

Anexo IV:

Informe de evaluación del efecto de la Estrategia de calidad del aire y cambio climático de la Comunidad de Madrid (2013-2020). Plan Azul+

TRABAJO REALIZADO PARA LA COMUNIDAD DE MADRID
(DIRECCIÓN GENERAL DE MEDIO AMBIENTE Y SOSTENIBILIDAD) por el

**Grupo de Investigación de Tecnologías Ambientales y Recursos Industriales de
la Universidad Politécnica de Madrid**

15 de marzo 2019



ANEXO IV: Informe de evaluación del efecto de la Estrategia de calidad del aire y cambio climático de la Comunidad de Madrid (2013-2020). Plan Azul+	160
A.IV. 1. OBJETIVO	162
A.IV. 2. INTRODUCCIÓN	162
A.IV. 2.1. Normativa aplicable.....	162
A.IV. 2.2. Necesidad y objetivos del Plan Azul+	163
A.IV. 3. ÁMBITO DE ESTUDIO	163
A.IV. 4. ESTIMACIÓN DEL IMPACTO EN TÉRMINOS DE EMISIÓN.....	165
A.IV. 4.1. ESTIMACIÓN DEL IMPACTO INDIVIDUAL DE LAS MEDIDAS ADICIONALES DEL PLAN AZUL+ EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES.....	165
A.IV. 4.2. EMISIONES EN EL ESCENARIO BASE Y ESCENARIO 2020	167
A.IV. 5. ESTIMACIÓN DEL IMPACTO EN LA CALIDAD DEL AIRE.....	170
A.IV. 5.1. METODOLOGÍA	170
A.IV. 5.2. RESULTADOS.....	171
A.IV 5.2.1. Media anual de NO ₂	172
A.IV 5.2.2. Percentil horario 99,8 de NO ₂	176
A.IV 5.2.3. Media anual de PM ₁₀	180
A.IV 5.2.4. Percentil diario 90,4 de PM ₁₀	184
A.IV 5.2.5. Media anual de PM _{2,5}	188
A.IV. 6. RESUMEN Y CONCLUSIONES	192

A.IV. 1. OBJETIVO

El presente documento resume la metodología y principales resultados en relación a la evaluación del efecto de las medidas de reducción de emisiones definidas en la Estrategia de Calidad del Aire y Cambio Climático de la Comunidad de Madrid (2013-2020), denominado **Plan Azul+**.

El documento se estructura en dos partes; en primer lugar, se evalúa y cuantifica las principales medidas adicionales y propuestas en el proceso de revisión Plan Azul+, en términos de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado, tanto PM₁₀ como PM_{2,5}. Posteriormente, y mediante el uso de técnicas de modelización, se analiza la variación en los niveles de concentración de dióxido de nitrógeno (NO₂) y material particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}) para los escenarios de emisiones del año 2015 (escenario base) y el escenario 2020, que incluye las medidas cuantificables definidas en el Plan Azul+, así como las medidas adicionales definidas en su revisión. En el escenario futuro además se considera la tendencia esperable en las emisiones de la región en este periodo debido a la evolución tecnológica, así como otros instrumentos de planificación, fundamentalmente el Plan de Calidad del Aire y Cambio Climático 2017-2020 del Ayuntamiento de Madrid (Plan A).

Esta evaluación sirve de referencia en relación al cumplimiento de los valores límite de concentración para los contaminantes atmosféricos previamente citados (NO₂ y material particulado) y recogidos en el Real Decreto 102/2011, para el horizonte temporal definido en el Plan Azul+ (año 2020).

A.IV. 2. INTRODUCCIÓN

A.IV. 2.1. NORMATIVA APLICABLE

El Real Decreto 102/2011 de 28 de enero (modificado parcialmente por el Real Decreto 39/2017), relativo a la mejora de la calidad del aire, traspone al ordenamiento jurídico nacional la Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente, y sirve de marco regulador para la elaboración de los planes y programas nacionales, autonómicos y locales para la mejora de la calidad del aire.

En la **Tabla 1** se muestran los valores límite establecidos por el Real Decreto 102/2011 para la protección de la salud humana y para los contaminantes más relevantes desde el punto de vista legal y de sus efectos en salud (NO₂ y PM), junto con los valores guía definidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que en algunos casos son más restrictivos y que pese a carecer de valor legal, son una referencia relevante.

Tabla 1. Objetivos de cumplimiento del Real Decreto 102/2011 (de acuerdo a lo dispuesto en la Directiva 2008/50) y los definidos por la Organización Mundial de la Salud en relación al contaminante analizado

Periodo de promedio	NO ₂ (µg/m ³)		PM10 (µg/m ³)		PM2,5 (µg/m ³)	
	R.D 102/2011	OMS	R.D 102/2011	OMS	R.D 102/2011	OMS
Media anual	40	40	40	20	20	10
Media 24 h	–	–	50 ^b	50	–	25
Horario	200 ^a	200	–	–	–	-

^a No podrá superarse en más de 18 ocasiones por año civil

^b No podrán superarse en más de 35 ocasiones por año civil.

A.IV. 2.2. NECESIDAD Y OBJETIVOS DEL PLAN AZUL+

Durante el año 2015, escenario base en este estudio, los límites establecidos para NO₂ (Tabla 1) se superaron en dos estaciones de la red de calidad del aire de la Comunidad de Madrid: Coslada, estación caracterizada de tráfico y ubicada en la Zona 2 (Corredor del Henares), y Getafe, también estación de tráfico ubicada en este caso en la zona 3 (Urbana Sur).

Así pues, el principal objetivo del Plan Azul+ de la Comunidad de Madrid es el de permitir el cumplimiento de los valores límite de concentración para todas las zonas de la región. Para ello, el Gobierno regional elaboró el Plan Azul+, que define un total de 58 medidas: 19 relacionadas con el sector transporte, 7 para el sector industrial, 10 que afectan al sector residencial, comercial e institucional (RCI) y 9 centradas en el sector de la agricultura y el medio natural. Las otras 13 medidas están relacionadas con programas horizontales que tratan de potenciar la formación, la información e investigación. Ante la necesidad de un esfuerzo adicional para lograr el cumplimiento de los objetivos fijados en materia de calidad del aire, la Comunidad de Madrid ha llevado a cabo un proceso de revisión del Plan Azul+, incorporando una serie de medidas adicionales que afectan a todos los sectores, siendo las cuantificables y las de mayor peso en reducción de emisiones las pertenecientes a los sectores transporte y RCI. Todas ellas persiguen el objetivo principal de mejorar la calidad del aire en la región y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera.

A.IV. 3. ÁMBITO DE ESTUDIO

La Red de control y vigilancia de calidad del aire de la Comunidad de Madrid (en adelante Red) está formada por 23 estaciones (Figura 1) repartidas por todo su territorio, a excepción de la zona 1, que corresponde con el municipio de Madrid, que dispone de su propia red para vigilar y gestionar los niveles de calidad del aire.

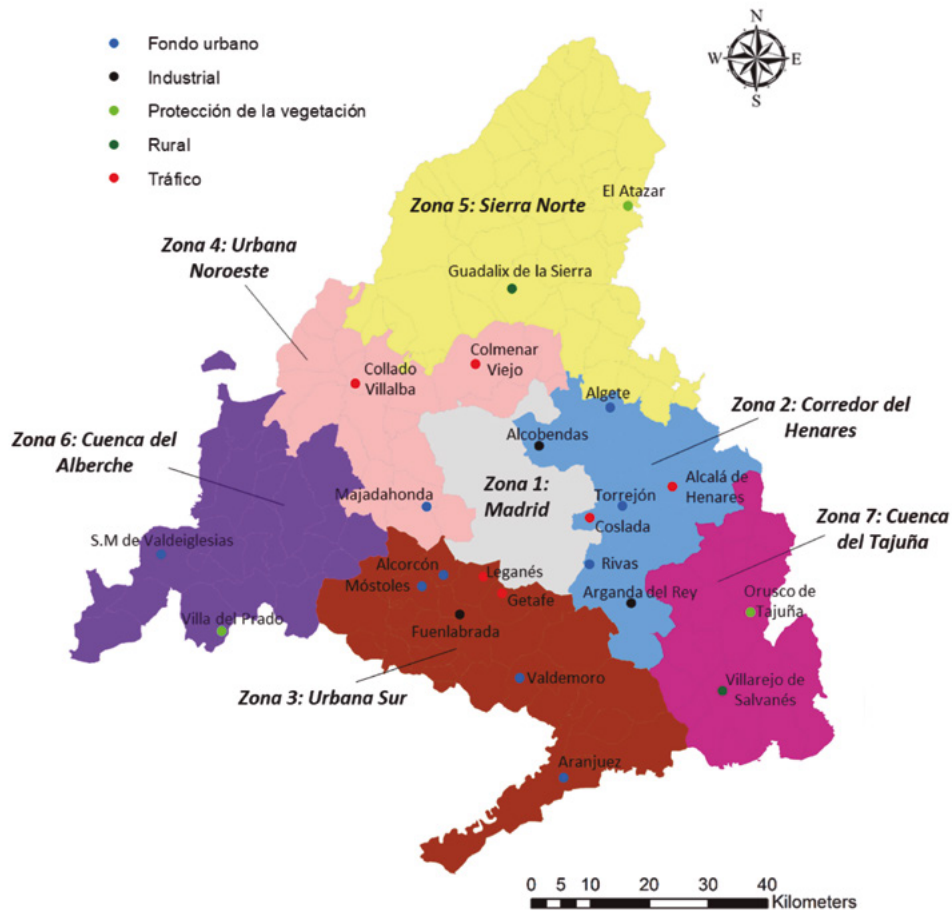


Figura 1. Zonificación y estaciones que forman la red de vigilancia de la Comunidad de Madrid

Las estaciones de la Red se clasifican en función del objetivo primordial de las mediciones que realizan. De este modo existen 3 estaciones para la protección de los ecosistemas (Orusco de Tajuña, Villa de Prado y El Atazar) y 20 estaciones para la protección de la salud humana. Estas veinte, a su vez, se clasifican en 9 estaciones de fondo (Torrejón de Ardoz, Móstoles, Alcorcón, Majadahonda, Aranjuez, Rivas-Vaciamadrid, Algete, Valdemoro y San Martín de Valdeiglesias), 3 industriales (Fuenlabrada, Alcobendas y Arganda del Rey), 2 estaciones rurales (Villarejo de Salvanés y Guadalix de la Sierra) y 6 estaciones de tráfico (Leganés, Alcalá de Henares, Getafe, Coslada, Colmenar Viejo y Collado Villalba), según se muestra en la **Figura 1**.

La Comunidad de Madrid tiene su territorio clasificado en 7 zonas o áreas homogéneas en cuanto a la calidad del aire se refiere. Con esta clasificación se dispone de herramientas de gestión para mejorar la calidad del aire de la Comunidad de Madrid en cada zona del territorio, según sus necesidades específicas. Esta zonificación se realizó siguiendo criterios objetivos de densidad de población, crecimiento industrial, usos del suelo, orografía, etc. Como resultado del análisis, la Comunidad de Madrid se dividió en siete zonas que agrupan términos municipales contiguos con características medioambientales similares:

- Zona 1: Madrid (604 km²)
- Zona 2: Corredor del Henares (915 km²)

- Zona 3: Urbana Sur (1413 km²)
- Zona 4: Urbana Noroeste (1016 km²)
- Zona 5: Sierra Norte (1951 km²)
- Zona 6: Cuenca del Alberche (1181 km²)
- Zona 7: Cuenca del Tajuña (942 km²)

Las cuatro primeras zonas se caracterizan como aglomeraciones urbanas (municipio de Madrid, Corredor del Henares, Urbana Sur y Urbana Noroeste). Las otras tres como zonas rurales (Sierra Norte, Cuenca del Alberche y Cuenca del Tajuña). A consecuencia de esta zonificación, los incumplimientos del valor límite anual de NO₂ en la estación de Coslada y del valor límite horario y Getafe suponen el incumplimiento para el conjunto de las zonas 2 y 3 respectivamente.

En ninguna estación de la red se observaron superaciones de los valores límite para material particulado. No obstante, en 2015 se registraron valores superiores a los valores guía propuestos por la OMS. Dada la relevancia de las partículas (PM₁₀ y PM_{2,5}) de cara a su efecto en la salud, se analiza también el efecto previsible de la estrategia para estos contaminantes.

