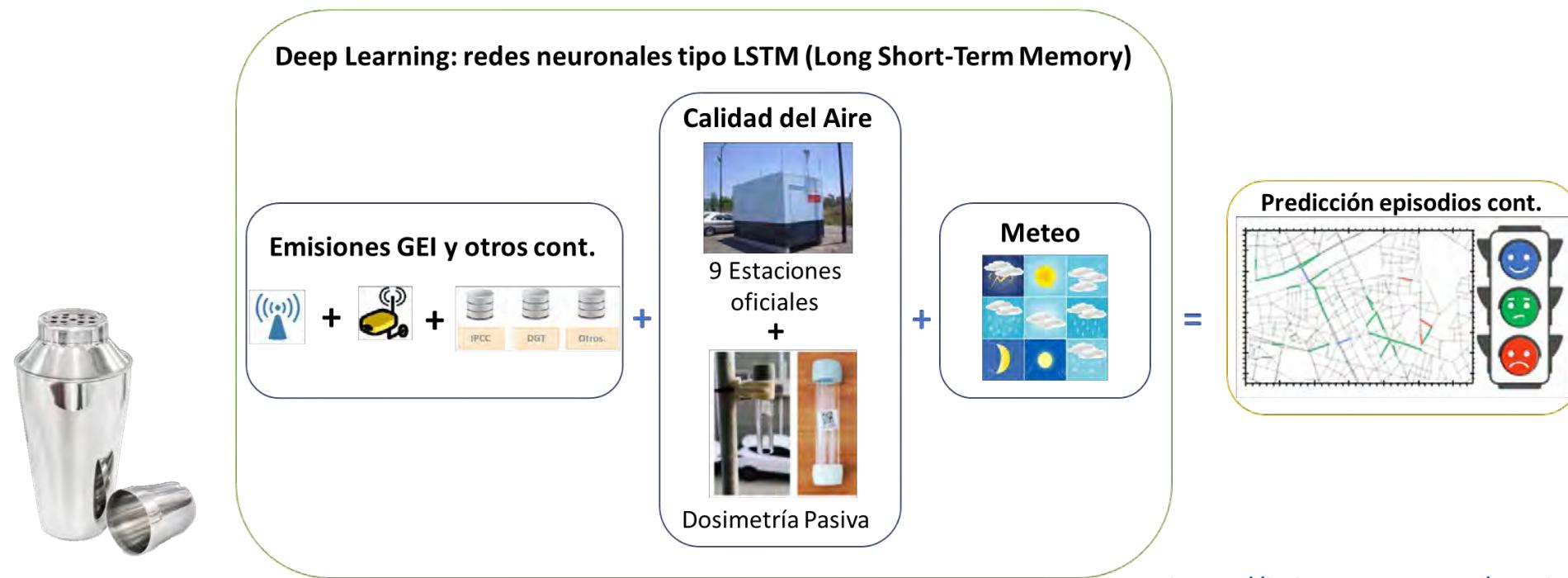
## 5. Monitoreo de Concentración de Contaminantes que afectan a la Calidad del Aire



