



universidade
de aveiro

Bases Científicas Preliminares del Futuro Plan Nacional de Ozono Modelización de emisiones y calidad del aire para la mitigación del ozono en España

Hervé Petetin, Marc Guevara, Roger Garatachea, Kevin Oliveira,
Franco López, Oriol Jorba, Carlos Pérez García-Pando
BSC Earth Science department, Atmospheric Composition group

26/10/2023

3r Congrés de la Qualitat de l'Aire - Sabadell

Índice

- **Objetivo**
- **Datos y métodos**
 - Herramientas de modelización
 - Escenarios de emisiones antropogénicas
 - *Escenario Base (EB)*
 - *Escenario Planificado (EP)*
 - *Escenarios Específicos (EE)*
- **Resultados de modelización del ozono**
 - Escenario Planificado versus Escenario Base
 - Escenarios Específicos
 - Impacto sobre las excedencias
- **Conclusiones**

Objetivo

Objetivo principal :

Estimar el impacto de las medidas planeadas dentro del *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima* (PNIEC) y del *Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica* (PNCCA) sobre los niveles de ozono en España (Península y Baleares)

Objetivo complementario :

Estimar el impacto de medidas alternativas o adicionales aplicadas en sectores de emisión específicos (e.g. tráfico rodado, industria, aviación, sector marítimo)

Datos y métodos

Herramientas de modelización

Emisiones antropogénicas :

HERMESv3 con datos del PNIEC+PNCCA (y **CAMS-REG** fuera de España)

Emisiones biogénicas :

MEGAN

Emisiones de fuegos :

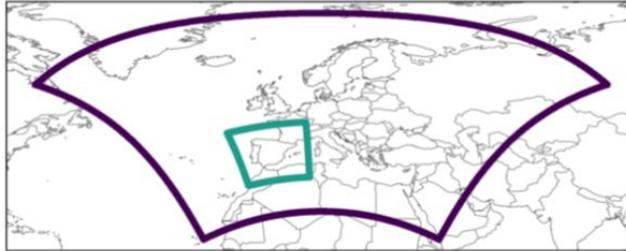
GFAS (solo con MONARCH)

Meteorología :

(ERA5 \Rightarrow) **NMMB**



(FNL \Rightarrow) **WRF**



Calidad del aire :

MONARCH (20 km \Rightarrow 5 km, \updownarrow 24 capas)

Química : CB05 + BSC, interactiva con meteo

CMAQ (12 km \Rightarrow 4 km, \updownarrow 37 capas)

Química : CB05 + AERO6

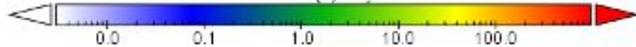
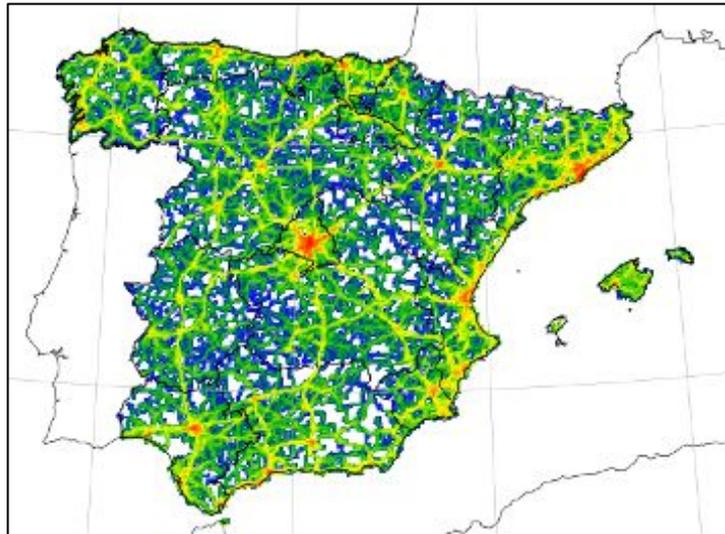
Simulación de
abril-septiembre 2019,
análisis de los
resultados focalizado
en julio de 2019



Escenarios de emisiones antropogénicas (1/3)

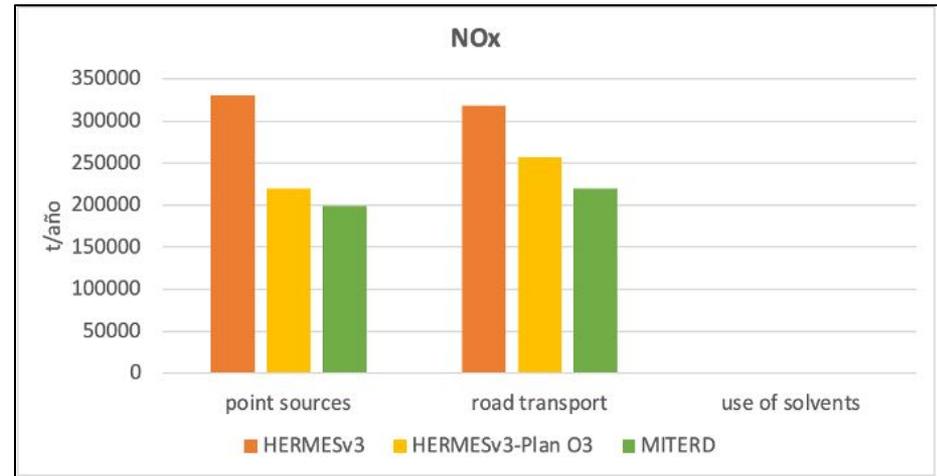
Preparación de los datos de emisiones con HERMESv3

- **EB** **Escenario Base**



NOx emisiones (t/año)

Año 2019 con emisiones HERMESv3 + MITERD (LPS, PRTR-España, parque vehicular y SEI uso solventes) + CAMS-REG (emisiones marítimas)



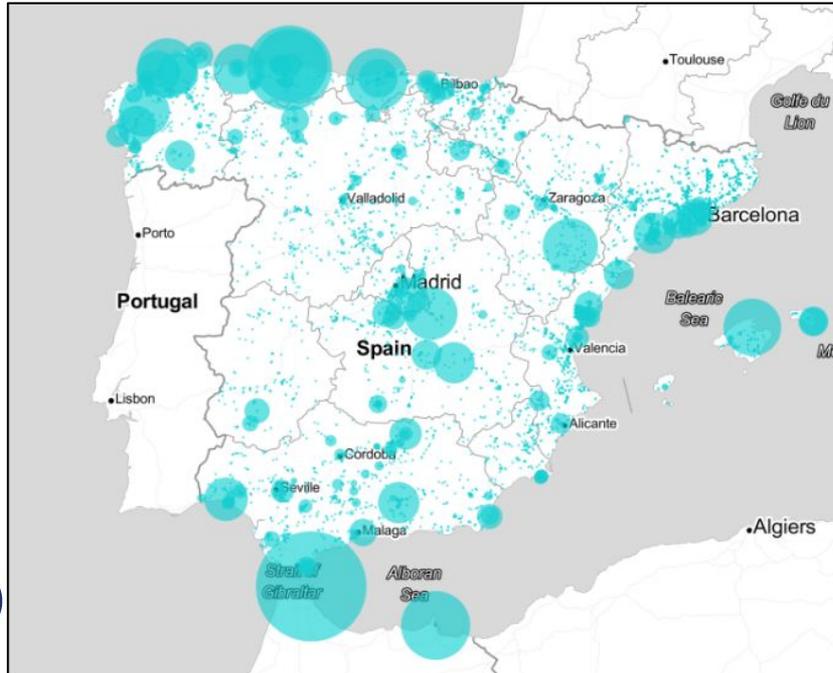
NOx emisiones (t/año) en HERMESv3, HERMESv3 adaptado para el plan O3, y MITERD

Escenarios de emisiones antropogénicas (1/3)

Preparación de los datos de emisiones con HERMESv3

- **EB** **Escenario Base**

Año 2019 con emisiones HERMESv3 + MITERD (LPS, PRTR-España, parque vehicular y SEI uso solventes) + CAMS-REG (emisiones marítimas)