A.IV. 4. ESTIMACIÓN DEL IMPACTO EN TÉRMINOS DE EMISIÓN

A.IV. 4.1. ESTIMACIÓN DEL IMPACTO INDIVIDUAL DE LAS MEDIDAS ADICIONALES DEL PLAN AZUL+ EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES

En este apartado se detallan cada una de las medidas adicionales propuestas en la revisión del Plan Azul+, y susceptibles de ser cuantificadas en términos de emisiones. El conjunto de estas medidas se puede agrupar en dos grandes programas sectoriales: el transporte (medidas A-1, A-2, A-3, A-4, A-6 y A-9) y el sector RCI (medida A-18).

En cuanto a las medidas cuantificables relacionadas con el sector transporte existen dos líneas de actuación principales. La línea de actuación 1 se relaciona con la mejora de la tecnología de los vehículos y el consumo de combustibles menos contaminantes. Dentro de esta línea se enmarcan las siguientes medidas adicionales:

- Medida A-1, complementaria a la medida número 1 del Plan Azul+. Su objetivo es la transformación de la flota de vehículos autotaxi, incentivando la compra de vehículos con tecnologías o combustibles menos contaminantes (ECO o CERO)
- Medida A-2, complementaria a la medida número 4 del Plan Azul+. El objetivo de esta medida es la sustitución de vehículos pertenecientes a las flotas públicas por modelos CERO y ECO
- Medida A-3, complementaria a la medida número 5 del Plan Azul+. Su objetivo es la progresiva renovación de la flota de autobuses urbanos e interurbanos con vehículos propulsados con energías alternativas (VEA)
- Medida A-4, complementaria a la medida número 6 del Plan Azul+. Esta medida

adicional tiene como objetivo modernizar el parque móvil de la región incorporando turismos y vehículos comerciales más eficientes. Para ello se contempla un plan de incentivos a los vehículos comerciales eficientes, auxiliares y de servicios (PIVCEM).

- Medida A-6, complementaria a las medidas 3 y 6 del Plan Azul+. Su objetivo es incentivar la adquisición de vehículos eléctricos y vehículos de bajas emisiones en la comunidad autónoma. Para ello, la Comunidad de Madrid habilita una nueva línea de ayudas para incentivar la adquisición de vehículos con energías alternativas.

La línea de actuación 2, dentro de las medidas que afectan al sector del transporte, busca reducir el volumen de tráfico privado, objetivo que se concreta en una medida:

- Medida A-9, complementaria a la medida número 8 del Plan Azul+. Esta medida adicional tiene como objetivo reducir los recorridos que realiza el vehículo privado dentro de la comunidad autónoma. Para ello, el gobierno regional promoverá distintos aparcamientos disuasorios (PLAN APARCA+T) en estaciones ferroviarias de cercanías, paradas de autobuses interurbanos e intercambiadores de transporte en la corona metropolitana de Madrid.

Por último, la medida adicional A-18 está relacionada con el sector RCI:

- Medida A-18, complementaria a la medida número 33 del Plan Azul+. El objetivo de esta medida es la mejora de la eficiencia energética de los edificios e instalaciones de la Comunidad de Madrid, así como la racionalización del gasto energético, el uso de las energías renovables y de la cogeneración (autoconsumo).

Una vez definidas las medidas, y considerando la información disponible para cada una ellas, se ha procedido a cuantificar su efecto individualizado en términos de emisión a la atmósfera, utilizando métodos consistentes con la metodología de cálculo del inventario de emisiones a la atmósfera de la Comunidad de Madrid. Los contaminantes considerados han sido: CO₂, NO_x y el material particulado, tanto PM_{2,5} como PM₁₀. La cuantificación se refiere a la diferencia entre las emisiones del escenario base (año 2015) y el año 2020. El resultado de esta estimación se resume en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Estimación del impacto individual de las medidas adicionales al Plan Azul+ en términos de reducción de emisiones de CO₂, NO_x, PM_{2,5} y PM₁₀.

Descripción de la medida (código)	Reducción de emisiones (t/año)			
	CO ₂	NO _x	PM _{2,5}	PM ₁₀
Aumento de la dotación económica para la modernización de la flota de vehículos autotaxi, PIAM. (A-1)	9113	59	4	4
Impulso hacia una flota institucional de bajas de emisiones. (A-2)	1023	6	<0,1	<0,1
Hacia una flota de autobuses urbanos e interurbanos de bajas emisiones (incluye la renovación de la flota de autobuses de la EMT, también considerada en el Plan A). (A-3)	16233	503	9	9

Descripción de la medida (código)	Reducción de emisiones (t/año)			
	CO ₂	NO _x	PM _{2,5}	PM ₁₀
Plan de Incentivos a los vehículos comerciales eficientes, auxiliares y de servicios (PIVCEM). Impulso del Renting para la adquisición de vehículos de bajas emisiones. (A-4)	1674	21	2	2
Incentivar adquisición de vehículos eléctricos y otras tecnologías de bajas emisiones en la Comunidad de Madrid. (A-6)	2944	14	1	1
Plan APARCA+T. Ampliación de la red de aparcamientos disuasorios. (A-9)	18730	45	3	3
Total Transporte	49717	649	18	19
Plan de Ahorro y Eficiencia Energética en los edificios de la Comunidad de Madrid. (A-18)	4000	7	18	18
Total	53717	656	37	38

El conjunto de las medidas supone una reducción del 1,3% (NO_x), 0,7% (PM_{2,5}) y 0,5% (PM₁₀), respecto a las emisiones totales de los respectivos contaminantes en el año 2015, de acuerdo al inventario de emisiones de la Comunidad de Madrid.

A.IV. 4.2. EMISIONES EN EL ESCENARIO BASE Y ESCENARIO 2020

En este apartado se muestran las emisiones calculadas para el conjunto de actividades emisoras en la Comunidad de Madrid e introducidas como datos de entrada en el sistema de simulación de la calidad del aire. La **Tabla 3** recoge las emisiones de los principales contaminantes emitidos a la atmósfera en el escenario base (2015), desagregadas por grupo SNAP (*Selected Nomenclature for Air Pollution*; nomenclatura y categorización de actividades potencialmente emisoras empleada en la elaboración de inventarios de emisión a la atmósfera), conforme al Inventario de emisiones de la Comunidad de Madrid. Análogamente, la **Tabla 4** recoge las emisiones para el escenario 2020, tras la aplicación del Plan Azul+, junto con las medidas adicionales y cuantificadas de su revisión, así como con la proyección de emisiones a 2020. El impacto global para los principales contaminantes atmosféricos, en términos absolutos y relativos, se resume, para cada grupo SNAP, en la **Tabla 5** y **Tabla 6**, respectivamente.

Tabla 3. Emisiones de los principales contaminantes atmosféricos en el escenario base (año 2015)

Grupo SNAP	Emisiones 2015 (t)						
	CO	COVNM	NH ₃	NO _x	PM ₁₀	PM _{2,5}	SO ₂
01 Combustión en la producción y transformación de energía eléctrica	527	2	0	293	52	52	0
02 Combustión no industrial	10295	1459	0	7475	1340	1305	1132
03 Combustión industrial	3430	533	0	3329	284	197	1087

Grupo SNAP	Emisiones 2015 (t)						
	CO	COVNM	NH ₃	NO _x	PM ₁₀	PM _{2,5}	SO ₂
04 Otros procesos industriales	2272	641	0	48	5	5	30
05 Distribución combustible	0	1732	0	0	1	0	0
06 Uso de disolventes	0	47250	5	0	0	0	0
07 Transporte por carretera ¹	44550	3940	375	33605	4876	3765	38
08 Otras fuentes móviles	2457	196	0	3776	55	55	257
09 Tratamiento de residuos	251	15	103,0	189	8	8	1
10 Agricultura ²	431	60	2675	115	237	56	5
11 Naturaleza ²	180	16	837	17	1	0	1
Total	64393	55845	3996	48848	6858	5443	2551

¹ En las emisiones de material particulado están incluidas las emisiones procedentes de la resuspensión inducida por el tráfico rodado; fuente no considerada en los inventarios oficiales

² En la tabla no están incluidas las emisiones de COVNM procedentes de la agricultura y la naturaleza. Estas emisiones proceden del modelo de emisiones biogénicas MEGANv2.1 y son calculadas durante la ejecución del modelo considerando las condiciones meteorológicas concurrentes en cada momento.

Tabla 4. Emisiones de los principales contaminantes atmosféricos en el escenario 2020

Grupo SNAP	Emisiones 2020 (t)						
	CO	COVNM	NH ₃	NO _x	PM ₁₀	PM _{2,5}	SO ₂
01 Combustión en la producción y transformación de energía eléctrica	527	2	0	293	52	52	0
02 Combustión no industrial	9828	1420	0	7382	1216	1186	935
03 Combustión industrial	3430	533	0	3329	284	197	1087
04 Otros procesos industriales	2272	641	0	48	5	5	30
05 Distribución combustible	0	1732	0	0	1	0	0
06 Uso de disolventes	0	47250	5	0	0	0	0
07 Transporte por carretera	31693	2364	337	24181	4313	3215	37
08 Otras fuentes móviles	2457	196	0	3776	55	55	257
09 Tratamiento de residuos	324	15	103	201	10	8	1
10 Agricultura	431	60	2675	116	237	56	5
11 Naturaleza	180	16	837	17	1	0	1
Total	51142	54229	3958	39343	6173	4775	2352

Se tienen en cuenta las mismas consideraciones que para el escenario base en lo referente a la resuspensión del material particulado inducida por el tráfico rodado y a las emisiones de COVNM procedentes de la agricultura y la naturaleza

Tabla 5. Variación absoluta de emisiones de las principales sustancias relevantes para la calidad del aire (escenario 2020 – escenario base)

Grupo SNAP	Variación de emisiones (t/año); valores negativos implican reducción						
	CO	COVNM	NH ₃	NO _x	PM ₁₀	PM _{2,5}	SO ₂
01 Combustión en la producción y transformación de energía eléctrica							
02 Combustión no industrial	-467	-39	0	-93	-124	-119	-197
03 Combustión industrial							
04 Otros procesos industriales							
05 Distribución combustible							
06 Uso de disolventes							
07 Transporte por carretera	-12857	-1576	-38	-9423	-563	-550	-1
08 Otras fuentes móviles							
09 Tratamiento de residuos	73	0	0	12	2	0	0
10 Agricultura							
11 Naturaleza							
Total	-13251	-1615	-38	-9505	-685	-669	-198

Tabla 6. Variación relativa de emisiones de las principales sustancias relevantes para la calidad del aire (escenario 2020 – escenario base)

Grupo SNAP	Variación de emisiones (%); valores negativos implican reducción						
	CO	COVNM	NH ₃	NO _x	PM ₁₀	PM _{2,5}	SO ₂
01 Combustión en la producción y transformación de energía eléctrica							
02 Combustión no industrial	-4,5	-2,7	0	-1,2	-9,3	-9,1	-17,4
03 Combustión industrial							
04 Otros procesos industriales							
05 Distribución combustible							
06 Uso de disolventes							
07 Transporte por carretera	-28,9	-40,0	-10,1	-28,0	-11,6	-14,6	-3,1
08 Otras fuentes móviles							
09 Tratamiento de residuos	29,1	0	0	6,2	24,9	0	0
10 Agricultura							
11 Naturaleza							
Total	-20,6	-2,9	-0,9	-19,5	-10,2	-12,3	-7,8

A.IV. 5. ESTIMACIÓN DEL IMPACTO EN LA CALIDAD DEL AIRE

5.1. METODOLOGÍA

Una vez evaluada la reducción de emisiones de las medidas adicionales cuantificables, se ha procedido a analizar el efecto conjunto de todas ellas en la calidad del aire, con un horizonte temporal 2020. Para ello, se ha simulado de forma simultánea el efecto resultante de la combinación de todas las medidas individuales, junto con la propia evolución de los diferentes sectores proyectando sus emisiones al año 2020, año de aplicación de todas las medidas del Plan Azul+ (y su revisión) y del Plan A del Ayuntamiento de Madrid, cuyo efecto se ha estimado usando métodos perfectamente consistentes. Esta metodología dificulta el análisis del impacto en la calidad del aire de las medidas a nivel individual, pero permite considerar efectos sinérgicos e interrelaciones y, por tanto, proporciona una estimación consistente en cuanto a los niveles de calidad del aire esperables en un futuro cercano.

Para ello, se ha utilizado un modelo de simulación de la calidad del aire multi-escala y multi-contaminante que permite obtener las concentraciones de los distintos contaminantes en función de las variaciones de emisión asumidas. El sistema de simulación constituye una herramienta óptima para evaluar las interacciones entre todas las fuentes y ámbitos geográficos, y así proporcionar una visión general de la concentración a nivel regional. Los detalles del sistema de simulación se incluyen en el **Anexo I** de este documento.

