

# ANEXOS

<b>A.I. Resumen de concentraciones y superaciones de valores límite de calidad del aire .....</b>	<b>169</b>
<b>A.II. Inventario de emisiones de la Comunidad de Madrid .....</b>	<b>180</b>
<b>A.III. Análisis sectorial detallado del inventario de emisiones .....</b>	<b>189</b>
<b>A.IV. Modelización del análisis de contribución de fuentes .....</b>	<b>217</b>
<b>A.V. Análisis cartográfico del inventario de emisiones de la Comunidad de Madrid .....</b>	<b>238</b>
<b>A. VI. Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) .....</b>	<b>253</b>
<b>A.VII. Análisis sectorial del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por categorías Common Reporting Format (CRF) .....</b>	<b>261</b>
<b>A.VIII. Familias de escenarios SRES (Special Report on Emission Scenarios) descritos por el panel intergubernamental para el cambio climático (IPCC) .....</b>	<b>275</b>
<b>A.IX. Análisis cartográfico del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la Comunidad de Madrid .....</b>	<b>277</b>

# A.1 RESUMEN DE CONCENTRACIONES Y SUPERACIONES DE VALORES LÍMITE DE CALIDAD DEL AIRE

Tabla 1 (1 de 2). Resumen de concentraciones y superaciones de valores límite de calidad del aire 2008

	Resumen de superaciones de Valores límite y Valores objetivo 2008 <sup>(1)</sup>													
	SO <sub>2</sub>			NO <sub>2</sub>		NOx	PM <sub>10</sub>		PM <sub>2,5</sub>	Pb	Benceno	CO	Ozono	
	Sup. horarias	Sup. diarias	Media invernal	Media anual	Sup. horarias	Media anual	Media anual	Sup. diarias	Media anual	Media anual	Media anual	Sup. valor límite	Sup.valor objetivo para la protección de la salud <sup>(3)</sup>	Sup.valor objetivo para la protección de la veg. <sup>(4)</sup>
<b>Corredor del Henares</b>				33			31		12	0,004	0,5			
Alcalá de Henares	0	0		37	13		36	45				0	36	20.689
Alcobendas	0	0		37	4		20	8		0,004	0,3	0	21	12.957
Algete	0	0		24	0		23	5	12		0,6	0	35 <sup>(6)</sup>	18.814 <sup>(6)</sup>
Arganda del Rey	0	0		25	0		33	59			0,7	0	31 <sup>(6)</sup>	17.225 <sup>(6)</sup>
Coslada				47	13		40	72				0	9 <sup>(6)</sup>	7.435 <sup>(6)</sup>
Rivas-Vaciamadrid				36	0		31	28					28 <sup>(6)</sup>	16.302 <sup>(6)</sup>
Torrejón de Ardoz	0	0		28	0		37	55			0,2	0	33	23.214 <sup>(6)</sup>
<b>Urbana Sur</b>				38			29		18	0,010	0,9			
Alcorcón1 <sup>(5)</sup>	0	0		60	19		34	27				0	0	2.847
Alcorcón2	0	0		49	1		26	1	17			0	N/A	N/A <sup>(7)</sup>
Aranjuez				20	0		22	2					9	21.870
Fuenlabrada	0	0		31	3		27	21		0,010	1,0	0	10	18.179
Getafe	0	0		47	20		30	29			0,7	0	7 <sup>(6)</sup>	8.232 <sup>(6)</sup>
Leganés	0	0		41	1		39	67				0	12	14.007
Móstoles	0	0		35	1		24	13				0	26	17.637
Valdemoro				23	0		31	25	18				11 <sup>(6)</sup>	13.054
<b>Urbana Noroeste</b>				29			19		15	0,005	0,9			
Collado Villalba	0	0		33	1		25	3	15		0,9	0	27 <sup>(6)</sup>	16.923 <sup>(6)</sup>
Colmenar Viejo				36	5		15	0				0	36	24.642
Majadahonda	0	0		17	0		16	0		0,005		0	39	24.207
<b>Sierra Norte</b>				9		9	21		10	0,002	0,1			
El Atazar	0	0	4	5	0	9	17	0	9	0,002	0,1	0	68 <sup>(6)</sup>	27.267 <sup>(6)</sup>
Guadalix de la Sierra				11	0		25	3	11				4 <sup>(6)</sup>	7.898 <sup>(6)</sup>
<b>Cuenca del Alberche</b>				10		21	27		13	0,002				
San Martín de Valdeiglesias				8	0		24	2					27 <sup>(6)</sup>	13.755 <sup>(6)</sup>
Villa del Prado	0	0	3	11	0	21	30	32	13	0,002		0	1 <sup>(6)</sup>	7.688 <sup>(6)</sup>
<b>Cuenca del Tajuña</b>				11		10	21		15	0,004				
Orusco de Tajuña	0	0	5	6	0	10	21	6		0,004		0	65 <sup>(6)</sup>	28.373 <sup>(6)</sup>
Villarejo de Salvanés				15	0				15				32 <sup>(6)</sup>	19.129 <sup>(6)</sup>
<b>VALOR MEDIO DE LA RED</b>			4	28			27			0,005	0,6			

(Continúa)

**Tabla 1 (2 de 2).** Resumen de concentraciones y superaciones de valores límite de calidad del aire 2008

	Resumen de superaciones de Valores límite y Valores objetivo 2008 <sup>(1)</sup>				Resumen de Umbrales de información y alerta 2008 <sup>(2)</sup>			
	As	Cd	Ni	B(a)P	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	
	Sup.valor objetivo	Sup.valor objetivo	Sup.valor objetivo	Sup.valor objetivo	Sup. umbral de alerta	Sup. umbral de alerta	Sup. umbral de información	Sup. umbral de alerta
<b>Corredor del Henares</b>					0	0	9	0
Alcalá de Henares					0	0	2	0
Alcobendas	0	0	0	0	0	0	2	0
Algete					0	0	0	0
Arganda del Rey					0	0	1	0
Coslada					0	0	1	0
Rivas-Vaciamadrid					0	0	3	0
Torrejón de Ardoz					0	0	0	0
<b>Urbana Sur</b>					0	0	2	0
Alcorcón1 <sup>(5)</sup>					0	0	0	0
Alcorcón2					0	0	0	0
Aranjuez					0	0	0	0
Fuenlabrada	0	0	0	0	0	0	0	0
Getafe					0	0	0	0
Leganés					0	0	0	0
Móstoles					0	0	2	0
Valdemoro					0	0	0	0
<b>Urbana Noroeste</b>					0	0	18	0
Collado Villalba					0	0	7	0
Colmenar Viejo					0	0	1	0
Majadahonda	0	0	0	0	0	0	10	0
<b>Sierra Norte</b>					0	0	4	0
El Atazar	0	0		0	0	0	4	0
Guadalix de la Sierra					0	0	0	0
<b>Cuenca del Alberche</b>					0	0	0	0
San Martín de Valdeiglesias					0	0	0	0
Villa del Prado	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Cuenca del Tajuña</b>					0	0	15	0
Orusco de Tajuña	0	0	0	0	0	0	12	0
Villarejo de Salvanés					0	0	3	0
<b>VALOR MEDIO DE LA RED</b>					0	0	42	0