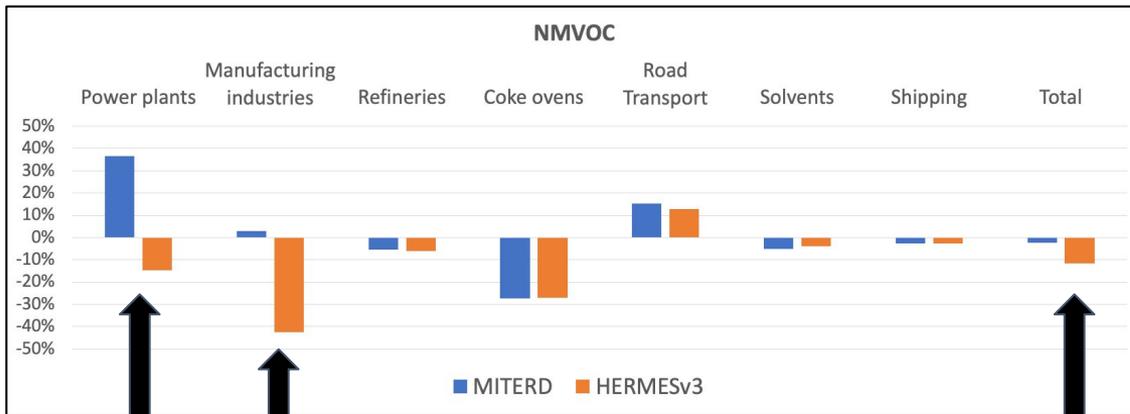


NOx emisiones de grandes focos puntuales

Escenarios de emisiones antropogénicas (2/3)

Preparación de los datos de emisiones con HERMESv3

- **EB** **Escenario Base**
- **EP** **Escenario Planificado**



Diferencias (%) de emisiones de NMVOCs entre MITERD y HERMESv3

EB + medidas contempladas en PNIEC+PNCCA para 2030 (proyecciones del Convenio LRTAP)



No inclusión incremento NMVOC derivado de uso de biomasa para generación de electricidad

Escenarios de emisiones antropogénicas (3/3)

Preparación de los datos de emisiones con HERMESv3

- **EB** **Escenario Base**
- **EP** **Escenario Planificado**

Escenarios Específicos:

- **EE_T50** **EP con menor reducción en tráfico (-30% en lugar de -60%)**
- **EE_I25** **EP con mayor reducción en industria (-25%)**
- **EE_A25_M20** **EP con mayor reducción en aviación (-25%) y marítimas (-20%)**
- **EE_A25_M60** **EP con mayor reducción en aviación (-25%) y marítimas (-60%)**

(dificultad de alcanzar la reducción de tráfico de EP)

(solo en refinerías y industrias minerales no metálicas, excepto cementeras)

(esperado por introducción NECA*)

(aún más ambicioso que la NECA*)

Escenarios de emisiones antropogénicas (3/3)

Preparación de los datos de emisiones con HERMESv3

- **EB** **Escenario Base**
- **EP** **Escenario Planificado**

Escenarios Específicos:

- **EE_T50** **EP con menor reducción en tráfico (-30% en lugar de -60%)**
- **EE_I25** **EP con mayor reducción en industria (-25%)**
- **EE_A25_M20** **EP con mayor reducción en aviación (-25%) y marítimas (-20%)**
- **EE_A25_M60** **EP con mayor reducción en aviación (-25%) y marítimas (-60%)**

(menos ambicioso que EP)
(más ambicioso que EP)

(dificultad de alcanzar la reducción de tráfico de EP)

(solo en refinerías y industrias minerales no metálicas, excepto cementeras)

(esperado por introducción NECA)

(aún más ambicioso que la NECA)

Escenarios de emisiones antropogénicas (3/3)

Preparación de los datos de emisiones con HERMESv3

- **EB** **Escenario Base**
- **EP** **Escenario Planificado**

Escenarios Específicos:

- | | | Emisiones
(comparado a EB) | |
|---|---|-------------------------------|---------|
| | | E(NOx) | E(COVs) |
| ● | EE_T50 EP con menor reducción en tráfico (-30% en lugar de -60%) | -23.1% | -5.1% |
| ● | EE_I25 EP con mayor reducción en industria (-25%) | -38.8% | -5.0% |
| ● | EE_A25_M20 EP con mayor reducción en aviación (-25%) y marítimas (-20%) | -38.3%* | -5.0%* |
| ● | EE_A25_M60 EP con mayor reducción en aviación (-25%) y marítimas (-60%) | -40.4%* | -5.2%* |

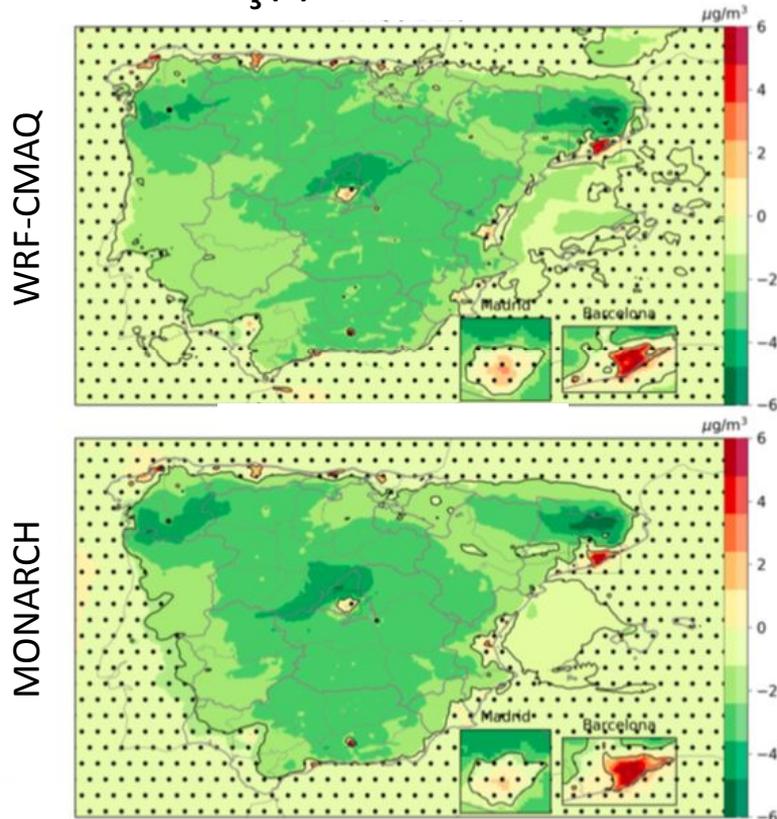
**excluyendo tráfico
marítimo internacional*

Resultados de modelización del ozono (julio de 2019)



Escenario Planificado versus Escenario Base (1/3)

O_3 (h) : EP menos EB



Diferencia EP menos EB del O_3 (horario) promedio (julio 2019)



Respuesta de los dos modelos muy parecida, lo que da más confianza en los resultados

A escala horaria :
Bajada del O_3 en una gran parte del país pero incremento en las ciudades (menor titración)



Cambio estadísticamente significativo?