El dominio utilizado en el análisis (**Figura 2**) tiene una resolución horizontal de 1 km² y unas dimensiones de 136 km en dirección E-O y 144 km en dirección N-S; suficiente para contener la totalidad de la Comunidad de Madrid. Debido a la irregularidad geométrica de la frontera administrativa de la Comunidad de Madrid, el dominio engloba parcialmente las provincias limítrofes. El modelo digital del terreno ayuda a interpretar algunos de los resultados que se exponen en los siguientes apartados; la presencia de la sierra de Guadarrama y los valles de los distintos ríos influyen en las condiciones meteorológicas y, por tanto, en la dispersión de los distintos contaminantes.

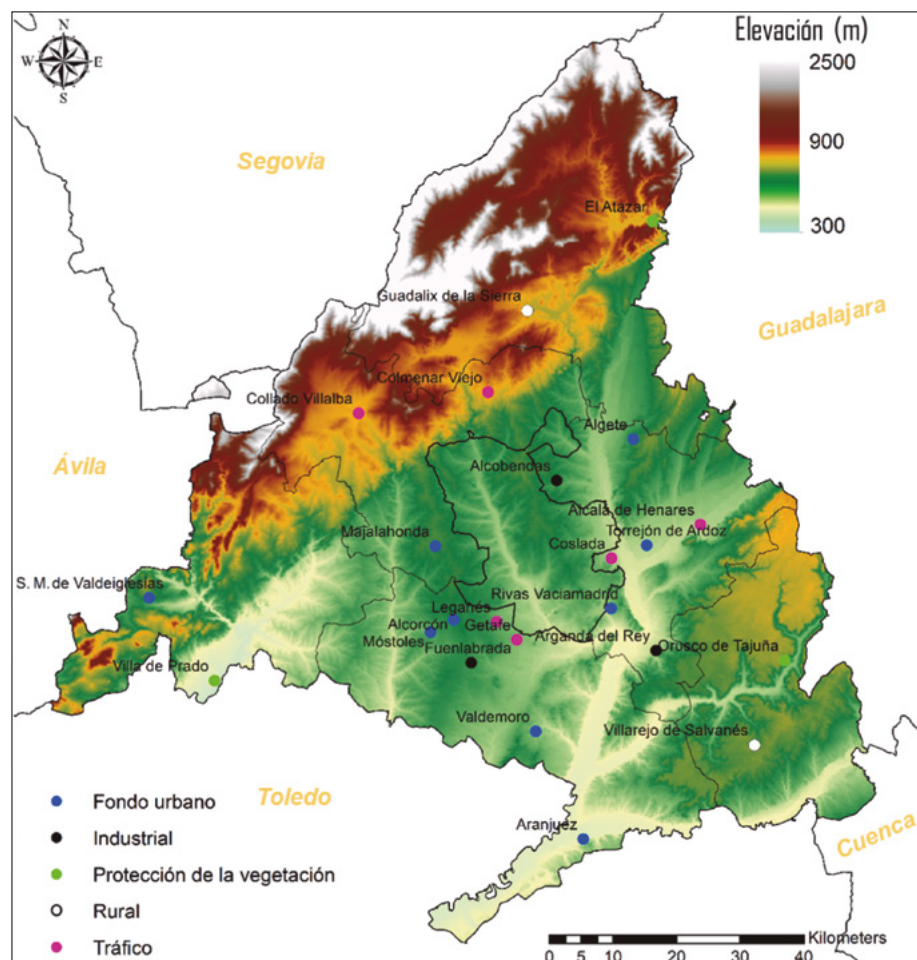


Figura 2. Dominio de simulación utilizado para la evaluación de los niveles de concentración de NO_2 y material particulado (PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$) incluyendo la zonificación de la Comunidad de Madrid, el modelo digital de elevaciones (DEM) y la distribución de las estaciones de la red de vigilancia de la calidad del aire

5.2. RESULTADOS

Todos los resultados mostrados en este apartado se corresponden con las predicciones del sistema de modelización para el dominio representado en la Figura 2. Este punto consta de cinco epígrafes en los que se resumen los resultados obtenidos para los parámetros relevantes según la legislación vigente (Tabla 1):

- media anual de NO_2 , que no debe exceder los $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la protección de la salud humana.
- percentil 99,8 de la serie anual de concentraciones horarias de NO_2 (19º valor más alto), que no debe superar los $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- media anual de PM_{10} cuyo valor límite para la protección de la salud humana es de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- percentil 90,4 de los promedios diarios de PM_{10} , lo que corresponde al 36º valor más alto, que no debe superar los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- media anual de $PM_{2.5}$, cuyo valor límite para la salud humana se establece en $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (a partir de 2020)

En todos los casos se muestran las diferencias entre los dos escenarios (escenario 2020 – escenario base) en términos relativos y absolutos, con el objetivo de analizar los patrones espaciales de las diferencias y así localizar en qué lugar del dominio son más efectivas las medidas adoptadas por el Plan Azul+ y su revisión.

A.IV. 5.2.1. Media anual de NO_2

Los resultados de la simulación pronostican un claro descenso de los niveles de concentración de NO_2 en 2020 para todo el dominio y más concretamente en el entorno de las principales vías de comunicación de la Comunidad de Madrid. Esta circunstancia es consecuencia primordialmente de la reducción de emisiones de NO_x en el sector transporte (aproximadamente un 28% en 2020 respecto a 2015). En la **Figura 3** se muestran los valores correspondientes a la media anual (parámetro más restrictivo en relación al cumplimiento de los valores límite establecidos legalmente y coincidente con el valor guía definido por la OMS) para el escenario base y el año 2020. Examinando los patrones espaciales de ambos mapas, se observa que los niveles de concentración de NO_2 están dominados principalmente por el tráfico rodado, localizándose los valores más altos en el centro de la ciudad de Madrid.

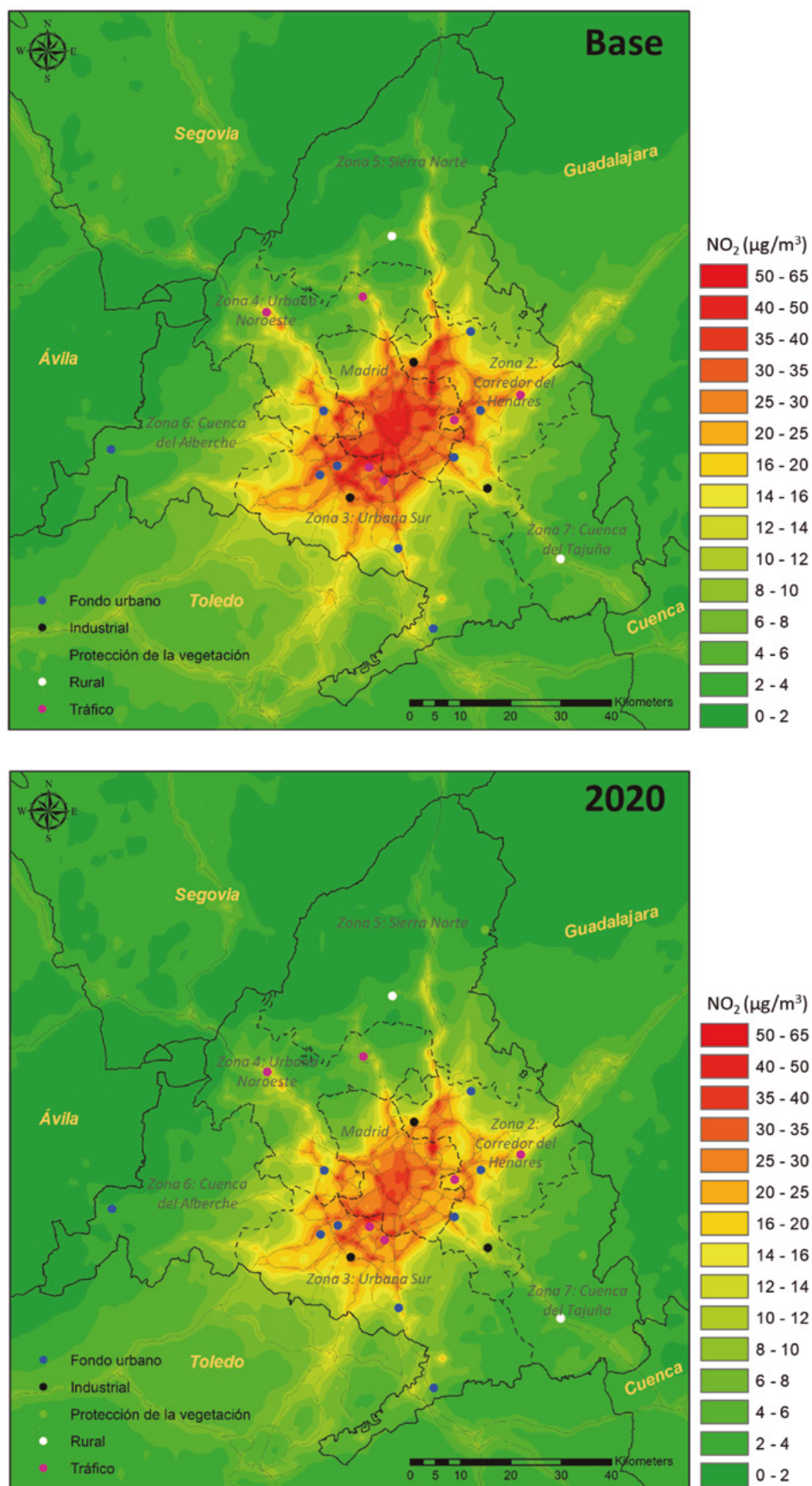


Figura 3. Concentración media anual de NO₂ predicha para el escenario base (arriba) y el año 2020 (abajo)

La media anual de concentración de NO₂ correspondiente al área total de la Comunidad de Madrid es de 9,6 µg/m³ para el escenario base, que pasaría a 7,9 µg/m³ en el año 2020: descenso del 17,1%, que en términos absolutos equivale a 1,7 µg/m³ (Tabla 7).

La zona de calidad del aire con el promedio anual más alto es la zona 1 (ciudad de Madrid), con un valor de 26,1 µg/m³. En ella también se localiza la mayor reducción de concentración como consecuencia de la aplicación de las diferentes estrategias y planes de mejora de la calidad del aire llevada por las distintas administraciones: descenso de 5 µg/m³, equivalente a una reducción porcentual del 19,4%. En algunos puntos del centro de la ciudad esa reducción puede llegar hasta 10 µg/m³ (un 23% de reducción). A continuación, las zonas 2 (Corredor del Henares) y 3 (Urbana Sur) tienen promedios anuales de 15,7 y 14,6 µg/m³ en el escenario base, mientras que para el escenario 2020 los niveles de concentración se reducen en torno a 2,8 y 2,5 µg/m³, respectivamente. En estas dos zonas, las reducciones relativas máximas rondan el 20%. La zona 4 (Urbana Noroeste) presenta una media anual de 9,5 µg/m³ en el escenario base, mientras que en el año 2020 baja hasta 7,6 µg/m³, suponiendo una reducción absoluta de 2 µg/m³ (20,4% en términos relativos). Las zonas 5, 6 y 7, caracterizadas por estar lejos de aglomeraciones urbanas importantes, son las que menores promedios anuales registran: 3,4, 4,8 y 4,5 µg/m³, respectivamente. No obstante, en algunas localizaciones donde el tráfico tiene más peso, las reducciones relativas pueden llegar al 25%.