## 6. Sistema de predicción de contaminación.

## 6. Sistema de predicción de contaminación.

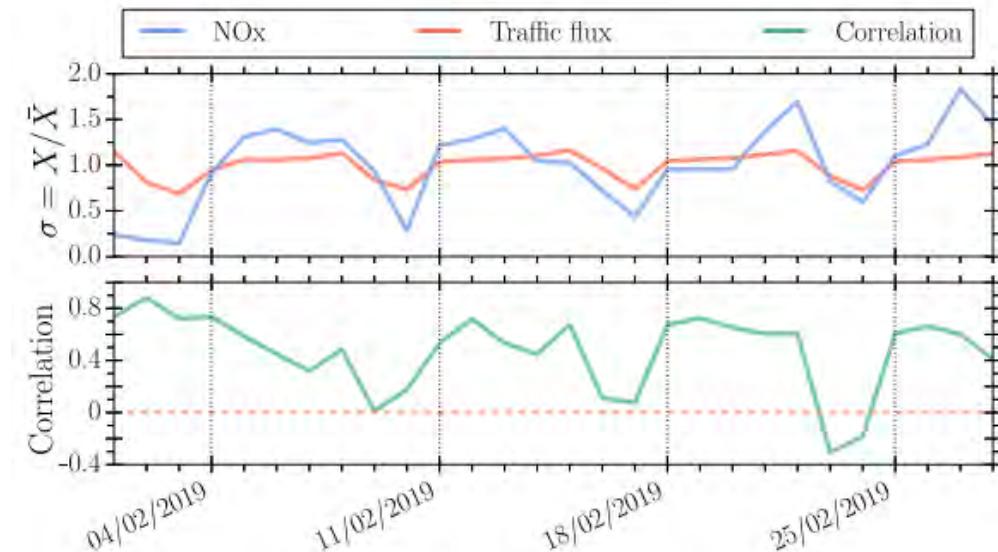
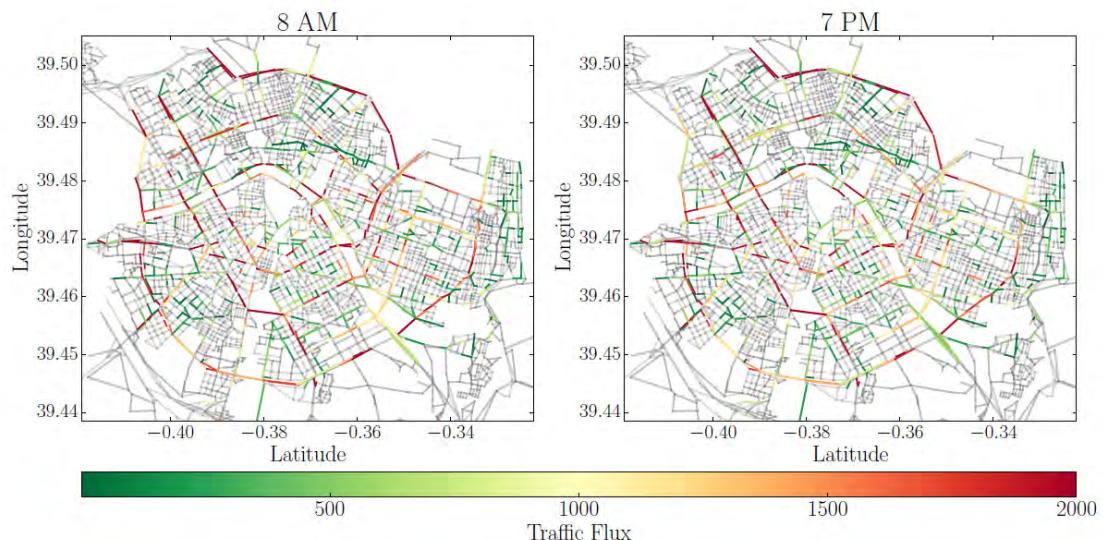
Establecimiento de **un sistema Sistema predictivo de alertas en tiempo real** en la ciudad de Valencia con Deep Learning mediante Red Neuronal LSTM (Long Short-Term Memory)



<https://link.springer.com/article/10.1007/s00521-025-11316-0>

## 6. Sistema de predicción de contaminación.

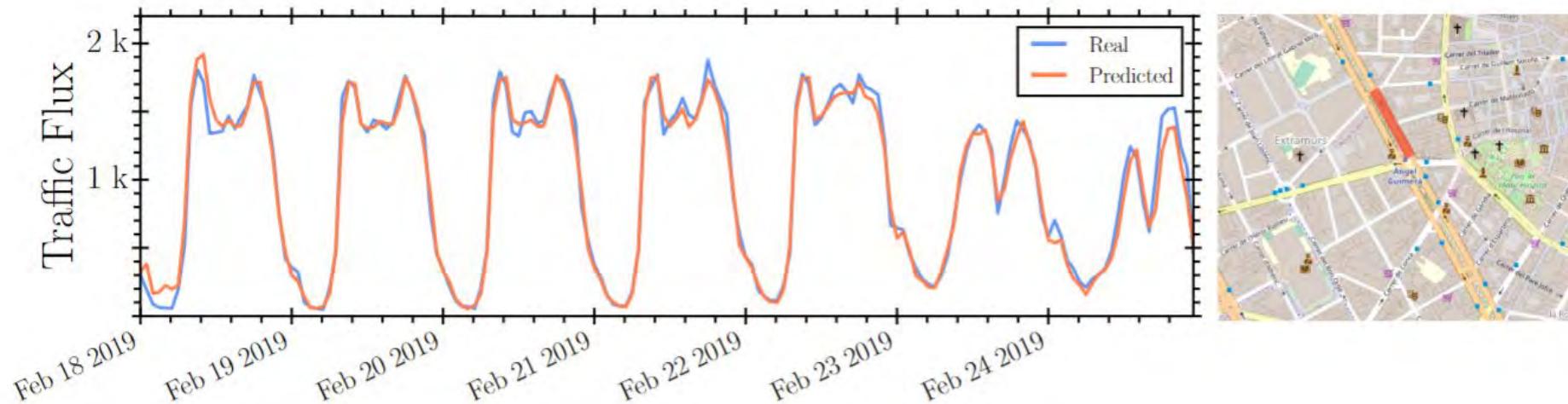
Establecimiento de **un sistema Sistema predictivo de alertas en tiempo real** en la ciudad de Valencia con Deep Learning mediante Red Neuronal LSTM (Long Short-Term Memory)