Escenario Planificado versus Escenario Base (2/3)

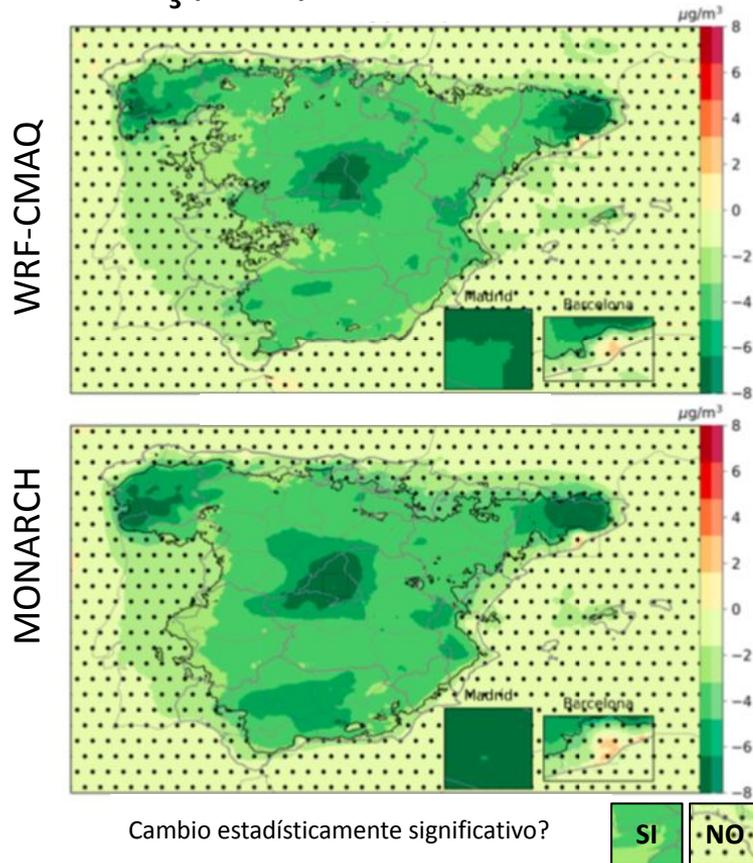
Diferencia EP menos EB del O₃ (MD8h) promedio (julio 2019)

Bajada aún más generalizada, de -4 µg/m³ sobre España en promedio mensual, principalmente en la Comunidad de Madrid, Cataluña y Galicia, pero incremento persistente en algunas ciudades costeras como Barcelona

Métrica	O ₃ (h) (valores horarios)	O ₃ (MD8h) (valores diarios)	O ₃ (MD8h) (promedio mensual)
promedio	-2.4	-3.9	-3.9
min	-59.7	-35.7	-9.7
p5	-7.5	-9.1	-6.3
p95	+1.1	-0.1	-1.7
max	+65.9	+21.5	+3.6

(promedio MONARCH y WRF-CMAQ)

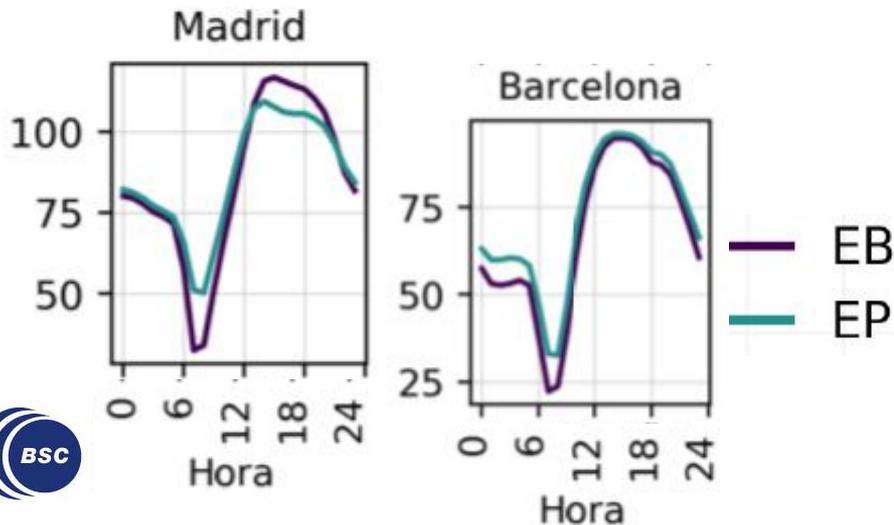
O₃ (MD8h) : EP menos EB



Escenario Planificado versus Escenario Base (2/3)

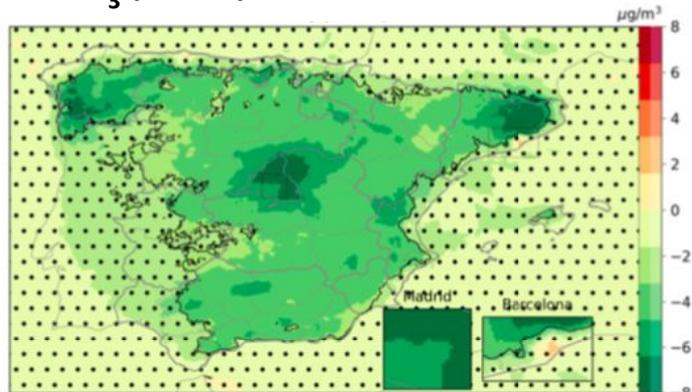
Perfil diario promedio :

Incremento del O_3 durante el principio de la mañana, compensado por una bajada de O_3 durante la tarde, en Madrid pero no en Barcelona

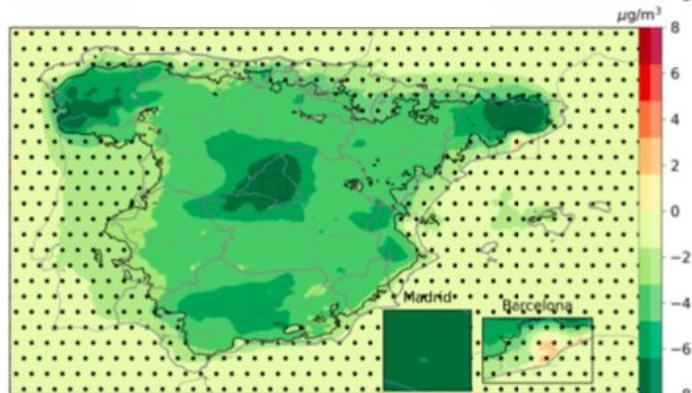


O_3 (MD8h) : EP menos EB

WRF-CMAQ



MONARCH



Cambio estadísticamente significativo?



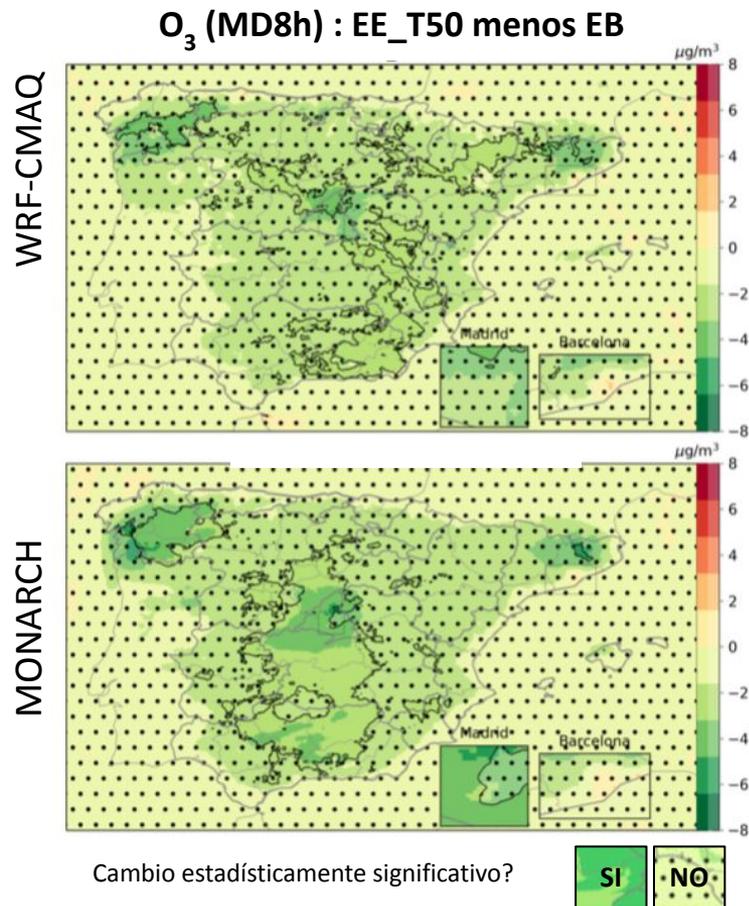
Escenario Específico : EP con menor reducción en tráfico

EE_T50 : -30% en vez de -60%

Diferencia EE_T50 menos EB del O₃(MD8h)
promedio (julio 2019)

Una reducción menor de las emisiones de tráfico rodado implica alcanzar solo 50-60% del beneficio esperado con el cumplimiento total del objetivo previsto en EP

Entonces, para reducir los niveles de ozono en España, parece clave alcanzar el objetivo previsto en PNIEC+PNCCA