Tabla 7. Resumen de los principales resultados en relación a la media anual de NO₂ para cada zona y para el conjunto de la Comunidad de Madrid: promedio de la zona (escenarios base y 2020), variación absoluta (media y máxima) y variación relativa (media y máxima)

Zonificación calidad del aire	Media anual (µg/m ³)		Variación (Media / Máxima)	
	Base	2020	Absoluta (µg/m ³)	Relativa (%)
Zona 1: Madrid	26,1	21,2	-4,9 / -10,0	-19,4 / -23,0
Zona 2: Corredor del Henares	15,7	12,8	-2,8 / -9,0	-17,5 / -21,0
Zona 3: Urbana Sur	14,6	12,1	-2,5 / -11,5	-15,6 / -20,9
Zona 4: Urbana Noroeste	9,5	7,6	-2,0 / -9,3	-20,4 / -24,8
Zona 5: Sierra Norte	3,4	2,8	-0,6 / -4,2	-17,0 / -24,9
Zona 6: Cuenca del Alberche	4,8	3,9	-0,9 / -3,6	-18,3 / -23,2
Zona 7: Cuenca del Tajuña	4,5	3,9	-0,6 / -3,6	-12,3 / -23,0
Comunidad de Madrid	9,6	7,9	-1,7 / -11,5	-17,1 / -24,9

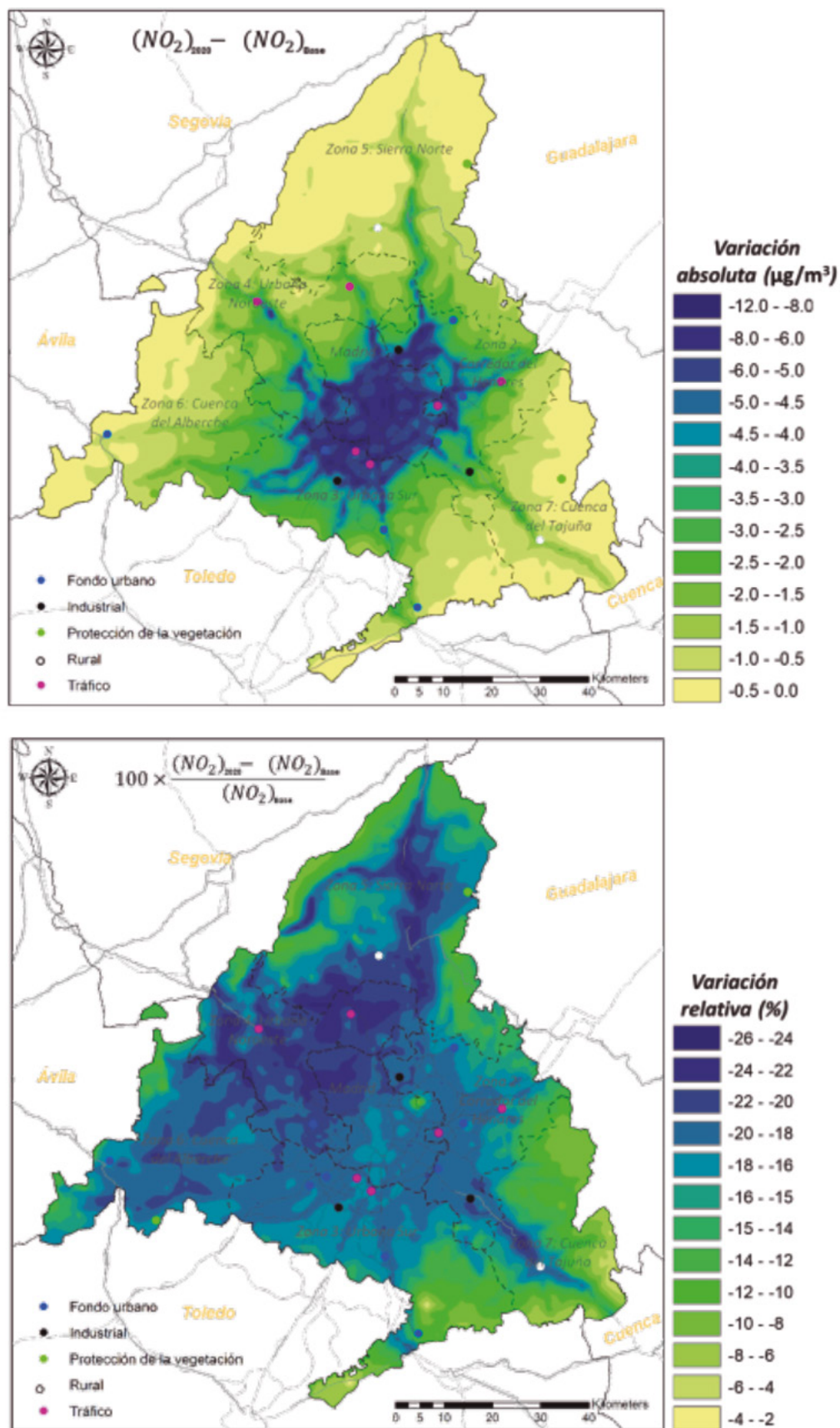


Figura 4. Variación de la concentración media anual de NO₂ absoluta (arriba) y relativa (abajo)

La **Figura 4** ilustra claramente la reducción generalizada de los niveles de concentración de NO_2 esperables en toda la región, tanto en términos absolutos como relativos. La variación más importante en términos absolutos se localiza en el centro de la ciudad de Madrid, muy especialmente donde se presenta una mayor intensidad del tráfico rodado (Paseo de la Castellana, Calle 30 o M40). En esos puntos, se pueden alcanzar reducciones absolutas de hasta $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, equivalente a una reducción porcentual aproximada del 19% para toda el área del municipio de Madrid. En las zonas periféricas, las reducciones son menores, localizándose en las vías y núcleos urbanos con mayor intensidad de tráfico. Cabe destacar que las reducciones porcentualmente más importantes se localizan alrededor de las vías principales (autovías A1, A3 y A6), lejos de cualquier influencia de otra fuente de emisión. En estos lugares, la contribución del tráfico hace que las reducciones lleguen hasta valores de un 26%.

A.IV. 5.2.2. Percentil horario 99,8 de NO_2

La evolución de los picos de concentración se puede evaluar a través del análisis de la variación pronosticada para el 1º valor horario más alto de la serie anual de concentraciones; es decir el percentil 99,8 de la serie anual (indicador utilizado para definir el valor límite horario en el Real Decreto 102/2011).

De forma análoga a la media anual, se produce un descenso generalizado (Figura 5), que, como media para el conjunto del dominio, alcanza un 16,5%, lo que supone una reducción de $8,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio en valor absoluto. Los patrones espaciales correspondientes al percentil 99,8 están marcados mayoritariamente por la influencia del tráfico rodado. Estos máximos se dan en las vías e intersección de vías más importantes, donde las emisiones procedentes del tráfico son especialmente importantes. Por ejemplo, en el eje de la Castellana y en algunos tramos de la Calle 30 se alcanzan valores que pueden superar los $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el escenario base y los $175 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2020 (Figura 5). En ambos escenarios se puede apreciar la influencia del término municipal de Madrid sobre las áreas adyacentes (Figura 5), debido en gran medida a la componente principal de la dirección del viento (en este caso es NE-SO), característica del ámbito de estudio y provocada por la presencia del Sistema Central (Sierra de Guadarrama), que interviene de forma muy importante en la circulación general del viento. Cabe destacar que, en el escenario 2020, esos niveles de concentración máxima son menores y el área de influencia disminuye.

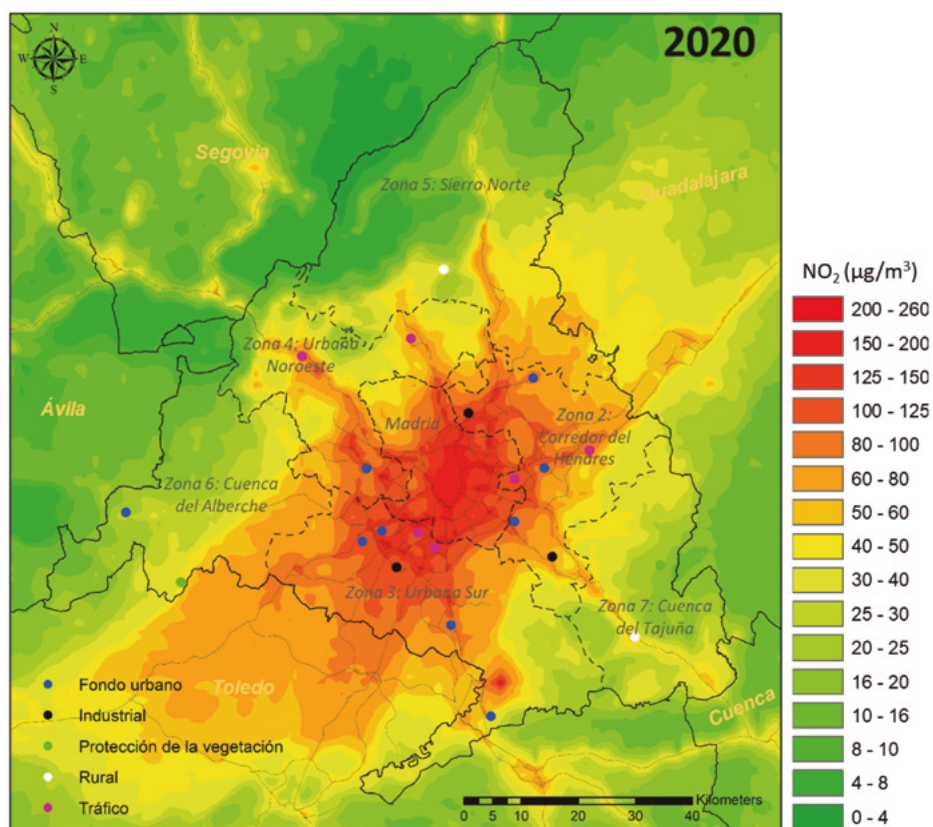
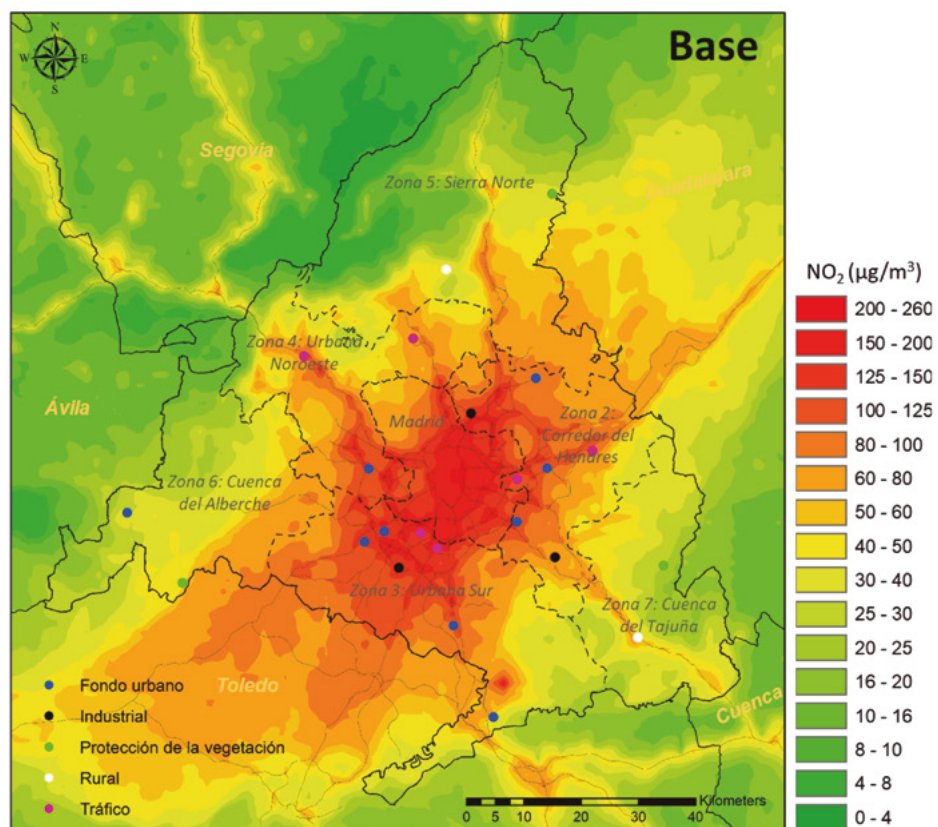


Figura 5. Percentil horario 99,8 de la concentración de NO₂ de la serie anual predicha para el escenario base (arriba) y 2020 (abajo)

En lo que respecta a las variaciones de este indicador entre ambos escenarios, la **Figura 6** muestra como los cambios más reseñables en términos absolutos se producen en el interior del municipio de Madrid, con reducciones máximas que pueden alcanzar los 35-40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el Paseo de la Castellana y en el sector este de la Calle 30, así como en algunas intersecciones importantes de la autovía de circunvalación M40. Como promedio, la reducción dentro de la zona 1 (municipio de Madrid) es igual a 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que equivale a una variación en los niveles de concentración de NO_2 del 12,7%. En la zona 2 y 3, los promedios en el año base se reducen sustancialmente con respecto a la zona 1, con valores de 83,5 y 82,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y las reducciones obtenidas en 2020 ascienden a 11 y 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. En el caso de la zona 4, los escenarios base y 2020 tienen un promedio del percentil 99,8 igual a 63,4 y 52,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, lo que supone una reducción absoluta entre ellos igual a 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (variación del 19%). Esta reducción se debe a la contribución de las emisiones procedentes del tráfico rodado respecto a las del resto de los sectores y a la influencia de la zona 1 (Madrid), menor que en el caso de las zonas 2 y 3 como consecuencia de la circulación general del viento predominante. En el resto de las zonas (5, 6 y 7) los valores de máximos se reducen en 2020 hasta niveles que varían entre 24 y 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con reducciones absolutas entre 4 y 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (**Tabla 8**).