<https://link.springer.com/article/10.1007/s00521-025-11316-0>

## 6. Sistema de predicción de contaminación.

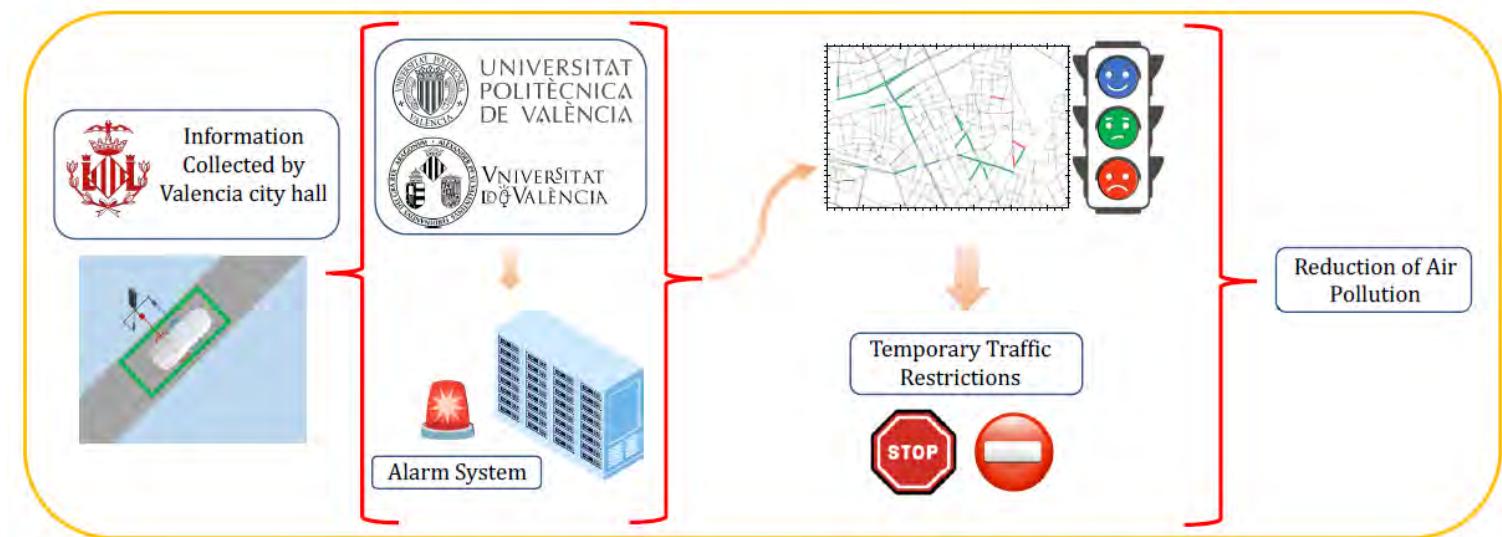
Establecimiento de **un sistema Sistema predictivo de alertas en tiempo real** en la ciudad de Valencia con Deep Learning mediante Red Neuronal LSTM (Long Short-Term Memory)



- Acertando el **90% de los casos con tráfico fluido**
- Acertando el **70% con tráfico muy denso**

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00521-025-11316-0>

## 6. Sistema de predicción de contaminación.



**Sistema predictivo de alertas de calidad del aire y/o GEI a escala CALLE**

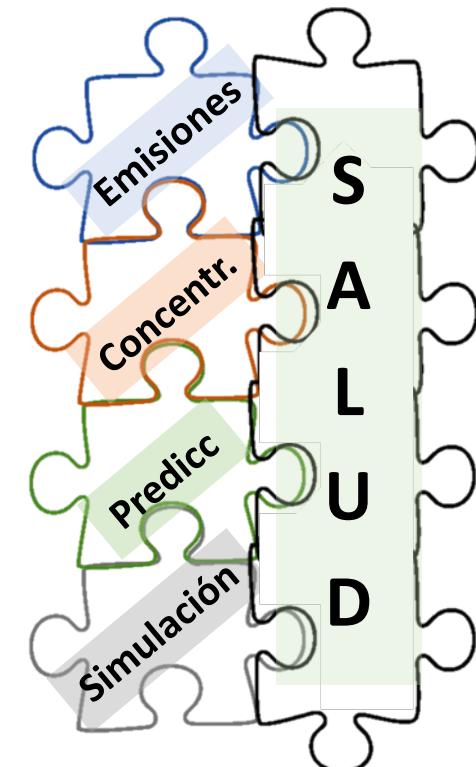
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00521-025-11316-0>

## 7. Conclusiones

- ✓ **Cuantificación de Focos de emisión** con alta resolución (Radiografía y Evaluación de medidas históricas)
- ✓ **Evaluación de la concentración de contaminantes** (calidad del aire) basada en Red Oficial + Satélite
- ✓ **Metodología para predecir episodios de contaminación** (alertar a los ciudadanos vulnerables, aplicar medidas focalizadas)

 **Desarrollo de una herramienta de simulación de medidas** que afecten a los focos de emisiones y podamos evaluar su impacto en la concentración de contaminantes

 Finalidad: Mejorar la **SALUD** de la población



**“El cambio climático consiste en ir viendo una serie de vídeos de catástrofes climáticas grabadas con móviles, cada vez más cerca de tu casa, hasta que un día eres tu quien está grabando”**

*Sedaví, 29 de Octubre de 2024*