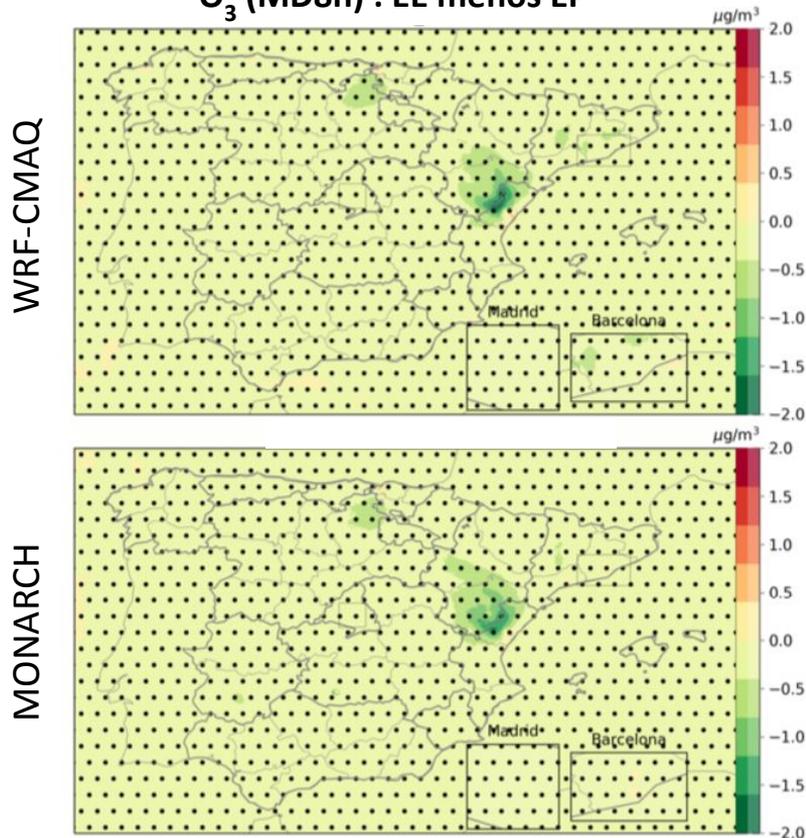
Escenario Específico : EP con mayor reducción en industria

EE_I25 : -25% emisiones en industria

Diferencia EE menos EP del O₃(MD8h)
promedio (julio 2019)

Ligero aumento del O₃ cerca de las fuentes
en algunas zonas industriales (e.g.,
Castellón, País Vasco) pero ligera bajada
del O₃ a sotavento de ellas

O₃ (MD8h) : EE menos EP

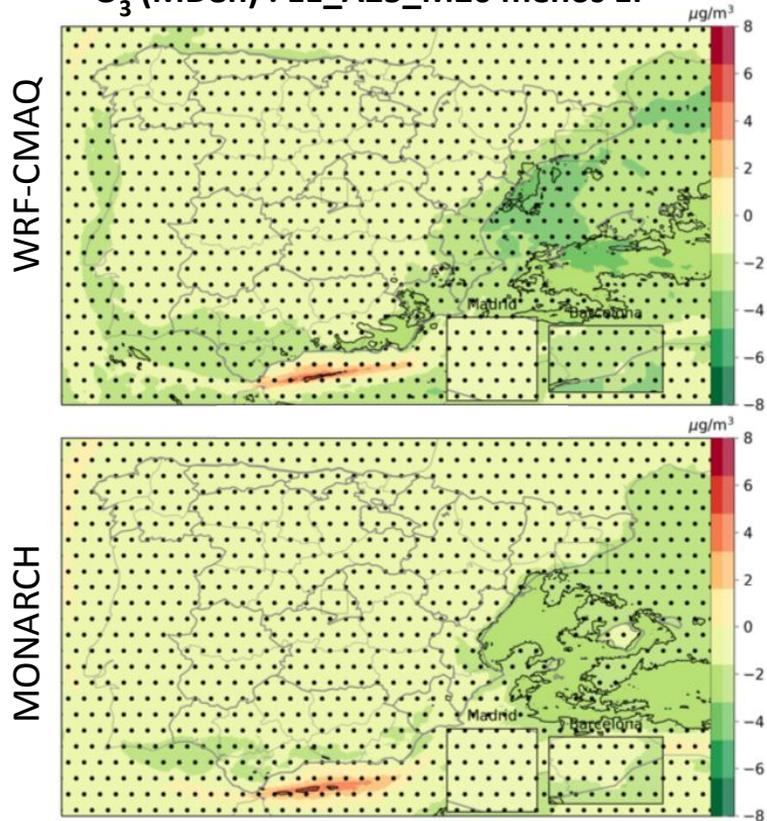


Cambio estadísticamente significativo?



Escenarios Específicos : EP con mayor reducción en aviación/marítimo (1/2)

O₃ (MD8h) : EE_A25_M20 menos EP



EE_A25_M20 : -25% aviación y -20% sector marítimo

Diferencia EE menos EP del O₃(MD8h) promedio (julio 2019)

Incremento del O₃ en el corredor marítimo de Gibraltar, pero bajada en el resto del Mediterráneo y en toda la costa española (hasta -4 μg/m³ en zonas del levante en promedio mensual)

Impacto de la reducción de emisiones de aviación no distinguible

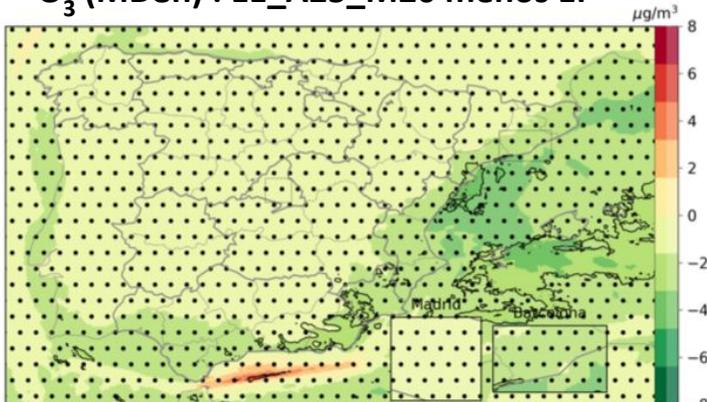
Cambio estadísticamente significativo?



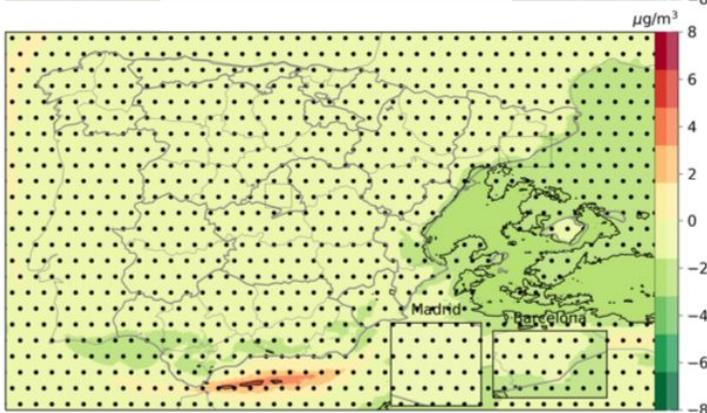
Escenarios Específicos : EP con mayor reducción en aviación/marítimo (2/2)

O₃ (MD8h) : EE_A25_M20 menos EP

WRF-CMAQ



MONARCH

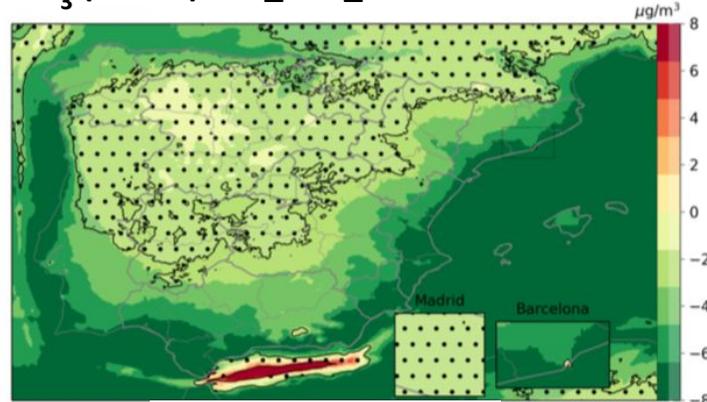


Cambio estadísticamente significativo?