**Tabla 2 (1 de 2).** Resumen de concentraciones y superaciones de valores límite de calidad del aire 2009

Resumen de superaciones de Valores límite y Valores objetivo 2009 <sup>(1)</sup>														
	SO <sub>2</sub>			NO <sub>2</sub>		NOx	PM <sub>10</sub>		PM <sub>2,5</sub>	Pb	Benceno	CO	Ozono	
	Sup. horarias	Sup. diarias	Media invernal	Media anual	Sup. horarias	Media anual	Media anual	Sup. diarias	Media anual	Media anual	Media anual	Sup. valor límite	Sup. valor objetivo para la protección de la salud <sup>(3)</sup>	Sup. valor objetivo para la protección de la veg. <sup>(12)</sup>
<b>Corredor del Henares</b>				31			30		11	0,004	0,5			
Alcalá de Henares	0	0		37	5		34	49				0	23	21.787
Alcobendas	0	0		35	0		21	1		0,004	0,4	0	15	12.452
Algete	0	0		21	0		27	11	11		0,5	0	38	19.026 <sup>(10)</sup>
Arganda del Rey	0	0		22	0		26	15			0,5	0	20	12.371 <sup>(10)</sup>
Coslada				48	25		34	35				0	9 <sup>(9)</sup>	10.625 <sup>(11)</sup>
Rivas-Vaciamadrid				30	1		28	17					19	14.907 <sup>(10)</sup>
Torrejón de Ardoz	0	0		23	0		40	72			0,4	0	32	23.948 <sup>(12)</sup>
<b>Urbana Sur</b>				29			25		16	0,012	0,5			
Alcorcón2	0	0		38	1		29	22	15			0	21 <sup>(9)</sup>	17.465 <sup>(9)</sup>
Aranjuez				21	0		24	6					5	15.992
Fuenlabrada	0	0		33	2		28	18		0,012	0,5	0	8	13.722
Getafe	0	0		43	6		29	17			0,4	0	4	6.691 <sup>(10)</sup>
Leganés	0	0		41	4		33	43				0	7	12.291
Móstoles	0	0		32	4		26	11				0	17	16.240
Valdemoro				23	0		30	19	17				8	8.945 <sup>(10)</sup>
<b>Urbana Noroeste</b>				29			19		14	0,003	0,8			
Collado Villalba	0	0		33	0		26	5	14		0,8	0	27	16.816 <sup>(10)</sup>
Colmenar Viejo				31	3		15	0				0	34	22.911
Majadahonda	0	0		24	2		15	0		0,003		0	44	23.359
<b>Sierra Norte</b>				9		11	23		9	0,003	0,1			
El Atazar	0	0	3	6	0	11	22	0	9	0,003	0,1	0	62	24.191 <sup>(9)</sup>
Guadalix de la Sierra				12	0		23	1	9				3	8.983 <sup>(10)</sup>
<b>Cuenca del Alberche</b>				9		12	23		11	0,002				
San Martín de Valdeiglesias				10	0		17	0					18	10.164 <sup>(10)</sup>
Villa del Prado	0	0	4	8	0	12	28	23	11	0,002		0	2	8.481 <sup>(10)</sup>
<b>Cuenca del Tajuña</b>				12		12	25		13	0,004				
Orusco de Tajuña	0	0	3	7	0	12	18	1		0,004		0	53	25.171 <sup>(10)</sup>
Villarejo de Salvanes				16	0		32	11	13				26	19.202 <sup>(10)</sup>
<b>VALOR MEDIO DE LA RED</b>			3	26			26		12	0,005	0,5			

(Continúa)

**Tabla 2 (2 de 2).** Resumen de concentraciones y superaciones de valores límite de calidad del aire 2009

	Resumen de superaciones de Valores límite y Valores objetivo 2009 <sup>(1)</sup>				Resumen de Umbrales de información y alerta 2009 <sup>(2)</sup>			
	As	Cd	Ni	B(a)P	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	
	Sup.valor objetivo	Sup.valor objetivo	Sup.valor objetivo	Sup.valor objetivo	Sup. umbral de alerta	Sup. umbral de alerta	Sup. umbral de información	Sup. umbral de alerta
<b>Corredor del Henares</b>					0	0	0	0
Alcalá de Henares					0	0	0	0
Alcobendas	0	0	0	0	0	0	0	0
Algete					0	0	0	0
Arganda del Rey					0	0	0	0
Coslada					0	0	0	0
Rivas-Vaciamadrid					0	0	0	0
Torrejón de Ardoz					0	0	0	0
<b>Urbana Sur</b>					0	0	0	0
Alcorcón2					0	0	0	0
Aranjuez					0	0	0	0
Fuenlabrada	0	0	0	0	0	0	0	0
Getafe					0	0	0	0
Leganés					0	0	0	0
Móstoles					0	0	0	0
Valdemoro					0	0	0	0
<b>Urbana Noroeste</b>					0	0	0	0
Collado Villalba					0	0	0	0
Colmenar Viejo					0	0	0	0
Majadahonda	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Sierra Norte</b>					0	0	0	0
El Atazar	0	0		0	0	0	0	0
Guadalix de la Sierra					0	0	0	0
<b>Cuenca del Alberche</b>					0	0	0	0
San Martín de Valdeiglesias					0	0	0	0
Villa del Prado	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Cuenca del Tajuña</b>					0	0	0	0
Orusco de Tajuña	0	0	0	0	0	0	0	0
Villarejo de Salvanes					0	0	0	0
<b>VALOR MEDIO DE LA RED</b>					0	0	0	0

Tabla 3 (1 de 2). Resumen de concentraciones y superaciones de valores límite de calidad del aire 2010