Tabla 8. Resumen de los principales resultados en relación al percentil horario 99,8 de concentración de NO_2 para cada zona y para el conjunto de la Comunidad de Madrid: promedio de la zona (escenarios base y 2020), variación absoluta (media y máxima) y variación relativa (media y máxima).

Zonificación calidad del aire	Percentil 99,8 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Variación (Media / Máxima)	
	Base	2020	Absoluta ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Relativa (%)
Zona 1: Madrid	129,2	113,2	-16,0 / -38,6	-12,7 / -24,9
Zona 2: Corredor del Henares	83,5	72,5	-11,0 / -27,6	-13,8 / -24,6
Zona 3: Urbana Sur	82,4	73,3	-9,1 / -40,6	-10,9 / -26,6
Zona 4: Urbana Noroeste	63,4	52,5	-10,9 / -34,0	-19,0 / -30,2
Zona 5: Sierra Norte	30,6	24,5	-6,1 / -18,2	-21,2 / -33,0
Zona 6: Cuenca del Alberche	38,2	31,1	-7,1 / -15,3	-20,7 / -31,8
Zona 7: Cuenca del Tajuña	34,2	29,9	-4,3 / -15,2	-12,2 / -26,0
Comunidad de Madrid	58,9	50,4	-8,5 / -40,6	-16,5 / -33,0

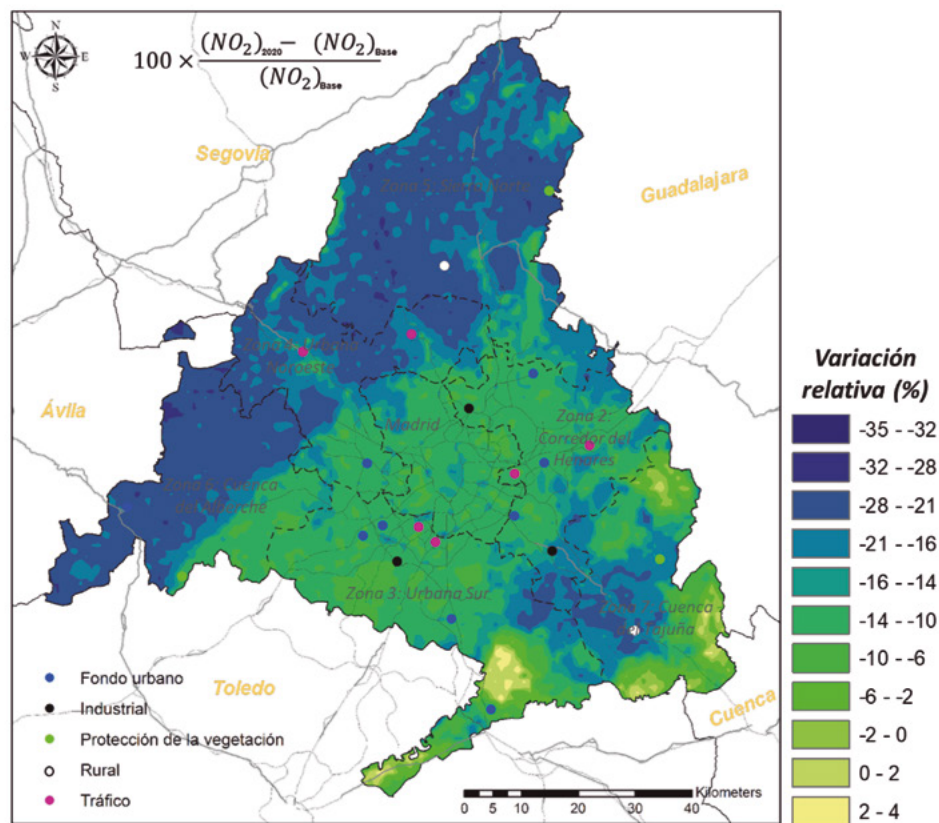
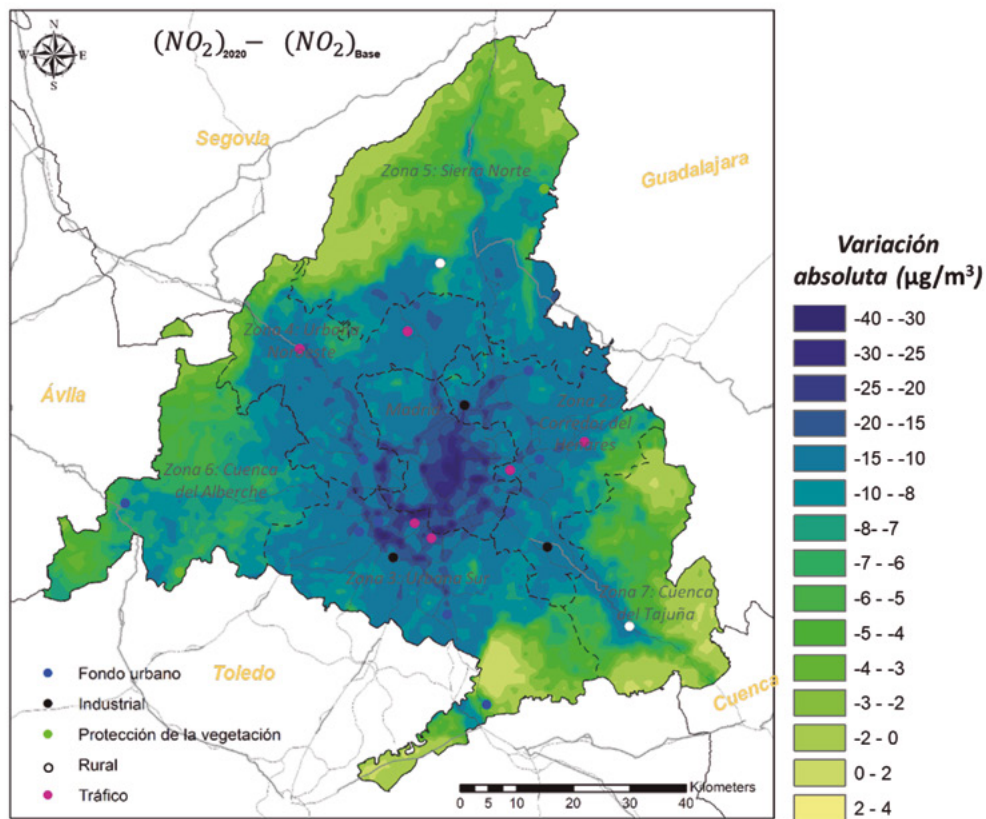


Figura 6. Variación absoluta (arriba) y relativa (abajo) del percentil horario 99,8 de concentración de NO_2 (19º valor anual más alto)

El patrón espacial (**Figura 6**) muestra que las mayores reducciones se producen a lo largo del Sistema Central, con reducciones del 20-25%. Esto es debido a que los niveles de concentración en estas zonas son muy pequeños y el peso del tráfico, pese a su escasa magnitud, es muy importante, por lo que una pequeña reducción de sus emisiones se traduce en una reducción porcentual importante. Por el contrario, en las zonas Urbana Sur y Corredor del Henares, las reducciones son menores (12-15%), debido a la influencia de la zona 1 y a que en dichas zonas los niveles de concentración son relativamente altos por la presencia de grandes núcleos de población. Esta circunstancia dibuja un patrón espacial con una franja NE-SO bien definida y marcada por la presencia de la Sierra de Guadarrama.

A.IV. 5.2.3. Media anual de PM_{10}

En cuanto a los resultados relacionados con el material particulado, la simulación pronostica un claro descenso en 2020 para ambas fracciones, PM_{10} y $PM_{2,5}$, en todo el dominio de simulación y muy especialmente en el entorno de las principales vías de comunicación de la Comunidad de Madrid. En lo que respecta a la fracción PM_{10} , este descenso es consecuencia de una reducción del 11,6% en las emisiones procedentes del tráfico rodado.

En la **Figura 7** se muestran los valores correspondientes a la media anual de PM_{10} para el escenario base y el año 2020. Examinando los patrones espaciales de ambos mapas, se observa que los niveles de concentración de PM_{10} están dominados principalmente por el tráfico rodado. Esto se debe a que este sector supone el 70% de las emisiones totales de PM_{10} . Los máximos de concentración se dan en el centro de la ciudad de Madrid y sobre las principales vías: Calle 30, M40, M50 y algunas de las autovías más importantes (A1, A5 y A6). Así, la zona 1 presenta valores promedio iguales a 14,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el escenario base y 13,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2020 (**Tabla 9**).

Cabe destacar lo que acontece en la zona 3. En ella, los niveles de concentración son también altos, como en la zona 1: 12,6 y 12,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el escenario base y en 2020, respectivamente. Estos niveles se deben, principalmente, a dos efectos. En primer lugar, dentro de la zona se ubican municipios muy poblados, como Leganés, Alcorcón y Getafe, que en la práctica conforman un continuo urbano con la ciudad de Madrid y contribuyen a una parte importante de las emisiones totales del dominio. En segundo lugar, existe una contribución muy importante del término municipal de Madrid como consecuencia del transporte de los contaminantes desde la ciudad de Madrid por efecto de la componente principal de la dirección del viento (NE-SO).

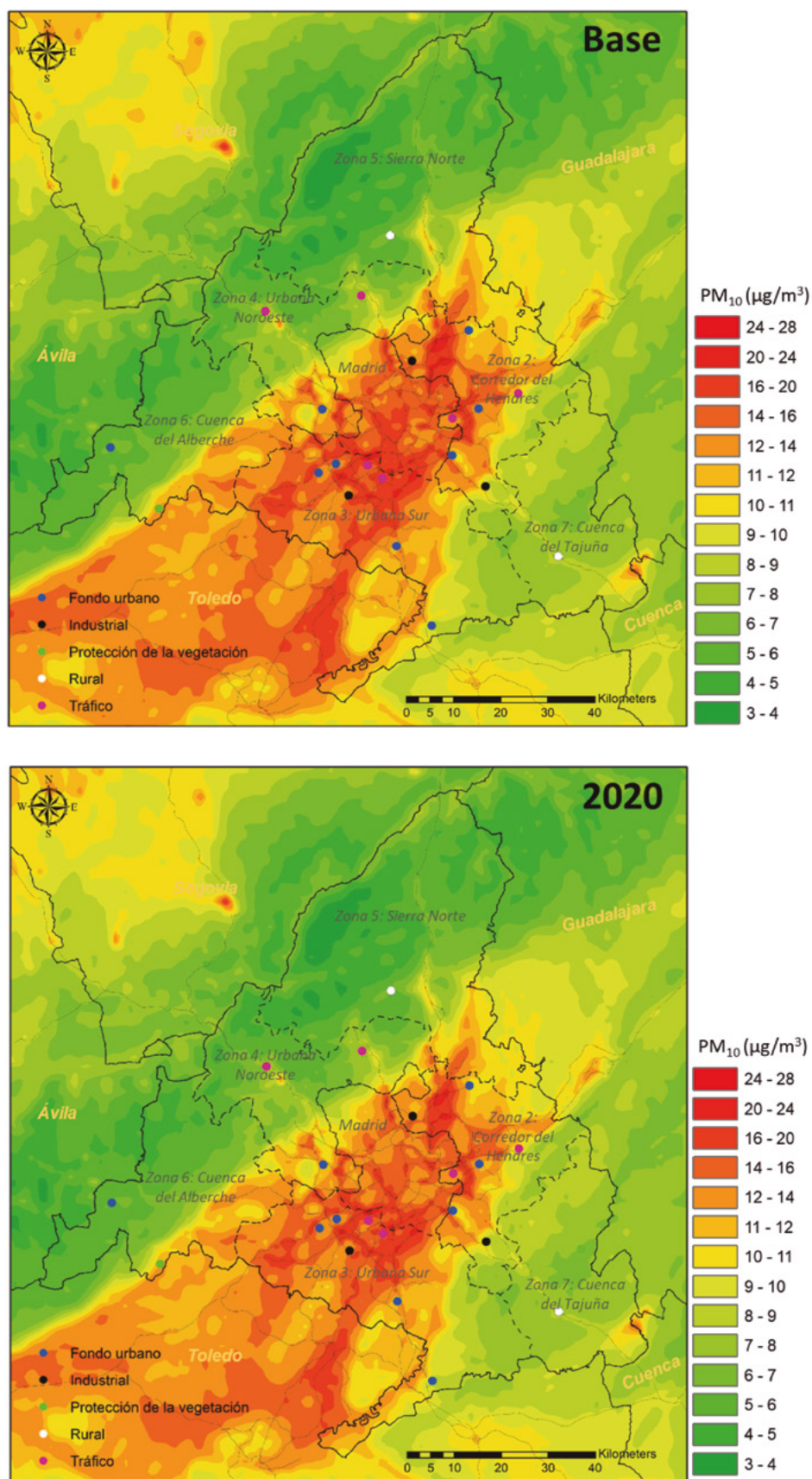


Figura 7. Concentración media anual de PM₁₀ predicha para el escenario base (arriba) y el año 2020 (abajo)

En la zona 2 el promedio anual es igual a 11,9 y 11,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en los escenarios base y 2020, respectivamente (**Tabla 9**), suponiendo una reducción porcentual promedio para toda la zona del 2,6%. Las reducciones relativas máximas se localizan en las autovías A1 y A2, ascendiendo al 5,4% (1,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en términos absolutos). En el resto de las zonas (4, 5, 6 y 7), los niveles de concentración son menores, variando entre 6,3 y 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el escenario base y 6,2 y 7,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el año 2020; inferiores a los valores promedio para el conjunto de la Comunidad Madrid, 9,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (escenario base) y 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (año 2020).