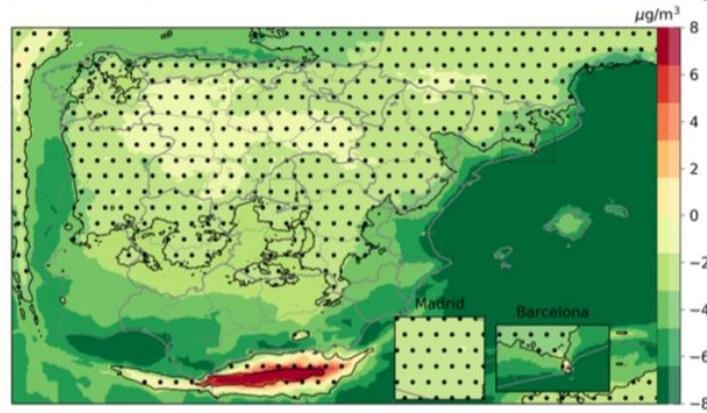


O₃ (MD8h) : EE_A25_M60 menos EP

WRF-CMAQ



MONARCH



Cambio estadísticamente significativo?



Escenarios Específicos : EP con mayor reducción en aviación/marítimo (2/2)

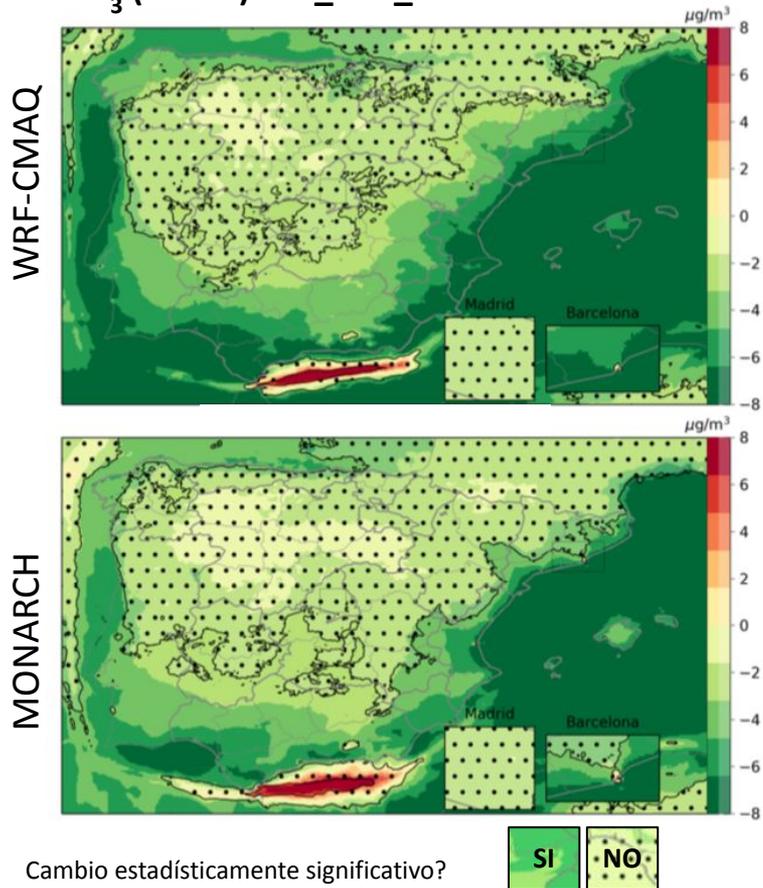
EE_A25_M60 : -25% aviación y -60% sector marítimo

Diferencia EE menos EP del O₃(MD8h) promedio (julio 2019)

Fuerte amplificación del cambio de O₃ con bajadas significativas en toda la costa mediterránea hasta 300 km tierra adentro

(hasta -14 µg/m³ en zonas del levante en promedio mensual)

O₃ (MD8h) : EE_A25_M60 menos EP



Cambio estadísticamente significativo?

Impacto en el número de días con excedencias (1/2)

En las celdas con observaciones, y asumiendo que los modelos predicen correctamente el cambio relativo de concentración de ozono :

Días con O₃(MD8h) > 120 µg/m³ :

En España

-37% menos frecuentes con EP

-55% menos frecuentes con el escenario más ambicioso

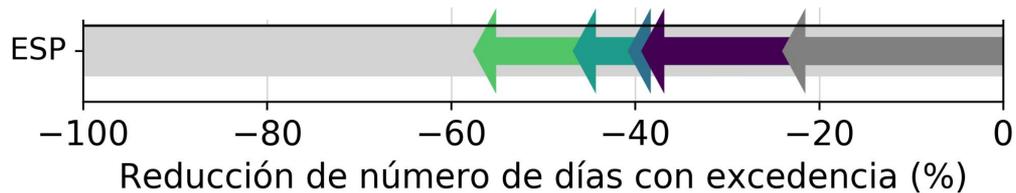
EP con menor reducción de tráfico

EP

EP con mayor reducción en industria

EP con mayor reducción en sector marítimo/aviación

EP con mayor reducción en sector marítimo/aviación+



Impacto en el número de días con excedencias (1/2)

En las celdas con observaciones, y asumiendo que los modelos predicen correctamente el cambio relativo de concentración de ozono :

Días con O₃(MD8h) > 120 µg/m³ :

En España

-37% menos frecuentes con EP

-55% menos frecuentes con el escenario más ambicioso

Similar en todas las CCAA, aunque con variabilidad

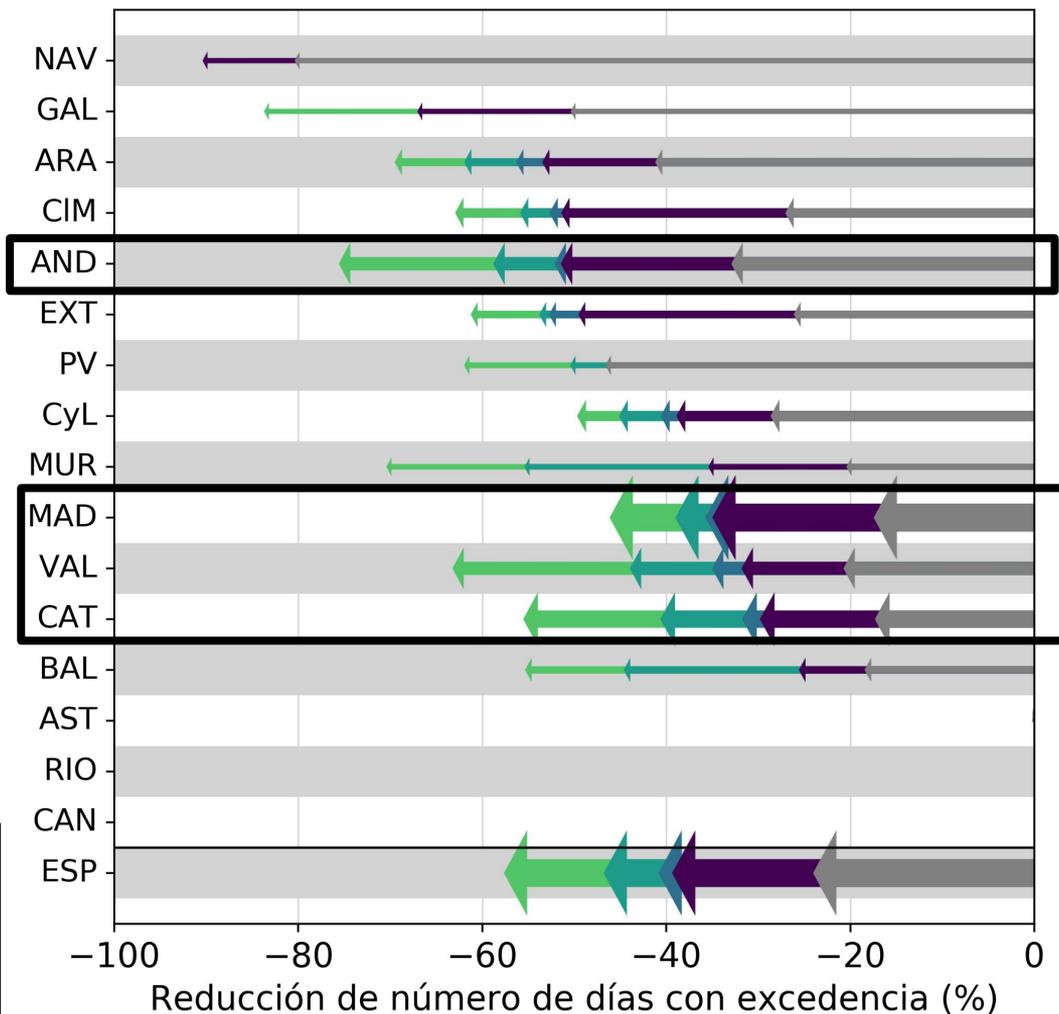
EP con menor reducción de tráfico

EP

EP con mayor reducción en industria

EP con mayor reducción en sector marítimo/aviación

EP con mayor reducción en sector marítimo/aviación+



Impacto en el número de días con excedencias (2/2)