Resumen de superaciones de Valores límite y Valores objetivo 2010 <sup>(1)</sup>															
	SO <sub>2</sub>			NO <sub>2</sub>			NOx	PM <sub>10</sub>		PM <sub>2,5</sub>	Pb	Benceno	CO	Ozono	
	Sup. horarias	Sup. diarias	Media invernal	Media anual <sup>(13)</sup>	Sup. horarias	Sup. Horarias <sup>(13)</sup>	Media anual	Media anual	Sup. diarias	Media anual	Media anual	Media anual	Sup. valor límite	Sup.valor objetivo para la protección de la salud <sup>(4)</sup>	Sup.valor objetivo para la protección de la veg. <sup>(14)</sup>
<b>Corredor del Henares</b>				28				26		12	0,005	0,7			
Alcalá de Henares	0	0		30	2	0		30	24				0	31	20.283
Alcobendas	0	0		29	2	0		15	0			0,5	0	18	13.275
Algete				13	0	0		29	10	9		0,5	0	44	22.760 <sup>(16)</sup>
Arganda del Rey				19	0	0		21	3			0,5	0	10	11.603 <sup>(16)</sup>
Coslada	0	0		47	11	0		26	14					13	11.181 <sup>(17)</sup>
Rivas-Vaciamadrid				31	0	0		26	9					14	14.862 <sup>(16)</sup>
Torrejón de Ardoz				25	0	0		34	43	15	0,005	1,1	0	23	15.191 <sup>(16)</sup>
<b>Urbana Sur</b>				29				22		11	0,010	0,6			
Alcorcón2				36	0	0		22	2	9				23 <sup>(15)</sup>	16.359 <sup>(18)</sup>
Aranjuez				22	0	0		23	3					6	10.871
Fuenlabrada				35	0	0		26	11			0,7		9	11.362
Getafe				37	8	0		25	12			0,5		6	8.005 <sup>(16)</sup>
Leganés				44	0	0		29	20				0	8	9.713
Móstoles	0	0		31	3	0		23	10		0,010		0	14	15.502
Valdemoro				24	0	0		26	9	13				9	10.347 <sup>(16)</sup>
<b>Urbana Noroeste</b>				31				21		13		0,8			
Collado Villalba	0	0		34	0	0		27	14	13		0,8	0	25	15.682 <sup>(16)</sup>
Colmenar Viejo				31	5	5		19	0				0	38	19.324
Majadahonda				27	0	0		18	0					47	21.505
<b>Sierra Norte</b>				8			7	21		9	0,002	0,4			
El Atazar	0	0	3	4	0	0	7	20	0	9	0,002	0,4	0	62	25.624 <sup>(16)</sup>
Guadalix de la Sierra				11	0	0		22	0					11	10.107 <sup>(16)</sup>
<b>Cuenca del Alberche</b>				9			12	19		9					
San Martín de Valdeiglesias				9	0	0		16	1					13	10.725 <sup>(16)</sup>
Villa del Prado	0	0	3	8	0	0	12	21	3	9			0	2	9.285 <sup>(16)</sup>
<b>Cuenca del Tajuña</b>				12			9	22		13					
Orusco de Tajuña	0	0	3	6	0	0	9	15	2				0	59	27.166 <sup>(16)</sup>
Villarejo de Salvanés				17	0	0		29	8	13				20	18.377 <sup>(16)</sup>
<b>VALOR MEDIO DE LA RED</b>			3	25			16	24		11	0,0056	0,6			

(Continúa)

**Tabla 3 (2 de 2).** Resumen de concentraciones y superaciones de valores límite de calidad del aire 2010

	Resumen de superaciones de Valores límite y Valores objetivo 2010 <sup>(1)</sup>				Resumen de Umbrales de información y alerta 2010 <sup>(2)</sup>			
	As	Cd	Ni	B(a)P	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	
	Sup.valor objetivo	Sup.valor objetivo	Sup.valor objetivo	Sup.valor objetivo	Sup. umbral de alerta	Sup. umbral de alerta	Sup. umbral de información	Sup. umbral de alerta
<b>Corredor del Henares</b>					0	0	14	0
Alcalá de Henares					0	0	4	0
Alcobendas					0	0	1	0
Algete					0	0	9	0
Arganda del Rey					0	0	0	0
Coslada					0	0	0	0
Rivas-Vaciamadrid					0	0	0	0
Torrejón de Ardoz	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Urbana Sur</b>					0	0	0	0
Alcorcón2					0	0	0	0
Aranjuez					0	0	0	0
Fuenlabrada					0	0	0	0
Getafe					0	0	0	0
Leganés					0	0	0	0
Móstoles	0	0	0	0	0	0	0	0
Valdemoro					0	0	0	0
<b>Urbana Noroeste</b>					0	0	1	0
Collado Villalba					0	0	0	0
Colmenar Viejo					0	0	0	0
Majadahonda					0	0	1	0
<b>Sierra Norte</b>					0	0	4	0
El Atazar					0	0	3	0
Guadalix de la Sierra					0	0	1	0
<b>Cuenca del Alberche</b>					0	0	0	0
San Martín de Valdeiglesias					0	0	0	0
Villa del Prado					0	0	0	0
<b>Cuenca del Tajuña</b>					0	0	11	0
Orusco de Tajuña					0	0	10	0
Villarejo de Salvanes					0	0	1	0
<b>VALOR MEDIO DE LA RED</b>					0	0	31	0

Tabla 4 (1 de 2). Resumen de concentraciones y superaciones de valores límite de calidad del aire 2011

Resumen de superaciones de Valores límite y Valores objetivo 2011 <sup>(1)</sup>															
	SO <sub>2</sub>			NO <sub>2</sub>			NOx	PM <sub>10</sub>		PM <sub>2,5</sub>	Pb	Benceno	CO	Ozono	
	Sup. horarias	Sup. diarias	Media invern	Media anual <sup>(13)</sup>	Sup. horarias	Sup. Horarias <sup>(13)</sup>	Media anual	Media anual	Sup. diarias	Media anual	Media anual	Media anual	Sup. valor límite	Sup.valor objetivo para la protección de la salud <sup>(4)</sup>	Sup.valor objetivo para la protección de la veg. <sup>(13)</sup>
<b>Corredor del Henares</b>				31				25		13	0,005	0,5			
Alcalá de Henares	0	0		37	7	0		27	17				0	31	19.183
Alcobendas	0	0		39	25	1		17	3			0,3	0	17	13.025
Algete				18	0	0		24	8	13		0,4	0	59	24.041
Arganda del Rey				18	0	0		23	9			0,6	0	14	13.514
Coslada	0	0		47	34	0		28	26					13	12.087 <sup>(20)</sup>
Rivas-Vaciamadrid				32	1	1		27	20					14	15.215
Torrejón de Ardoz				28	0	0		26	17	13	0,005	0,6	0	20	15.215
<b>Urbana Sur</b>				33				23		12	0,007	0,5			
Alcorcón2				39	7	0		22	8	12				27	18.150 <sup>(21)</sup>
Aranjuez				18	0	0		20	5					4	10.432
Fuenlabrada				36	1	0		21	11			0,8		15	12.189
Getafe	0	0		44	33	0		27	33			0,2		3	8.615
Leganés				44	1	0		24	20				0	6	10.308
Móstoles				32	2	0		20	10		0,007		0	9	14.829
Valdemoro	0	0		21	0	0		27	22	12				8	11.065
<b>Urbana Noroeste</b>				33				23		14		1,4			
Collado Villalba	0	0		37	1	1		30	32	14		1,4	0	16	14.081
Colmenar Viejo				33	15	15		19	4				0	38	17.969
Majadahonda				30	0	0		19	4					48	21.530
<b>Sierra Norte</b>				8			8	15		8	0,002	0,4			
El Atazar			3	5	0	0	8	13	1	8	0,002	0,4	0	63	25.065
Guadalix de la Sierra	0	0		10	0	0		16	0					30	12.872
<b>Cuenca del Alberche</b>				8			16	17		11					
San Martin de Valdeiglesias				6	0	0		14	0					33	14.092
Villa del Prado			2	10	0	0	16	20	3	11			0	6	9.957
<b>Cuenca del Tajuña</b>	0	0		9			8	19		16					
Orusco de Tajuña				4	0	0	8	12	1					60	27.811
Villarejo de Salvanés	0	0	3	13	0	0		26	8	16				15	17.556
<b>VALOR MEDIO DE LA RED</b>			3	26			19	22		12	0,005	0,6			