La **Figura 8** muestra las variaciones absolutas entre ambos escenarios. Se observa como los cambios más importantes se producen en el interior del municipio de Madrid, con una reducción promedio para toda la zona de 0,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y reducciones máximas de 1,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en algunos puntos de la Calle 30. En términos relativos, estas variaciones suponen una reducción aproximada del 4% como promedio y reducciones máximas del 6,3% en algunos puntos del interior del municipio. En las zonas 2, 3 y 4, las reducciones son muy similares, variando entre un 2,2 y un 2,6% como promedio en la zona (reducciones máximas del 6,2%). En el resto de las zonas (5, 6 y 7), las reducciones son menores, variando entre un 1,1 y un 1,8%. Para el conjunto de la Comunidad de Madrid, la reducción promedio de los niveles de concentración de PM_{10} es del 1,9%.

Tabla 9. Resumen de los principales resultados en relación al promedio anual de concentración de PM_{10} para cada zona y para el conjunto de la Comunidad de Madrid: promedio de la zona (escenarios base y 2020), variación absoluta (media y máxima) y variación relativa (media y máxima).

Zonificación calidad del aire	Media anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Variación (Media / Máxima)	
	Base	2020	Absoluta ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Relativa (%)
Zona 1: Madrid	14,2	13,6	-0,6 / -1,3	-3,8 / -6,3
Zona 2: Corredor del Henares	11,9	11,5	-0,3 / -1,4	-2,6 / -5,4
Zona 3: Urbana Sur	12,6	12,3	-0,3 / -1,7	-2,2 / -6,2
Zona 4: Urbana Noroeste	8,0	7,7	-0,2 / -1,4	-2,5 / -6,2
Zona 5: Sierra Norte	6,3	6,2	-0,1 / -0,5	-1,1 / -4,8
Zona 6: Cuenca del Alberche	7,5	7,3	-0,2 / -0,5	-1,8 / -4,5
Zona 7: Cuenca del Tajuña	8,0	7,9	-0,1 / -0,3	-1,1 / -3,4
Comunidad de Madrid	9,2	9,0	-0,2 / -1,7	-1,9 / -6,3

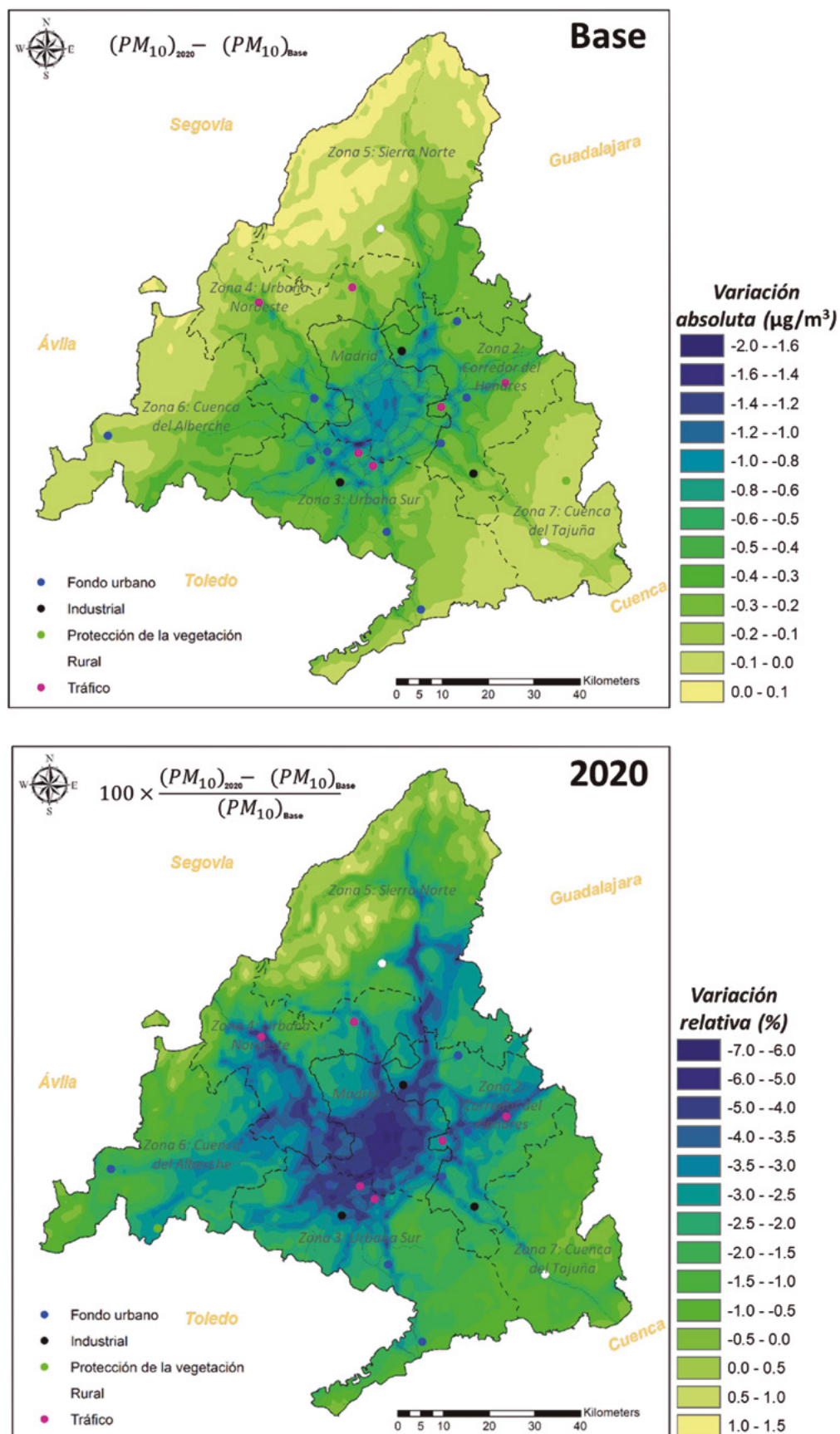


Figura 8. Variación de la concentración media anual de PM_{10} absoluta (arriba) y relativa (abajo)

A.IV. 5.2.4. Percentil diario 90,4 de PM₁₀

Para completar el estudio de los niveles de inmisión de PM₁₀, en este apartado se analiza el otro índice propuesto por la legislación en materia de calidad del aire; el valor límite diario de 50 µg/m³, del cual tan solo se permiten 35 superaciones en un año civil. Así, la **Figura 9** muestra el trigésimo sexto promedio diario más alto, es decir el percentil diario 90,4 de la serie anual. En ambos escenarios (base y 2020) se observa un patrón espacial muy marcado por la influencia del término municipal de Madrid sobre las áreas adyacentes, como consecuencia de la presencia de la componente principal de la dirección del viento (NE-SO), determinada por la presencia del Sistema Central (Sierra de Guadarrama). Adicionalmente, se suma el efecto provocado por la presencia de importantes zonas urbanas al SO de la ciudad de Madrid, las cuales son importantes focos de emisiones procedentes del tráfico rodado y del sector RCI.

Los máximos de concentración en la zona 1 siguen el patrón espacial marcado por el tráfico rodado, con valores promedio del percentil 90,4 situados en 35,4 y 33,8 µg/m³ para los escenarios base y 2020, respectivamente (una reducción de un 4,3%, y reducciones máximas del 9,4% en algunas localizaciones puntuales). Es importante señalar que, en el resto de las zonas, donde el sector del tráfico tiene menos peso, los niveles de concentración más altos están muy influenciados por la topografía. Así, esos niveles máximos se localizan en las principales depresiones y valles de los ríos que recorren la región de norte a sur (valles de los ríos Guadarrama, Jarama y Alberche) y de este a oeste (valles de los ríos Tajo y Henares).

En las zonas 2 y 3, los percentiles 90,4 de concentración para los escenarios base y 2020 son, respectivamente, 27,8 y 30,9 µg/m³, y 27,0 y 29,9 µg/m³, para cada una de las dos zonas. Por tanto, se obtienen reducciones porcentuales medias alrededor del 2,8%, presentándose algunas localizaciones dentro de estas zonas con reducciones máximas del 11,7% (hasta 4,6 µg/m³ de reducción en términos absolutos).

En el resto de las zonas (4, 5, 6 y 7), las reducciones en términos absolutos son menores: 0,2-0,7 µg/m³. Para el conjunto de la Comunidad de Madrid, la reducción promedio asciende a 0,6 µg/m³.

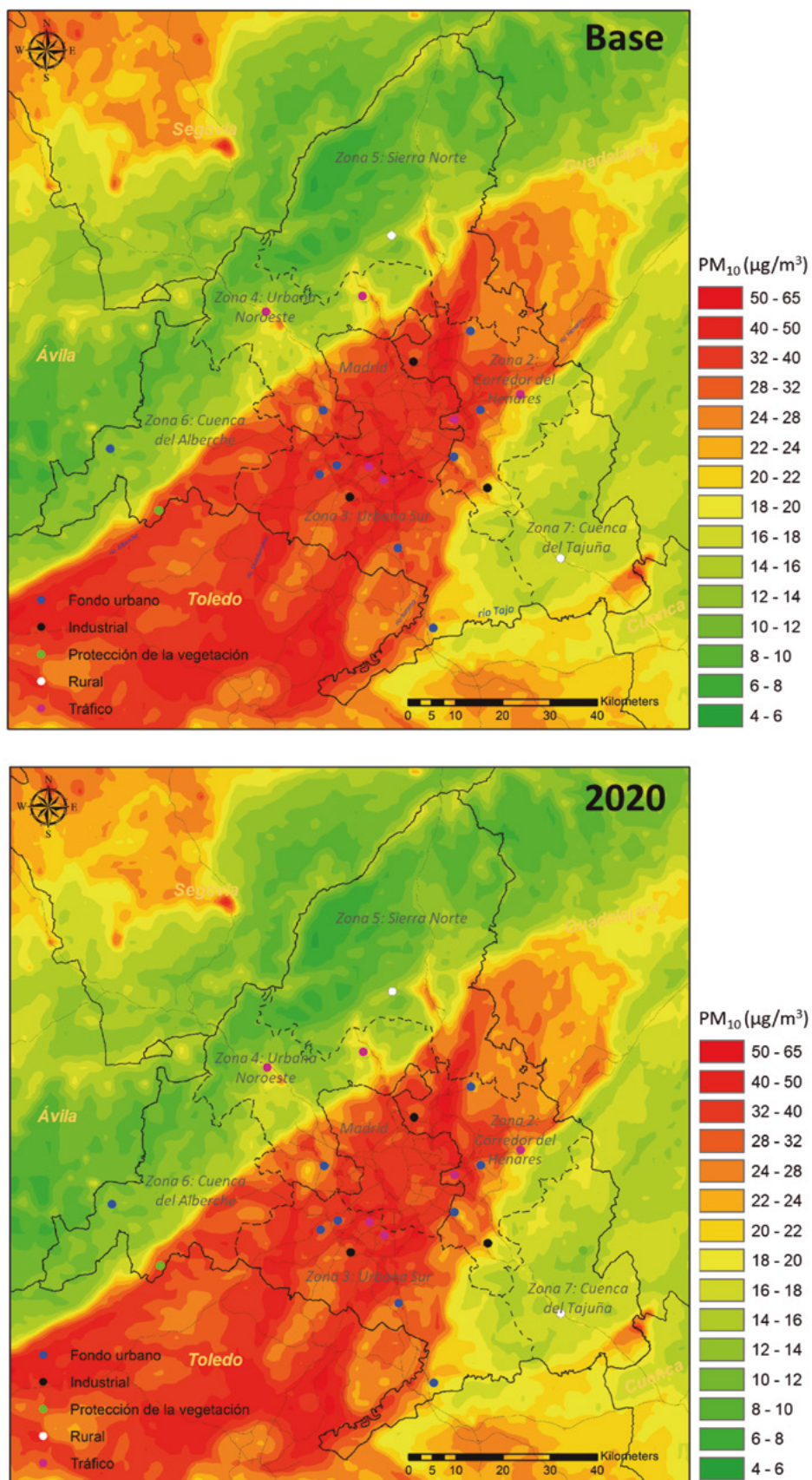


Figura 9. Percentil diario 90,4 de concentración PM₁₀ de la serie anual predicha para el escenario base (arriba) y el año 2020 (abajo)

La **Figura 10** recoge las variaciones entre los escenarios evaluados y permite observar como su distribución espacial viene determinada por la influencia del tráfico rodado. Así, los cambios más importantes se producen en el interior del municipio de Madrid, y más concretamente en el interior de la Calle 30, con reducciones que alcanzan hasta los $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (reducciones relativas máximas del 9,4%).