Días con $O_3(h) > 180 \mu g/m^3$:

En España

-77% menos frecuentes con EP

-85% menos frecuentes con el escenario más ambicioso

Fuerte mejora en la Comunidad de Madrid, pero insuficiente en Cataluña

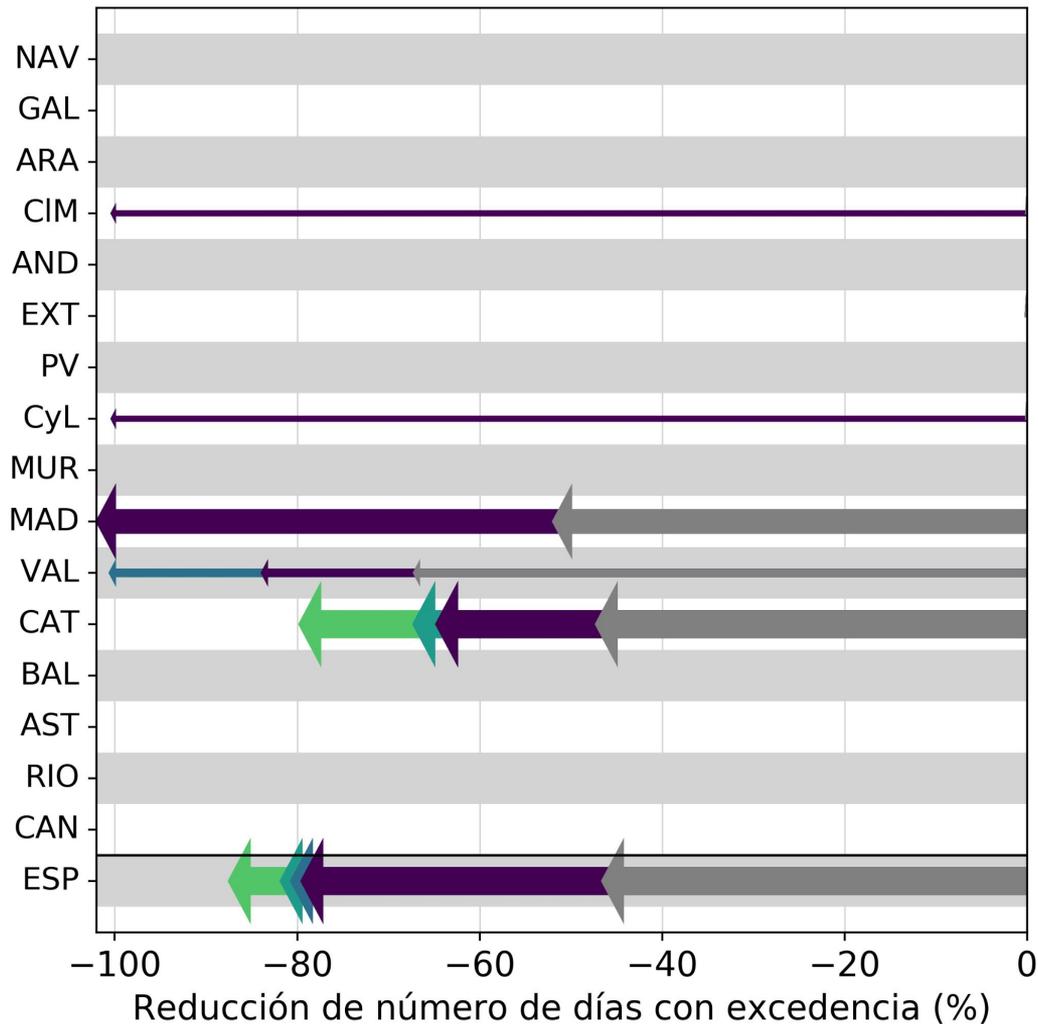
EP con menor reducción de tráfico

EP

EP con mayor reducción en industria

EP con mayor reducción en sector marítimo/aviación

EP con mayor reducción en sector marítimo/aviación+



Conclusiones

Conclusiones (1/2)

El Escenario Planificado (EP) alcanza una disminución de O₃(MD8h) de -4 µg/m³ en promedio sobre todo el territorio

- En las celdas dónde se encuentran las estaciones de calidad del aire, el número de días con O₃(h) > 180 µg/m³ se reduce en -77%
O₃(MD8h) > 120 µg/m³ -37%
- Reducciones más importantes en Comunidad de Madrid, norte de Cataluña, Comunidad Valenciana, Galicia y Andalucía
- Menor titración del O₃ en todas las ciudades, con efectos más visibles durante el pico de tráfico de la mañana, pero respuesta diferenciada entre
 - Ciudades del interior : menor producción local durante la tarde
 - Ciudades costeras : la menor producción apenas compensa el aumento del O₃ por reducción de la titración

Conclusiones (2/2)

El tráfico rodado es el sector clave en la reducción generalizada del O₃ en España

- Reducción hasta -10 µg/m³ en algunas zonas al norte de la Comunidad de Madrid
- Implica un incremento apreciable del O₃ en Barcelona y algunas otras ciudades costeras debido al rol clave de la titración combinado con la influencia de las masas de aire marítimas y condiciones de ventilación específicas
- El incumplimiento de estas reducciones proyectadas de emisiones de tráfico (-30% en vez de -60%) supone alcanzar solo el 50-60% de las reducciones de O₃ obtenidas con el EP

El tráfico marítimo aparece como el otro sector clave, principalmente en zonas costeras (hasta centenares de kilómetros tierra adentro)

- Una reducción de -20% (-60%) de estas emisiones permitiría bajar el O₃(MD8h) hasta -4 µg/m³ (-14 µg/m³) en promedio en zonas del levante, y reducir el número de días con O₃(MD8h) > 120 µg/m³ de -44% (-55%)

El O₃ responde de manera más limitada y localizada bajo los escenarios con reducción de las emisiones de la industria (excepto cementeras) y de la aviación





**Barcelona
Supercomputing
Center**

Centro Nacional de Supercomputación

Gracias

Más información sobre el estudio en el informe :