(Continúa)

**Tabla 4 (2 de 2).** Resumen de concentraciones y superaciones de valores límite de calidad del aire 2011

					Resumen de Umbrales de información y alerta 2011 <sup>(2)</sup>			
	As	Cd	Ni	B(a)P	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	
	Sup.valor objetivo	Sup.valor objetivo	Sup.valor objetivo	Sup.valor objetivo	Sup. umbral de alerta	Sup. umbral de alerta	Sup. umbral de información	Sup. umbral de alerta
<b>Corredor del Henares</b>					0	0	19	0
Alcalá de Henares					0	0	5	0
Alcobendas					0	0	0	0
Algete					0	0	11	0
Arganda del Rey					0	0	0	0
Coslada					0	0	1	0
Rivas-Vaciamadrid					0	0	0	0
Torrejón de Ardoz	0	0	0	0	0	0	2	0
<b>Urbana Sur</b>					0	0	0	0
Alcorcón2					0	0	0	0
Aranjuez					0	0	0	0
Fuenlabrada					0	0	0	0
Getafe					0	0	0	0
Leganés					0	0	0	0
Móstoles	0	0	0	0	0	0	0	0
Valdemoro					0	0	0	0
<b>Urbana Noroeste</b>					0	0	0	0
Collado Villalba					0	0	0	0
Colmenar Viejo					0	0	0	0
Majadahonda					0	0	0	0
<b>Sierra Norte</b>					0	0	2	0
El Atazar	0	0	0	0	0	0	2	0
Guadalix de la Sierra					0	0	0	0
<b>Cuenca del Alberche</b>					0	0	0	0
San Martín de Valdeiglesias					0	0	0	0
Villa del Prado					0	0	0	0
<b>Cuenca del Tajuña</b>					0	0	3	0
Orusco de Tajuña					0	0	3	0
Villarejo de Salván					0	0	0	0
<b>VALOR MEDIO DE LA RED</b>					0	0	24	0

Tabla 5 (1 de 2). Resumen de concentraciones y superaciones de valores límite de calidad del aire 2012

Resumen de superaciones de Valores límite y Valores objetivo 2012 <sup>(1)</sup>															
	SO <sub>2</sub>			NO <sub>2</sub>			NOx	PM <sub>10</sub>		PM <sub>2,5</sub>	Pb	Benceno	CO	Ozono	
	Sup. horarias	Sup. diarias	Media invernal	Media anual <sup>(13)</sup>	Sup. horarias	Sup. Horarias <sup>(13)</sup>	Media anual	Media anual	Sup. diarias	Media anual	Media anual	Media anual	Sup. valor límite	Sup.valor objetivo para la protección de la salud <sup>(4)</sup>	Sup.valor objetivo para la protección de la veg. <sup>(2)</sup>
Corredor del Henares				27				22		10	0,005	0,5			
Alcalá de Henares	0	0		35	0	0		23	2				0	41	21.215
Alcobendas	0	0		28	4	0		18	1			0,3	0	32	16.187
Algete				17	0	0		20	2	9		0,7	0	66	25.696
Arganda del Rey				19	0	0		23	2			0,5	0	34	15.257
Coslada	0	0		44	14	0		23	5					12	11.324
Rivas-Vaciamadrid				22	1	0		23	7					18	15.095
Torrejón de Ardoz				27	0	0		23	3	11	0,005	0,5	0	23	17.128
Urbana Sur				32				21		12	0,003	0,4			
Alcorcón2				36	3	0		22	3	13				27	18.168
Aranjuez				19	0	0		20	0					8	12.274
Fuenlabrada	0	0		36	1	0		19	3			0,4		15	11.883
Getafe				39	20	0		24	9			0,4		4	9.373
Leganés				42	2	0		21	4				0	12	11.589
Móstoles	0	0		31	0	0		19	1		0,003		0	10	14.977
Valdemoro				23	0	0		25	2	11				7	9.717
Urbana Noroeste				31				21		16		1,3			
Collado Villalba	0	0		34	0	0		28	8	16		1,3	0	10	13.015
Colmenar Viejo				32	5	5		16	0				0	32	18.545
Majadahonda				27	1	1		18	0					43	22.295
Sierra Norte				9			9	14		7	0,002	0,4			
El Atazar	0	0	3	5	0	0	9	11	0	7	0,002	0,4	0	77	25.997
Guadalix de la Sierra				12	0	0		16	0					52	17.163
Cuenca del Alberche				8			12	18		14					
San Martín de Valdeiglesias				6	0	0		15	2					46	15.310
Villa del Prado	0	0	3	9	0	0	12	20	0	14			0	9	10.679
Cuenca del Tajuña				9			7	18		13					
Orusco de Tajuña	0	0	3	5	0	0	7	13	0				0	75	29.463
Villarejo de Salvanes				12	0	0		23	1	13				16	17.960
VALOR MEDIO DE LA RED				24			16	20		12	0	0,6			

(Continúa)

**Tabla 5 (2 de 2).** Resumen de concentraciones y superaciones de valores límite de calidad del aire 2012

	Resumen de superaciones de Valores límite y Valores objetivo 2012 <sup>(1)</sup>				Resumen de Umbrales de información y alerta 2012 <sup>(2)</sup>			
	As	Cd	Ni	B(a)P	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	
	Sup.valor objetivo	Sup.valor objetivo	Sup.valor objetivo	Sup.valor objetivo	Sup. umbral de alerta	Sup. umbral de alerta	Sup. umbral de información	Sup. umbral de alerta
Corredor del Henares					0	0	11	0
Alcalá de Henares					0	0	2	0
Alcobendas					0	0	1	0
Algete					0	0	5	0
Arganda del Rey					0	0	0	0
Coslada					0	0	0	0
Rivas-Vaciamadrid					0	0	0	0
Torrejón de Ardoz	0	0	0	0	0	0	3	0
Urbana Sur					0	0	0	0
Alcorcón2					0	0	0	0
Aranjuez					0	0	0	0
Fuenlabrada					0	0	0	0
Getafe					0	0	0	0
Leganés					0	0	0	0
Móstoles	0	0	0	0	0	0	0	0
Valdemoro					0	0	0	0
Urbana Noroeste					0	0	0	0
Collado Villalba					0	0	0	0
Colmenar Viejo					0	0	0	0
Majadahonda					0	0	0	0
Sierra Norte					0	0	8	0
El Atazar	0	0	0	0	0	0	6	0
Guadalix de la Sierra					0	0	2	0
Cuenca del Alberche					0	0	0	0
San Martín de Valdeiglesias					0	0	0	0
Villa del Prado					0	0	0	0
Cuenca del Tajuña					0	0	0	0
Orusco de Tajuña					0	0	0	0
Villarejo de Salvanés					0	0	0	0
<b>VALOR MEDIO DE LA RED</b>					<b>0</b>	<b>0</b>	<b>19</b>	<b>0</b>

## Leyenda Tablas 1, 2, 3, 4 y 5

Los valores marcados en **azul** corresponden con superaciones del valor límite establecido por el Real Decreto 102/2011.