En las zonas 2, 3 y 4, las reducciones relativas medias son similares, variando entre un 2,9 y un 3,1%, y las reducciones relativas máximas alcanzan valores del 11,7% (reducciones de $4,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la zona 2). Las reducciones relativas en el resto de las zonas (5, 6 y 7) son menores: del 0,8% para la zona 7 al 2,3% para la zona 6.

Para el conjunto de la Comunidad de Madrid, la reducción relativa promedio es del 2,3%.

Tabla 10. Resumen de los principales resultados en relación al percentil diario 90,4 de concentración de PM10 para cada zona y para el conjunto de la Comunidad de Madrid: promedio en cada zona (escenarios base y 2020), variación absoluta (media y máxima) y variación relativa (media y máxima).

Zonificación calidad del aire	Percentil 90,4 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Variación (Media / Máxima)	
	Base	2020	Absoluta ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Relativa (%)
Zona 1: Madrid	35,4	33,8	-1,6 / -5,0	-4,3 / -9,4
Zona 2: Corredor del Henares	27,8	27,0	-0,8 / -4,6	-2,9 / -11,7
Zona 3: Urbana Sur	30,9	29,9	-0,9 / -4,3	-2,7 / -8,3
Zona 4: Urbana Noroeste	18,7	18,0	-0,7 / -3,7	-3,1 / -8,6
Zona 5: Sierra Norte	14,1	13,8	-0,3 / -2,6	-1,5 / -9,4
Zona 6: Cuenca del Alberche	17,9	17,4	-0,5 / -3,3	-2,3 / -8,7
Zona 7: Cuenca del Tajuña	17,1	16,9	-0,2 / -1,7	-0,8 / -6,0
Comunidad de Madrid	21,7	21,1	-0,6 / -5,0	-2,3 / -11,7

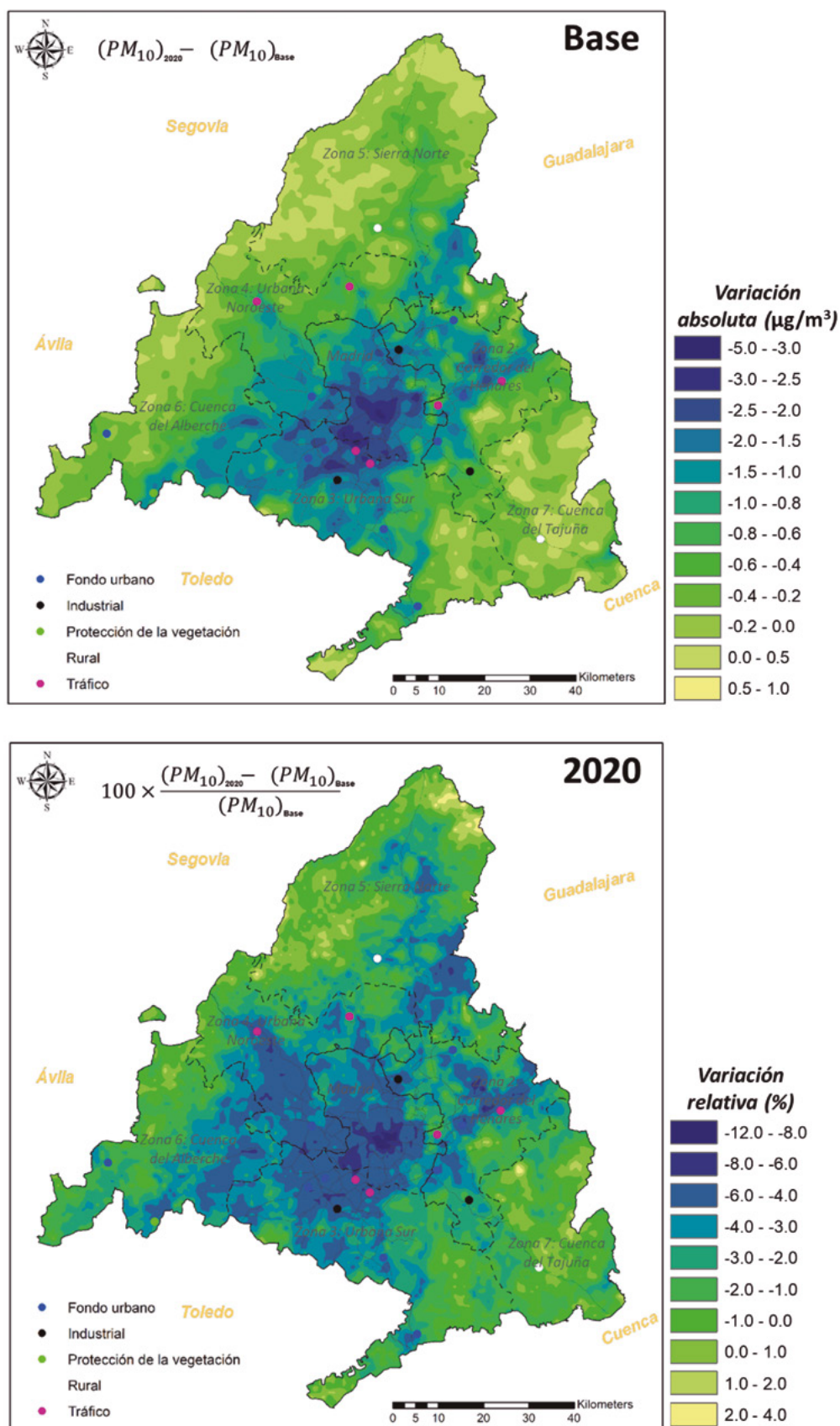


Figura 10. Variación absoluta (arriba) y relativa (abajo) del percentil diario 90,4 de concentración de PM_{10} (36º valor anual más alto)

A.IV. 5.2.5. Media anual de $PM_{2,5}$

En cuanto a los resultados obtenidos para $PM_{2,5}$, la simulación pronostica un descenso en 2020 en todo el dominio de simulación y especialmente en el entorno de las principales vías de comunicación de la Comunidad de Madrid. Esta reducción es consecuencia de una disminución del 14,6% en las emisiones de $PM_{2,5}$ procedentes del tráfico rodado. Para el conjunto de todos los sectores, la reducción es del 12,3%.

Como se muestra en la **Figura 11**, el patrón espacial de los niveles de concentración en ambos escenarios (base y 2020) es muy parecido al promedio anual de PM_{10} , dado que la principal fuente de emisión es la misma, el tráfico rodado. Como sucede con el resto de los contaminantes, la presencia del Sistema Central determina el patrón de vientos de acuerdo a un eje NE-SO, produciendo una franja con niveles de concentración más altos según esta dirección. Además, la presencia de depresiones topográficas favorece la acumulación de material particulado durante episodios de fuerte estabilidad atmosférica, haciendo que los niveles de concentración máximos se localicen principalmente en los distintos valles de los ríos ubicados en el dominio: Tajo, Jarama, Guadarrama y Alberche.

El promedio anual de concentración de $PM_{2,5}$ en la zona 1 se reduce de 12,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el escenario base, a 11,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el año 2020, suponiendo una reducción promedio en la zona del 4,6% (reducciones máximas en algún punto de la zona del 7,4%).

Las reducciones absolutas promedio en las zonas 2, 3 y 4 son iguales a 0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una reducción puntual máxima en la zona 3 de 1,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (un 8% en términos relativos).

En el resto de las zonas, la reducción media en términos absolutos es muy pequeña para el total de cada zona. No obstante, en algunos puntos se alcanzan reducciones máximas de 0,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que equivale reducciones relativas del 6,4%.

Para el conjunto de la Comunidad de Madrid, la reducción promedio de los niveles de concentración de $PM_{2,5}$ es de 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (un 2,6%).

La **Figura 12** muestra las variaciones entre los dos escenarios evaluados y permite observar como los cambios más importantes, tanto en términos absolutos como relativos, se producen en el interior del municipio de Madrid, especialmente sobre las principales vías de comunicación. Así, en el Paseo de la Castellana y en el sector suroeste de la Calle 30, se obtienen reducciones promedio que pueden alcanzar 0,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y reducciones máximas de 1,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

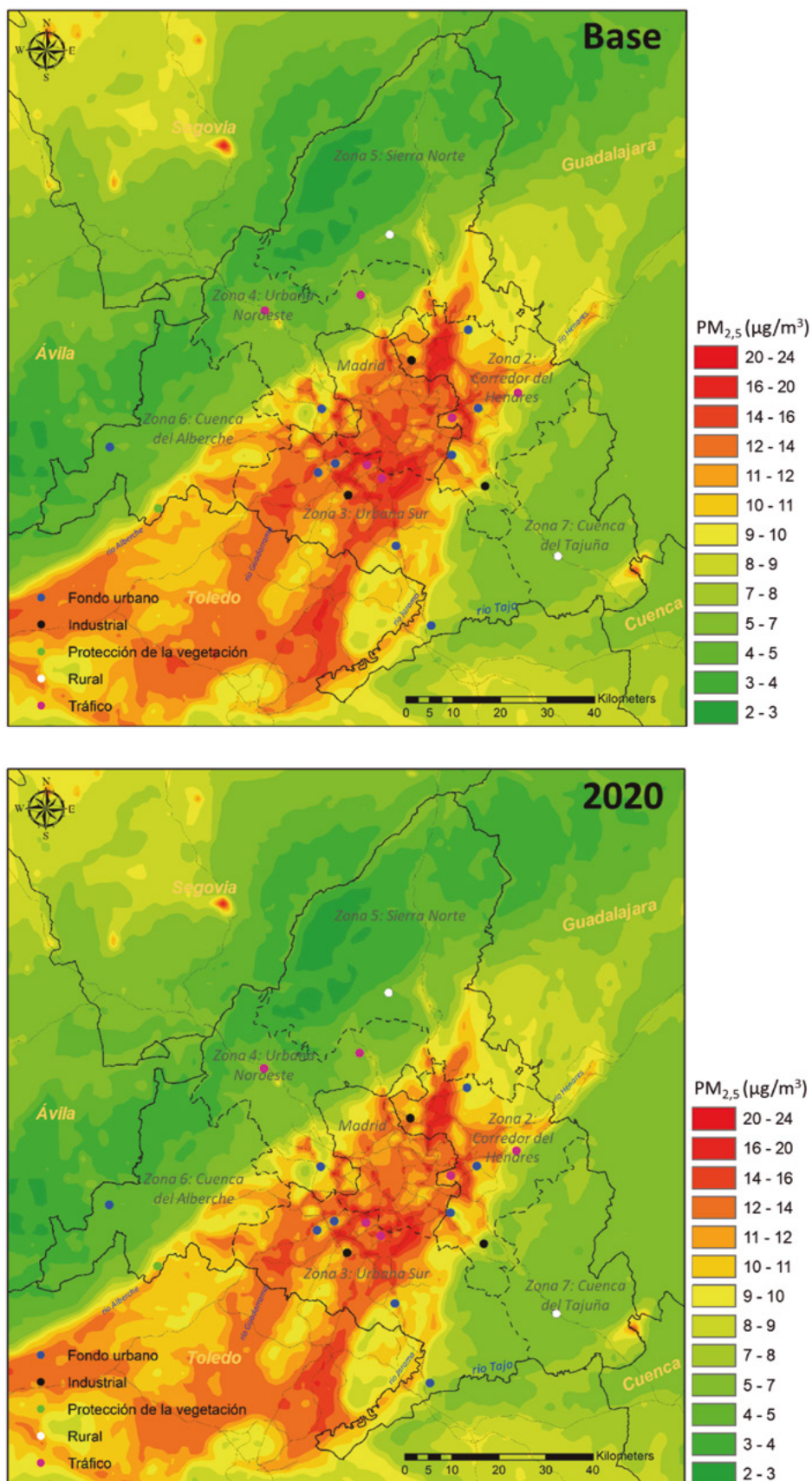


Figura 11. Concentración media anual de PM_{2,5} predicha para el escenario base (arriba) y el año 2020 (abajo)

Los niveles de concentración promedio para las zonas 2 y 3 son muy parecidos bajo ambos escenarios (base y 2020), variando entre 10 y 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. No obstante, a pesar de que las variaciones promedio no son muy notables (3%), en algunos puntos de ambas zonas alcanzan reducciones considerables, coincidiendo principalmente con lugares donde el sector del tráfico presenta una mayor contribución. Así, en algunos puntos de la autovía A1, dentro de la zona 2, se obtienen reducciones de 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (un 6,6% en términos relativos), y en algunos tramos de M40 y M50, dentro de la zona 3, se obtienen reducciones de 1,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (8% en términos relativos).