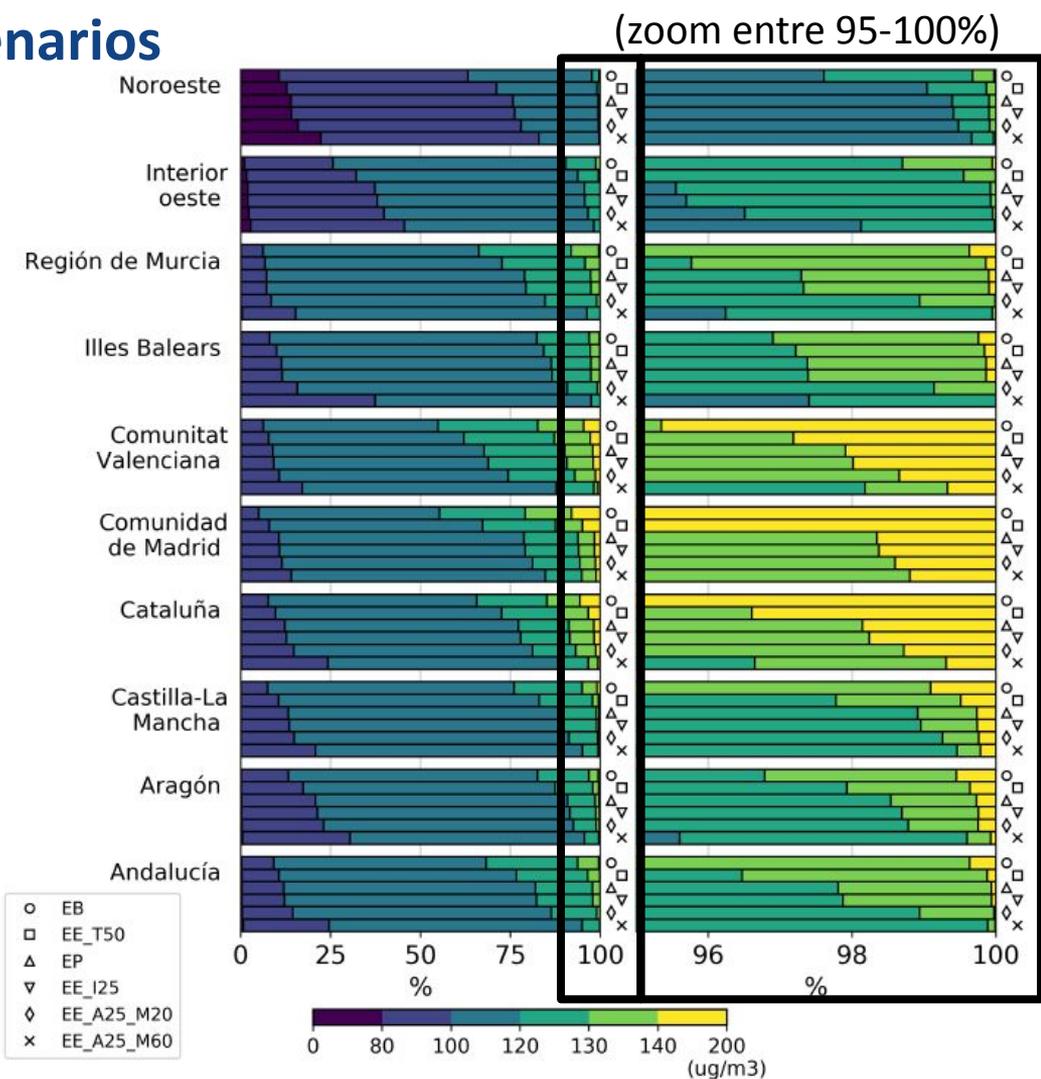
***Actividades de modelización de emisiones y calidad del
aire enfocadas al diseño de recomendaciones
preliminares para la mitigación del ozono en España***

Comparación general de los escenarios

Distribución de los valores de O_3 (MD8h) en cada región/CCAA (julio de 2019) :

Se nota una reducción progresiva del O_3 entre

- Escenario Base
- Escenario Específico tráfico
- Escenario Planificado
- Escenario Específico industria
- Escenario Específico aviación/marítimo
- Escenario Específico aviación/marítimo+



Impacto en el número de días con excedencias

En las celdas con observaciones, y
asumiendo que los modelos
predicen correctamente el cambio
relativo de concentración de ozono :

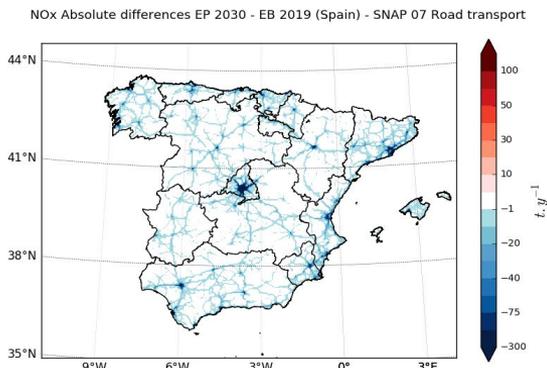
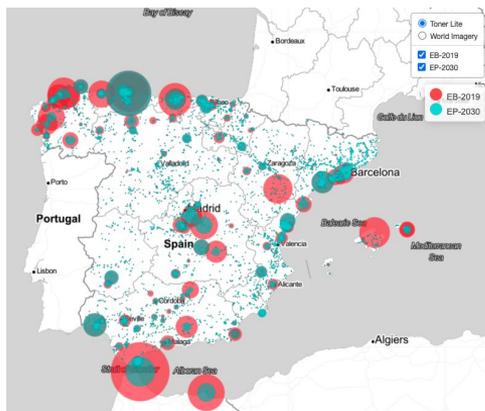
- **Días con O_3 (MD8h) > 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$: -37% menos frecuentes (hasta -55% con fuerte reducción del sector marítimo)**
- **Días con O_3 (h) > 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$: -77% menos frecuentes (hasta -85% con fuerte reducción del sector marítimo)**

CCAA	Nivel límite	N(OBS)	EE_T50	EP	EE_I25	EE_A25_M20	EE_A25_M60
ESP	120 ^(mda8)	1217	-22%	-37%	-38%	-44%	-55%
AND	120 ^(mda8)	143	-32%	-50%	-51%	-58%	-74%
ARA	120 ^(mda8)	53	-41%	-53%	-56%	-61%	-69%
CyL	120 ^(mda8)	88	-28%	-38%	-40%	-44%	-49%
CIM	120 ^(mda8)	78	-26%	-51%	-52%	-55%	-62%
CAT	120 ^(mda8)	208	-16%	-28%	-30%	-39%	-54%
NAV	120 ^(mda8)	5	-80%	-90%	-90%	-90%	-90%
MAD	120 ^(mda8)	385	-15%	-33%	-33%	-37%	-44%
VAL	120 ^(mda8)	140	-20%	-31%	-34%	-43%	-62%
EXT	120 ^(mda8)	47	-26%	-49%	-52%	-53%	-61%
GAL	120 ^(mda8)	3	-50%	-67%	-67%	-67%	-83%
BAL	120 ^(mda8)	42	-18%	-25%	-25%	-44%	-55%
PV	120 ^(mda8)	13	-46%	-46%	-46%	-50%	-62%
AST	120 ^(mda8)	2	0%	0%	0%	0%	0%
MUR	120 ^(mda8)	10	-20%	-35%	-35%	-55%	-70%
ESP	180 ^(dI_{max})	44	-44%	-77%	-78%	-80%	-85%
CyL	180 ^(dI_{max})	1	0%	-100%	-100%	-100%	-100%
CIM	180 ^(dI_{max})	1	0%	-100%	-100%	-100%	-100%
CAT	180 ^(dI_{max})	20	-45%	-62%	-62%	-65%	-78%
EXT	180 ^(dI_{max})	2	0%	0%	0%	0%	0%
MAD	180 ^(dI_{max})	17	-50%	-100%	-100%	-100%	-100%
VAL	180 ^(dI_{max})	3	-67%	-83%	-100%	-100%	-100%

Escenarios de emisiones antropogénicas

Preparación de los datos de emisiones con HERMESv3

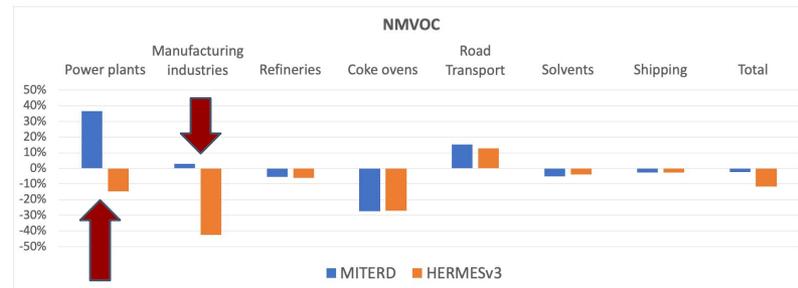
- **EB** Escenario Base
- **EP** Escenario Planificado



EB + medidas contempladas en PNIEC+PNCCA para 2030 (Proyecciones del Convenio LRTAP)