Los valores marcados en **rojo** se corresponden con superaciones del valor límite establecido por el Real Decreto 102/2011, límite no vigente en los años referenciados.

- <sup>(1)</sup> Medias anuales en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- <sup>(2)</sup> Las superaciones del umbral de información y alerta están expresadas como horas con superación.
- <sup>(3)</sup> El valor objetivo se calcula con la media de tres años, siendo el 2010 el primero que se utilizará para verificar el cumplimiento de la legislación en los tres años siguientes.
- <sup>(4)</sup> El valor objetivo se calcula con la media de cinco años, siendo el 2010 el primero que se utilizará para verificar el cumplimiento de la legislación en los tres años siguientes. Los datos incluidos son para el periodo 2004-2008.
- <sup>(5)</sup> Estación reubicada: datos hasta el 10 de Septiembre de 2008.
- <sup>(6)</sup> Datos calculados sin incluir los datos del año 2006.
- <sup>(7)</sup> Dato no disponible debido a la falta de datos para garantizar la representatividad de los mismos
- <sup>(8)</sup> El valor objetivo se calcula con la media de cinco años, siendo el 2010 el primero que se utilizará para verificar el cumplimiento de la legislación en los tres años siguientes. Los datos incluidos son para el periodo 2005-2009.
- <sup>(9)</sup> Datos calculados con datos del 2009.
- <sup>(10)</sup> Dato calculado con datos del 2007, 2008 y 2009.
- <sup>(11)</sup> Dato calculado con datos del 2008 y 2009.
- <sup>(12)</sup> Dato calculado con datos del 2005, 2007, 2008 y 2009.
- <sup>(13)</sup> Nuevos valores límite de  $\text{NO}_2$  para las zonas del Corredor del Henares y Urbana Sur, según la Decisión de la Comisión Europea de 14/12/2012. Valor límite anual para las zonas del Corredor del Henares y Urbana Sur de  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3 + \text{margen de tolerancia de } 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Para las estaciones del resto de zonas, el valor límite anual es de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- <sup>(14)</sup> El valor objetivo se calcula con la media de cinco años, siendo el 2010 el primero que se utilizará para verificar el cumplimiento de la legislación en los tres años siguientes. Los datos incluidos son para el periodo 2006-2010.
- <sup>(15)</sup> Dato calculado con datos del 2009 y 2010
- <sup>(16)</sup> Dato calculado con datos del 2007, 2008, 2009 y 2010.
- <sup>(17)</sup> Dato calculado con datos del 2008, 2009 y 2010.
- <sup>(18)</sup> Dato calculado con datos del 2007, 2008 y 2009.
- <sup>(19)</sup> El valor objetivo se calcula con la media de cinco años, siendo el 2010 el primero que se utilizará para verificar el cumplimiento de la legislación en los tres años siguientes. Los datos incluidos son para el periodo 2007-2011.
- <sup>(20)</sup> Dato calculado con datos del 2008, 2009, 2010 y 2011.
- <sup>(21)</sup> Dato calculado con datos del 2009, 2010 y 2011.
- <sup>(22)</sup> El valor objetivo se calcula con la media de cinco años, siendo el 2010 el primero que se utilizará para verificar el cumplimiento de la legislación en los tres años siguientes. Los datos incluidos son para el periodo 2008-2012.

# A. II INVENTARIO DE EMISIONES DE LA COMUNIDAD DE MADRID

Anexo II.1. Contaminantes y grupos SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution) considerados ....	182
Anexo II.2. Emisiones totales de contaminantes atmosféricos .....	184

## ANEXO II.1 Contaminantes y grupos SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution) considerados

De acuerdo a las indicaciones establecidas en el European Monitoring and Evaluation Programme/CORINAIR Inventory AIR emissions de la European Environment Agency (más conocido por sus siglas en inglés EEA

EMEP/CORINAIR), los inventarios de emisiones dentro de la Unión Europea consideran los siguientes contaminantes y se clasifican en tres grandes grupos.

ACIDIFICADORES Y PRECURSORES DEL OZONO <sup>1</sup>	
CONTAMINANTES	COMPUESTOS INCLUIDOS
SO <sub>x</sub>	óxidos de azufre (SO <sub>2</sub> +SO <sub>3</sub> ), en masa de SO <sub>2</sub>
NO <sub>x</sub>	óxidos de nitrógeno (NO+NO <sub>2</sub> ), en masa de NO <sub>2</sub>
COVNM	compuestos orgánicos volátiles (excepto el metano). Se excluyen clorofluorocarburos y halones
CO	monóxido de carbono
NH <sub>3</sub>	amoníaco

METALES PESADOS Y PARTÍCULAS	
CONTAMINANTES	COMPUESTOS INCLUIDOS
As	arsénico y sus compuestos sólidos y gaseosos (en masa de As)
Cd	cadmio y sus compuestos sólidos y gaseosos (en masa de Cd)
Cr	cromo y sus compuestos sólidos y gaseosos (en masa de Cr)
Cu	cobre y sus compuestos sólidos y gaseosos (en masa de Cu)
Hg	mercurio y sus compuestos sólidos y gaseosos (en masa de Hg)
Ni	níquel y sus compuestos sólidos y gaseosos (en masa de Ni)
Pb	plomo y sus compuestos sólidos y gaseosos (en masa de Pb)
Se	selenio y sus compuestos sólidos y gaseosos (en masa de Se)
Zn	zinc y sus compuestos sólidos y gaseosos (en masa de Zn)
PM <sub>2,5</sub>	partículas de fracción inferior a 2,5 micras
PM <sub>10</sub>	partículas de fracción inferior a 10 micras
PST	partículas en suspensión totales

CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES	
CONTAMINANTES	COMPUESTOS INCLUIDOS
HCH	hexaclorociclohexano (en masa de HCH)
PCP	pentaclorofenol (en masa de PCP)
HCB	hexaclorobenceno (en masa de HCB)

1. No se incluyen los gases de efecto invernadero (GEI), debido a que son tratados de forma específica en el diagnóstico de cambio climático.

(Continúa)

(Continuación)

CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES	
CONTAMINANTES	COMPUESTOS INCLUIDOS
TCM	tetraclorometano (en masa de TCM)
TRI	tricloroetileno (en masa de TRI)
PER	Tetracloroetileno o percloroetileno (en masa de PER)
TCB	triclorobenceno (en masa de TCB)
TCE	tricloroetano (en masa de TCE)
DIOX	dioxinas y furanos (en masa de unidades de equivalencia tóxica internacional, i-TEF)
HAP	hidrocarburos aromáticos policíclicos (en masa de HAP). Se han incluido aquí los cuatro compuestos siguientes: benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, indeno(123cd) pireno

Fuente: Inventario de emisiones a la atmósfera en la Comunidad de Madrid, año 2010.