En la zona 4, los niveles de concentración promedio son menores que en las zonas anteriores. Las máximas concentraciones de $\text{PM}_{2,5}$ en ambos escenarios y las máximas reducciones obtenidas entre ellos (alrededor de un 8%), se dan en las principales vías de comunicación que atraviesan la zona (autovías A6 y M40).

En el resto de las zonas (5, 6 y 7), las reducciones máximas son menores, variando entre 0,4 y 0,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (reducciones relativas entre un 3,9 y un 6,4%).

Para el conjunto de la Comunidad de Madrid, las reducciones máximas pueden alcanzar hasta los 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (un 8% en términos relativos).

Tabla 11. Resumen de los principales resultados en relación al promedio anual de concentración de $\text{PM}_{2,5}$ para cada zona y para el conjunto de la Comunidad de Madrid: promedio para cada zona (escenario base y 2020), variación absoluta (media y máxima) y variación relativa (media y máxima).

Zonificación calidad del aire	Media anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Variación (Media / Máxima)	
	Base	2020	Absoluta ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Relativa (%)
Zona 1: Madrid	12,4	11,8	-0,6 / -1,4	-4,6 / -7,4
Zona 2: Corredor del Henares	10,3	9,9	-0,3 / -1,5	-3,1 / -6,6
Zona 3: Urbana Sur	11,0	10,7	-0,3 / -1,9	-2,8 / -8,0
Zona 4: Urbana Noroeste	6,6	6,3	-0,3 / -1,5	-3,5 / -8,0
Zona 5: Sierra Norte	5,0	4,9	-0,1 / -0,6	-1,8 / -6,4
Zona 6: Cuenca del Alberche	6,1	6,0	-0,2 / -0,5	-2,6 / -5,6
Zona 7: Cuenca del Tajuña	6,6	6,5	-0,1 / -0,4	-1,2 / -3,9
Comunidad de Madrid	7,8	7,5	-0,2 / -1,9	-2,6 / -8,0

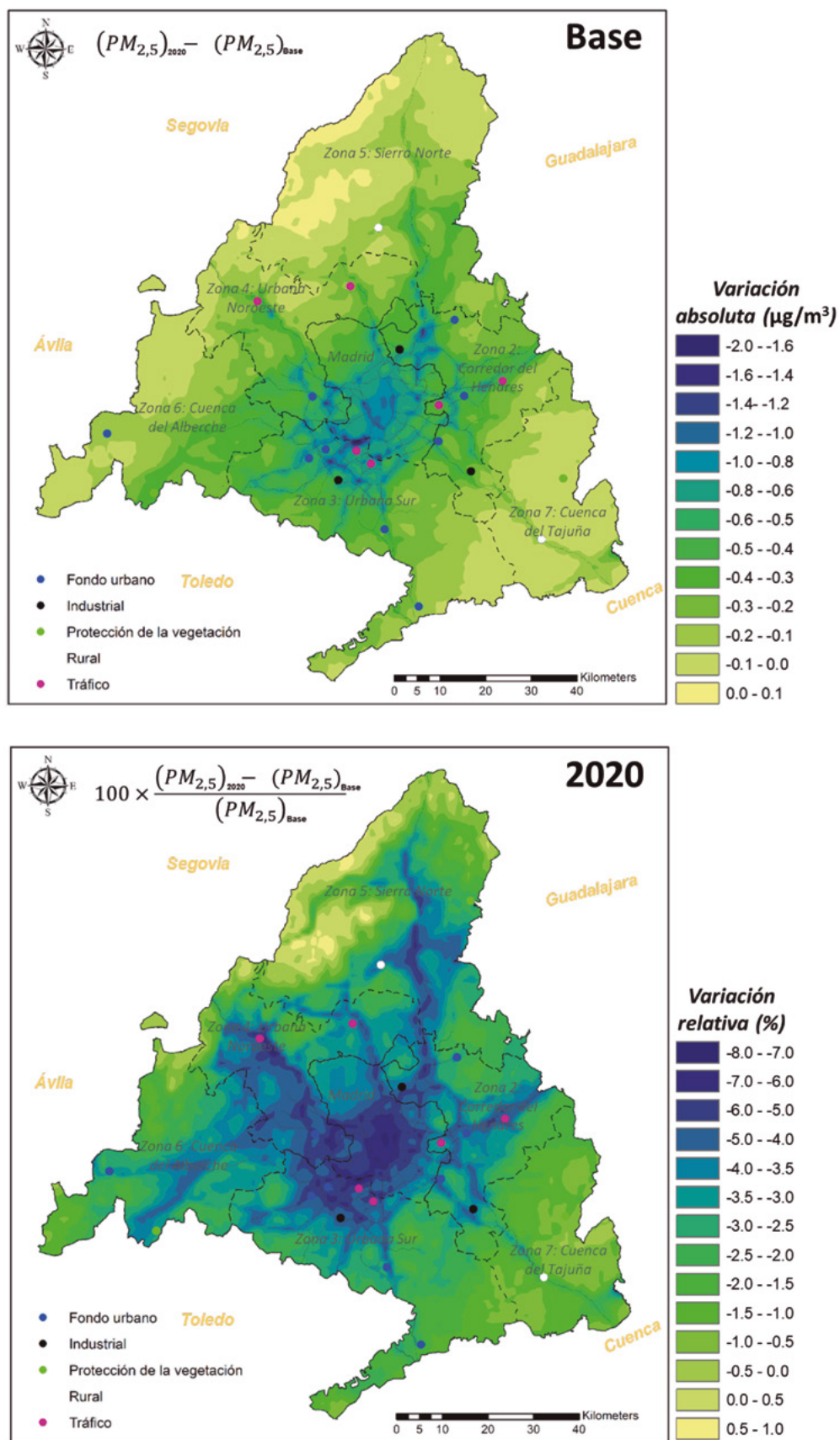


Figura 12. Variación de la concentración media anual de $PM_{2,5}$ absoluta (arriba) y relativa (abajo)

A.IV. 6. RESUMEN Y CONCLUSIONES

En este estudio se presentan los resultados relativos a dos aspectos fundamentales inherentes a la aplicación de las medidas definidas en la Estrategia de Calidad del Aire y Cambio Climático de la Comunidad de Madrid (2013-2020), denominado Plan Azul+; y su revisión: por un lado, el impacto en la reducción de emisiones y, por otro, el impacto que dicha reducción puede producir sobre la calidad del aire.

En el primer caso, se han cuantificado las reducciones de emisión asociadas a 7 medidas adicionales al Plan Azul+: 6 medidas adicionales (A-1, A-2, A-3, A-4, A-6 y A-9) relacionadas con el sector transporte y otra medida relacionada con el sector residencial, comercial e institucional (A-18). La reducción de emisiones esperable con la aplicación de las medidas sobre el transporte es de 650 t/año para el NO_x , 18,4 t/año para $\text{PM}_{2,5}$ y 19,2 t/año para PM_{10} . Estas medidas (transporte) representan el grueso de las emisiones que se reducen y representan aproximadamente un 7% (NO_x), un 3% ($\text{PM}_{2,5}$) y un 3% (PM_{10}) de la reducción de emisiones contempladas entre el escenario base y el escenario 2020, el cual incluye las políticas de reducción de emisiones de las administraciones competentes en el ámbito de estudio: el municipio de Madrid (Plan A) y la Comunidad de Madrid (Plan Azul+ y sus medidas adicionales). Por lo que respecta al sector residencial, comercial e institucional, la reducción de las emisiones de NO_x es menor, apenas 7 t/año, mientras que la reducción de material particulado alcanza las 18,5 t/año de PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$.

En segundo lugar, el estudio ha evaluado la mejora en relación a la calidad del aire como consecuencia de la aplicación de todas las medidas adoptadas en el Plan Azul+ (más las 7 medidas adicionales). Este análisis se ha llevado a cabo mediante el uso de un sistema de simulación de la calidad del aire (multiescala y multicontaminante), que ha permitido analizar la variación de los niveles de concentración de NO_2 y de material particulado (PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$) como consecuencia de la aplicación de las medidas contempladas. Para ello se han simulado dos escenarios, un escenario Base (año 2015) que representa el estado previo a la aplicación de las políticas, y un escenario 2020, que contempla cada una de las medidas cuantificables definidas en el Plan Azul+, y en su revisión, así como las sinergias con el Plan A impulsado por el Ayuntamiento de Madrid.

En lo que respecta al NO_2 , los resultados más relevantes muestran una reducción de la concentración media anual del 17,1% para el conjunto de la Comunidad de Madrid. Esto tiene implicaciones importantes para las zonas donde se producen las superaciones de los valores límite anuales. Pese a que no es posible anticipar con precisión el efecto de las medidas analizadas en las ubicaciones concretas de las estaciones de tráfico que registran excedencias de los valores límite, como es el caso de Coslada (47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio de concentración NO_2 en el año 2015) o Getafe (que se superó en 21 ocasiones el valor límite horario de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ frente a las 18 establecidas como máximo legal), cabe hacer una valoración positiva. Teniendo en cuenta que las reducciones medias previstas para dichos indicadores en las zonas 2 y 3 son respectivamente del 17,5% (Tabla 7) y del 10,9% (Tabla 8), se puede concluir que la implementación efectiva de la estrategia conjunta de la Comunidad y Ayuntamiento de Madrid puede posibilitar el cumplimiento de los valores de calidad del aire preceptivos para el NO_2 en todas las zonas gestionadas por la Comunidad de Madrid, o al menos, permitiría aproximarse mucho a tal objetivo.

En el caso del material particulado, la reducción de los niveles de concentración de PM_{10} y $PM_{2,5}$ como consecuencia de la aplicación de las medidas también es evidente. En el caso de fracción PM_{10} , la reducción promedio de los niveles de concentración es del 2% para el conjunto de la Comunidad de Madrid. No obstante, se producen mayores reducciones, entorno a un 6,3%, en aquellas zonas donde los niveles de concentración son más altos, lo que supone disminuciones en la concentración de hasta $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como media anual. Para el caso del valor límite diario, la aplicación del Plan Azul+, junto con el resto de las medidas, supone una reducción media del 2,3%, con reducciones máximas de hasta el 11,7% (en términos absolutos se corresponde con una disminución de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Para el caso de la fracción $PM_{2,5}$, la mejora es ligeramente mayor que en el caso de la fracción PM_{10} , alcanzándose una reducción media para el conjunto de la Comunidad de Madrid de un 2,6%; reducciones máximas del 8%, lo que supone hasta $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como media anual en algunos puntos de la región, lo que equivale al 20% del valor guía de concentración media anual propuesto por la OMS).

En conjunto, se puede concluir que la implementación del Plan Azul+, y de las medidas contempladas en su revisión, supondrá un avance significativo en la mejora de la calidad del aire para los contaminantes estudiados en la Comunidad de Madrid y por tanto, una reducción de los efectos negativos de la contaminación sobre la salud de sus habitantes.