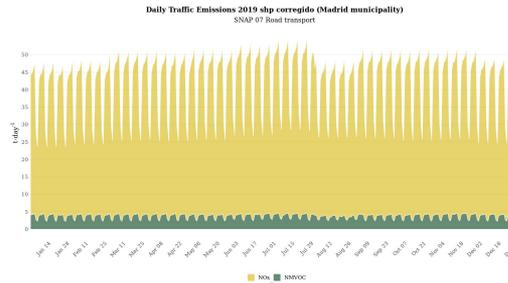
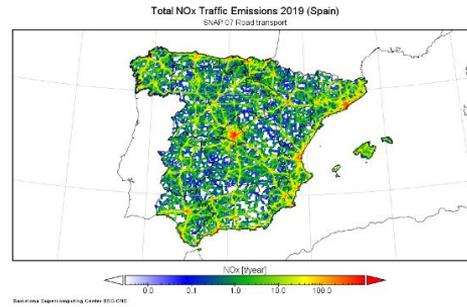
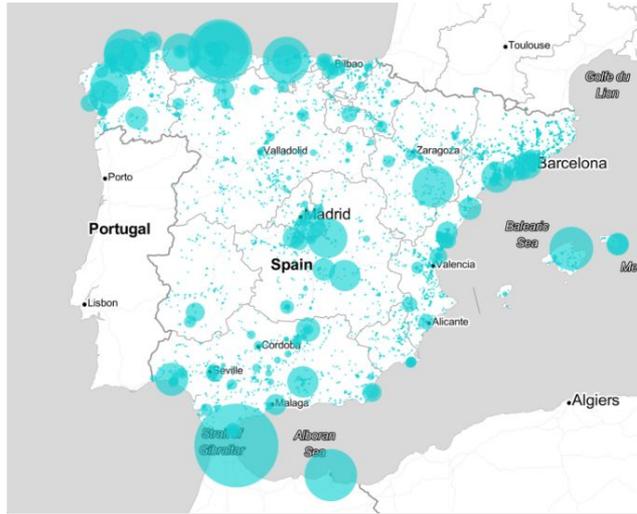
No inclusión incremento NMVOC derivado de uso de biomasa para generación electricidad



Escenarios de emisiones antropogénicas (1/2)

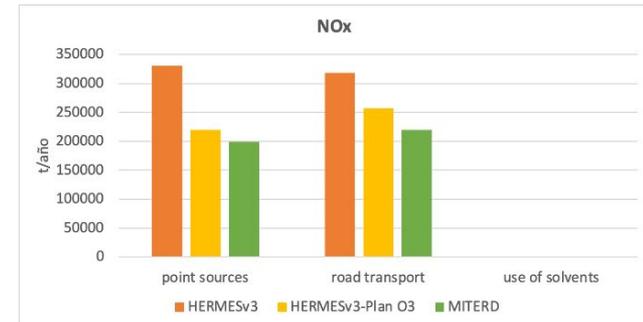
Preparación de los datos de emisiones con HERMESv3

- **EB** **Escenario Base**



Año 2019 con emisiones HERMESv3 + MITERD (LPS, PRTR-España, parque vehicular y SEIE uso disolventes) + CAMS-REG (emisiones marítimas)

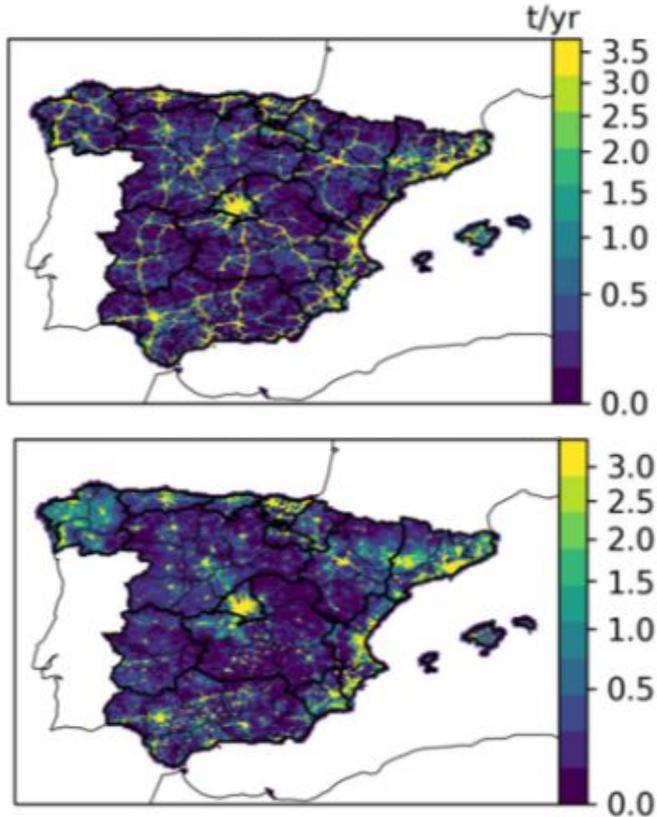
Reducción inconsistencia entre emisiones estimadas con HERMESv3 y reportadas por el SEIE



Emisiones a alta resolución temporal (1 hora) y espacial (4kmx4km)

Escenarios de emisiones antropogénicas (2/2)

Emisiones en el Escenario Base (EB) :



Emisiones de NO_x

- Escenario Específico tráfico (EE_T50) ⇒ -23%
- Escenario Planificado (EP) ⇒ -37%
- Escenario Específico Aviación/Marítima+ (EE_A25_M60) ⇒ -40%*

Emisiones de COVs

- Escenario Planificado (EP) ⇒ -4.9%
- Escenario Específico Aviación/Marítima+ (EE_A25_M60) ⇒ -5.2%*

*excluyendo la parte internacional

Evaluación de los modelos (Junio-Agosto de 2019)

Sesgo en MD8h razonable (+12% en CMAQ y -3% en MONARCH), consistente con rendimiento de otros modelos europeos (predicciones operacionales Copernicus)

Errores y correlaciones también razonables, dificultad a reproducir los episodios más extremos

Modelo	Escala temporal	Sesgo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Error [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Correlación	Pendiente	N
CMAQ-EB-2019	h	+19 (+26%)	29 (39%)	0.69	0.51	586669
	MD8h	+11 (+12%)	20 (21%)	0.68	0.50	24149
MONARCH-EB-2019	h	+2 (+3%)	24 (32%)	0.64	0.48	586669
	MD8h	-3 (-3%)	17 (17%)	0.68	0.48	24149
CHIMERE	h	+17 (+23%)	27 (37%)	0.72	0.55	580417
	MD8h	+12 (+13%)	21 (22%)	0.66	0.43	23637
EMEP	h	+6 (+8%)	23 (31%)	0.68	0.41	541924
	MD8h	-3 (-3%)	18 (19%)	0.64	0.38	20987



Los dos sistemas se comportan de manera un poco distinta (ventaja) pero ambos muestran el rendimiento típico de los modelos actuales de referencia (confirmado con criterios FAIRMODE)

Comparación general de los escenarios (2/2)

Distribución de las diferencias de promedio mensual O₃(MD8h) en Julio, aquí con MONARCH :

Escenario	Métrica	MONARCH
EP-EB	promedio	-4.0
	min	-10.0
	max	3.5
Tráfico (-30% en lugar de -60%) -EP	promedio	1.7
	min	-1.8
	max	5.2
Industria (-25%) -EP	promedio	-0.2
	min	-1.7
	max	0.7
Aviación (-25%) y Marítimo (-20%) - EP	promedio	-0.9
	min	-3.9
	max	2.0
Aviación (-25%) y Marítimo (-60%) - EP	promedio	-2.9
	min	-14.2
	max	6.7

Escenario Planificado (EP), comparado con EB :

- **Reducción del O₃ de -4 µg/m³ en promedio sobre España, hasta -10 µg/m³ (norte de Madrid), pero con incremento en algunas pocas zonas, hasta +3.5 µg/m³ (cerca de Barcelona)**

Escenarios Específicos (EE), comparado con EP :

- Menor reducción tráfico (EE_T50) ⇒ incremento notable (+1.7 µg/m³) en promedio sobre el país
- Mayor reducción industria (EE_I25) ⇒ ligera reducción, hasta -1.7 µg/m³ (Castellón-Arago)
- Mayores reducciones aviación/marítimo ⇒ impacto notable hasta -4 y -14 µg/m³ con reducción de -20 y -60% de las emisiones marítimas, respectivamente