La sectorización de las emisiones inventariadas se realiza de acuerdo a la nomenclatura SNAP, desglosándose esta en los siguientes grupos.

GRUPO	DESCRIPCIÓN
01.	Combustión en la producción y transformación de energía.
02.	Plantas de combustión no industrial: comprende generación de calor en sectores distintos del de la producción y transformación de la energía y del industrial.
03.	Plantas de combustión industrial: comprende auto-producción de calor de fuentes del sector industrial, así como electricidad y cogeneración, es decir generación de calor y procesos productivos cuya demanda calorífica proviene de procesos de la combustión (se excluyen las emisiones relacionadas con procesos sin combustión).
04.	Procesos industriales sin combustión: comprende exclusivamente las fuentes de emisión sin combustión del sector industrial. La demanda energética de estos se satisface vía transferencia calorífica de los considerados en el grupo anterior.
05.	Extracción y distribución de combustibles fósiles y energía geotérmica.
06.	Uso de disolventes y otros productos: incluye las actividades industriales que implican utilización de disolventes y productos que emitan contaminantes, como por ejemplo las industrias de pinturas y barnices cuyo proceso productivo conlleva considerables emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COVs).
07.	Transporte por carretera: comprende el tráfico por carreteras de vehículos, tanto turismos como vehículos pesados, motocicletas, etc. Se diferencia por vehículos y pauta de conducción.
08.	Otros modos de transporte y maquinaria móvil: comprende el tráfico por ferrocarril, por avión, y el movimiento de maquinaria móvil asociada con trabajos de agricultura, obras públicas y otros equipos móviles. En cuanto a las emisiones asociadas a aeropuertos se consideran, para las aeronaves, las correspondientes a sus ciclos de aterrizaje y despegue.
09.	Tratamiento y eliminación de residuos: comprende la incineración de residuos con o sin aprovechamiento energético, los vertederos, así como el tratamiento de aguas residuales, lodos, compost, etc.
10.	Agricultura: En este epígrafe se incluye tanto las emisiones derivadas de los cultivos y quemas de rastrojos, paja, etc. como las emisiones derivadas de la ganadería.
11.	Otras fuentes y sumideros (naturaleza: comprende las emisiones naturales de la vegetación, así como las de los incendios forestales).

## ANEXO II.2 Emisiones totales de contaminantes atmosféricos

Acidificadores y precursores del ozono. Año 2010

SECTOR	SO <sub>x</sub>		NO <sub>x</sub>		COVNM		CO		NH <sub>3</sub>	
	t	%	t	%	t	%	t	%	t	%
<b>SECTOR INDUSTRIAL</b>	2.641	61,92%	8.194	13,59%	50.951	57,00%	12.105	16,19%	1.220	25,93%
01 COMBUSTIÓN EN LA PRODUCCIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA	0	0,00%	213	0,35%	1	0,00%	369	0,49%	0	0,00%
03 PLANTAS DE COMBUSTIÓN INDUSTRIAL	2.034	47,69%	7.213	11,97%	382	0,43%	3.586	4,80%	0	0,00%
04 PROCESOS INDUSTRIALES SIN COMBUSTIÓN	103	2,41%	160	0,26%	664	0,74%	7.895	10,56%	0	0,00%
05 EXTRACCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y ENERGÍA GEOTÉRMICA	0	0,00%	0	0,00%	2.070	2,32%	0	0,00%	0	0,00%
06 USO DE DISOLVENTES Y OTROS PRODUCTOS	0	0,00%	0	0,00%	47.824	53,50%	0	0,00%	16	0,34%
09 TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN DE RESIDUOS	504	11,82%	608	1,01%	9	0,01%	256	0,34%	1.204	25,59%
<b>SECTOR RESIDENCIAL E INSTITUCIONAL</b>	1.146	26,86%	4.517	7,49%	453	0,51%	4.349	5,82%	0	0,00%
02 PLANTAS DE COMBUSTIÓN NO INDUSTRIAL	1.146	26,86%	4.517	7,49%	453	0,51%	4.349	5,82%	0	0,00%
<b>SECTOR TRANSPORTE</b>	469	11,01%	47.443	78,71%	5.909	6,61%	57.438	76,84%	689	14,64%
07 TRANSPORTE POR CARRETERA	41	0,96%	40.956	67,95%	5.237	5,86%	51.974	69,53%	688	14,63%
08 OTROS MODOS DE TRANSPORTE Y MAQUINARIA MÓVIL	428	10,05%	6.486	10,76%	672	0,75%	5.464	7,31%	0	0,01%
<b>SECTOR AGRICULTURA Y MEDIO NATURAL</b>	9	0,21%	122	0,20%	32.078	35,89%	857	1,15%	2.796	59,43%
10 AGRICULTURA	8	0,18%	116	0,19%	1.795	2,01%	690	0,92%	2.795	59,40%
11 OTRAS FUENTES Y SUMIDEROS (NATURALEZA)	1	0,03%	6	0,01%	30.283	33,88%	167	0,22%	1	0,03%
<b>TOTAL 2010</b>	<b>4.265</b>	<b>100,00%</b>	<b>60.275</b>	<b>100,00%</b>	<b>89.391</b>	<b>100,00%</b>	<b>74.749</b>	<b>100,00%</b>	<b>4.705</b>	<b>100,00%</b>

## Metales pesados. Año 2010 (parte 1)

SECTOR	As		Cd		Cr		Cu		Hg	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
SECTOR INDUSTRIAL	179	91,91%	887	96,45%	541	76,55%	788	13,25%	1.127	99,11%
01 COMBUSTIÓN EN LA PRODUCCIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
03 PLANTAS DE COMBUSTIÓN INDUSTRIAL	151	77,75%	587	63,84%	186	26,35%	157	2,64%	48	4,25%
04 PROCESOS INDUSTRIALES SIN COMBUSTIÓN	12	6,08%	237	25,76%	118	16,76%	316	5,31%	134	11,80%
05 EXTRACCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y ENERGÍA GEOTÉRMICA	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
06 USO DE DISOLVENTES Y OTROS PRODUCTOS	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
09 TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN DE RESIDUOS	16	8,09%	63	6,85%	236	33,43%	315	5,30%	945	83,06%
SECTOR RESIDENCIAL E INSTITUCIONAL	16	8,09%	2	0,21%	12	1,67%	16	0,26%	10	0,89%
02 PLANTAS DE COMBUSTIÓN NO INDUSTRIAL	16	8,09%	2	0,21%	12	1,67%	16	0,26%	10	0,89%
SECTOR TRANSPORTE	0	0,00%	31	3,34%	154	21,78%	5.144	86,49%	0	0,00%
07 TRANSPORTE POR CARRETERA	0	0,00%	27	2,89%	133	18,85%	4.440	74,66%	0	0,00%
08 OTROS MODOS DE TRANSPORTE Y MAQUINARIA MÓVIL	0	0,00%	4	0,45%	21	2,93%	704	11,83%	0	0,00%
SECTOR AGRICULTURA Y MEDIO NATURAL	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
10 AGRICULTURA	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
11 OTRAS FUENTES Y SUMIDEROS (NATURALEZA)	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
<b>TOTAL EMISIONES 2010</b>	<b>195</b>	<b>100,00%</b>	<b>920</b>	<b>100,00%</b>	<b>707</b>	<b>100,00%</b>	<b>5.947</b>	<b>100,00%</b>	<b>1.138</b>	<b>100,00%</b>

(Continúa)

(Continuación)

Metales pesados. Año 2010 (parte 2)

SECTOR	Ni		Pb		Se		Zn	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
SECTOR INDUSTRIAL	497	67,84%	8.401	79,37%	255	88,64%	23.450	88,53%
01 COMBUSTIÓN EN LA PRODUCCIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
03 PLANTAS DE COMBUSTIÓN INDUSTRIAL	395	53,85%	751	7,10%	251	87,21%	728	2,75%
04 PROCESOS INDUSTRIALES SIN COMBUSTIÓN	39	5,39%	4.500	42,52%	0	0,00%	17.368	65,57%
05 EXTRACCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y ENERGÍA GEOTÉRMICA	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
06 USO DE DISOLVENTES Y OTROS PRODUCTOS	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
09 TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN DE RESIDUOS	63	8,60%	3.150	29,76%	4	1,42%	5.354	20,21%
SECTOR RESIDENCIAL E INSTITUCIONAL	24	3,22%	33	0,31%	2	0,68%	13	0,05%
02 PLANTAS DE COMBUSTIÓN NO INDUSTRIAL	24	3,22%	33	0,31%	2	0,68%	13	0,05%
SECTOR TRANSPORTE	212	28,94%	2.151	20,32%	31	10,68%	3.024	11,42%
07 TRANSPORTE POR CARRETERA	183	24,99%	2.151	20,32%	27	9,24%	2.611	9,86%
08 OTROS MODOS DE TRANSPORTE Y MAQUINARIA MÓVIL	29	3,95%	0	0,00%	4	1,44%	414	1,56%
SECTOR AGRICULTURA Y MEDIO NATURAL	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
10 AGRICULTURA	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
11 OTRAS FUENTES Y SUMIDEROS (NATURALEZA)	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
<b>TOTAL EMISIONES 2010</b>	<b>733</b>	<b>100,00%</b>	<b>10.584</b>	<b>100,00%</b>	<b>287</b>	<b>100,00%</b>	<b>26.488</b>	<b>100,00%</b>

## Partículas. Año 2010

SECTOR	PM <sub>2,5</sub>		PM <sub>10</sub>		PST	
	t	%	t	%	t	%
SECTOR INDUSTRIAL	342	11,89%	614	11,83%	741	11,11%
01 COMBUSTIÓN EN LA PRODUCCIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA	37	1,11%	37	0,72%	37	0,54%
03 PLANTAS DE COMBUSTIÓN INDUSTRIAL	125	3,72%	228	4,38%	294	4,20%
04 PROCESOS INDUSTRIALES SIN COMBUSTIÓN	168	4,99%	336	6,44%	395	5,64%
05 EXTRACCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y ENERGÍA GEOTÉRMICA	0	0,00%	1	0,02%	3	0,05%
06 USO DE DISOLVENTES Y OTROS PRODUCTOS	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
09 TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN DE RESIDUOS	12	0,35%	12	0,23%	12	0,17%
SECTOR RESIDENCIAL E INSTITUCIONAL	130	4,52%	140	2,70%	170	2,55%
02 PLANTAS DE COMBUSTIÓN NO INDUSTRIAL	130	3,87%	140	2,69%	170	2,43%
SECTOR TRANSPORTE	2.190	76,10%	3.162	60,86%	3.779	56,63%
07 TRANSPORTE POR CARRETERA	2.190	65,08%	2.675	51,32%	3.292	47,06%
08 OTROS MODOS DE TRANSPORTE Y MAQUINARIA MÓVIL	0	0,00%	487	9,35%	487	6,96%
SECTOR AGRICULTURA Y MEDIO NATURAL	215	7,49%	1.279	24,61%	1.983	29,71%
10 AGRICULTURA	215	6,40%	1.279	24,53%	1.983	28,35%
11 OTRAS FUENTES Y SUMIDROS (NATURALEZA)	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
<b>TOTAL EMISIONES 2010</b>	<b>2.878</b>	<b>100,00%</b>	<b>5.195</b>	<b>100,00%</b>	<b>6.673</b>	<b>100,00%</b>

Compuestos orgánicos persistentes. Año 2010

SECTOR	PCP		HCB		TRI		PER		DIOX		HAP	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	g	%	kg	%
<b>SECTOR INDUSTRIAL</b>	10,25	100,00%	20,37	100,00%	436.782,34	100,00%	461.625,58	100,00%	7,95	93,26%	28,74	1,91%
01 COMBUSTIÓN EN LA PRODUCCIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%
03 PLANTAS DE COMBUSTIÓN INDUSTRIAL	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	6,28	73,66%	12,47	0,83%
04 PROCESOS INDUSTRIALES SIN COMBUSTIÓN	5,53	53,91%	19,74	96,91%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	1,58	18,53%	13,42	0,89%
05 EXTRACCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y ENERGÍA GEOTÉRMICA	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%
06 USO DE DISOLVENTES Y OTROS PRODUCTOS	0,00	0,00%	0,00	0,00%	436.782,34	100,00%	461.625,58	100,00%	0,00	0,00%	0,65	0,04%
09 TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN DE RESIDUOS	4,72	46,09%	0,63	3,09%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,09	1,08%	2,20	0,15%
<b>SECTOR RESIDENCIAL E INSTITUCIONAL</b>	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,23	2,69%	37,84	2,51%
02 PLANTAS DE COMBUSTIÓN NO INDUSTRIAL	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,23	2,69%	37,84	2,51%
<b>SECTOR TRANSPORTE</b>	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,33	3,92%	1.266,45	83,99%
07 TRANSPORTE POR CARRETERA	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,33	3,92%	1.227,66	81,41%
08 OTROS MODOS DE TRANSPORTE Y MAQUINARIA MÓVIL	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	38,79	2,57%
<b>SECTOR AGRICULTURA Y MEDIO NATURAL</b>	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,01	0,12%	174,90	11,60%
10 AGRICULTURA	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,01	0,12%	171,23	11,36%
11 OTRAS FUENTES Y SUMIDEROS (NATURALEZA)	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	3,66	0,24%
<b>TOTAL 2010</b>	<b>10,25</b>	<b>100,00%</b>	<b>20,37</b>	<b>100,00%</b>	<b>436.782,34</b>	<b>100,00%</b>	<b>461.625,58</b>	<b>100,00%</b>	<b>8,52</b>	<b>100,00%</b>	<b>1.507,94</b>	<b>100,00%</b>

# A.III ANÁLISIS SECTORIAL DETALLADO DEL INVENTARIO DE EMISIONES

Anexo III.1. Sector industrial .....	190
Anexo III.2. Sector transporte .....	198
Anexo III.3. Sector residencial, comercial e institucional .....	207
Anexo III.4. Sector agricultura y medio natural .....	213

## ANEXO III.1 SECTOR INDUSTRIAL

A pesar de caracterizarse por el peso del sector servicios en su tejido empresarial, la Comunidad de Madrid cuenta con un sector industrial relevante en el contexto nacional, albergando en torno a 26.000 industrias. El sector industrial alcanza algo menos de un 10% del producto interior bruto regional.

Los principales sectores industriales presentes en la Comunidad son los siguientes:

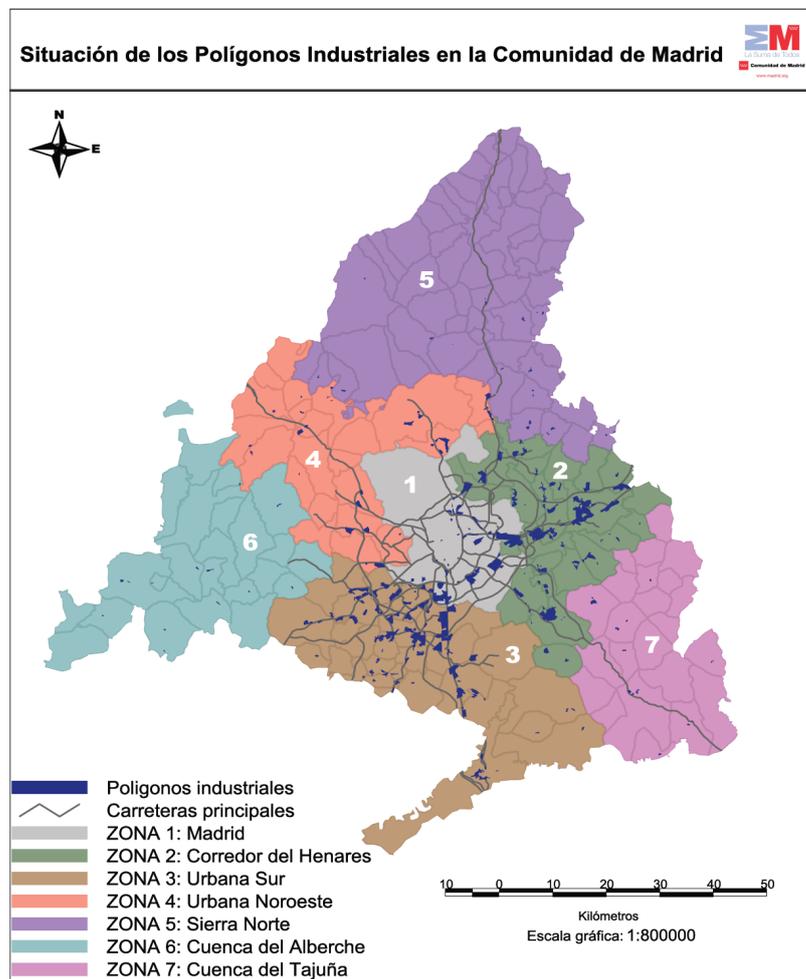
- Industria del papel, edición y artes gráficas.
- Industria del cemento y cal.
- Industria química.
- Fabricación de material de transporte.

- Metalurgia y productos metálicos.
- Equipo eléctrico, electrónico y óptico.

Un aspecto diferenciador del sector industrial madrileño es la escasa presencia de instalaciones generadoras de electricidad, sector con alta importancia en la emisión de compuestos contaminantes derivados de la combustión.

Por otro lado, cabe indicar que la gran mayoría de las instalaciones presentes en la región se ubican en polígonos industriales, los cuales se localizan principalmente al sur y este de la Comunidad de Madrid, coincidiendo con las zonas de calidad del aire Corredor del Henares y Urbana Sur, tal y como se muestra más adelante.

**Gráfico 1.** Plano con ubicación de polígonos industriales en la Comunidad de Madrid.



Como parte del presente análisis, dentro del sector industrial se incluyen las actividades de tratamiento y eliminación de residuos, que engloban instalaciones diversas asociadas a la depuración de aguas residuales, el depósito de residuos en vertedero, la producción de compost, etc.

En cuanto al tratamiento de aguas, en la Comunidad de Madrid se localizan 151 estaciones de depuración de aguas residuales urbanas distribuidas por todo su territorio, con una capacidad de 15.800.000 hab-equivalentes, así como 5.175 instalaciones de tratamiento de aguas industriales.

Los vertederos de residuos domésticos de la Comunidad de Madrid se localizan principalmente en el

sur, norte y este de la Región y en el entorno de la capital (Pinto, Colmera Viejo y Alcalá de Henares). Asimismo, cabe destacar la existencia del Complejo de Tratamiento Integral de Residuos de Valdemingómez, donde son gestionados los residuos del municipio de Madrid.

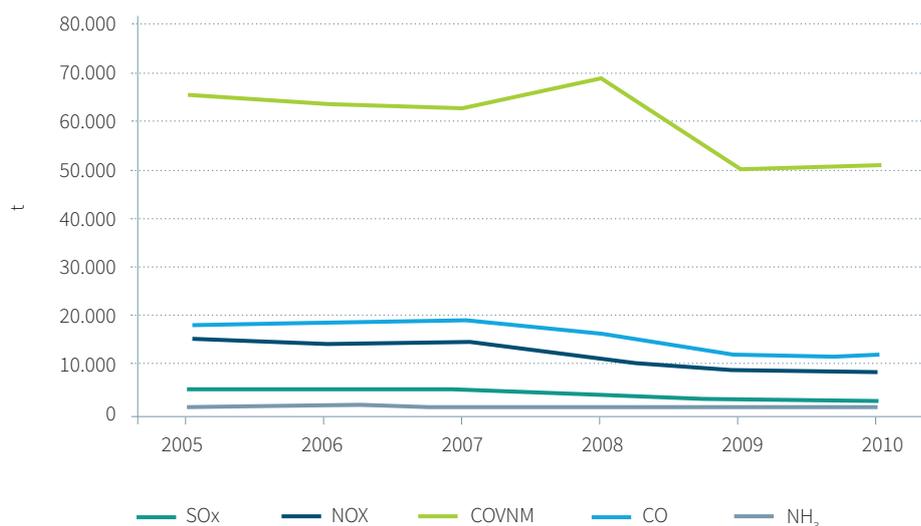
En el Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (E-PRTR) figuran un total de 142 complejos industriales ubicados en la Comunidad de Madrid que tienen la obligación de incorporar sus datos relativos a emisiones a la atmósfera.

A continuación, se analizan las emisiones inventariadas para el sector industrial.

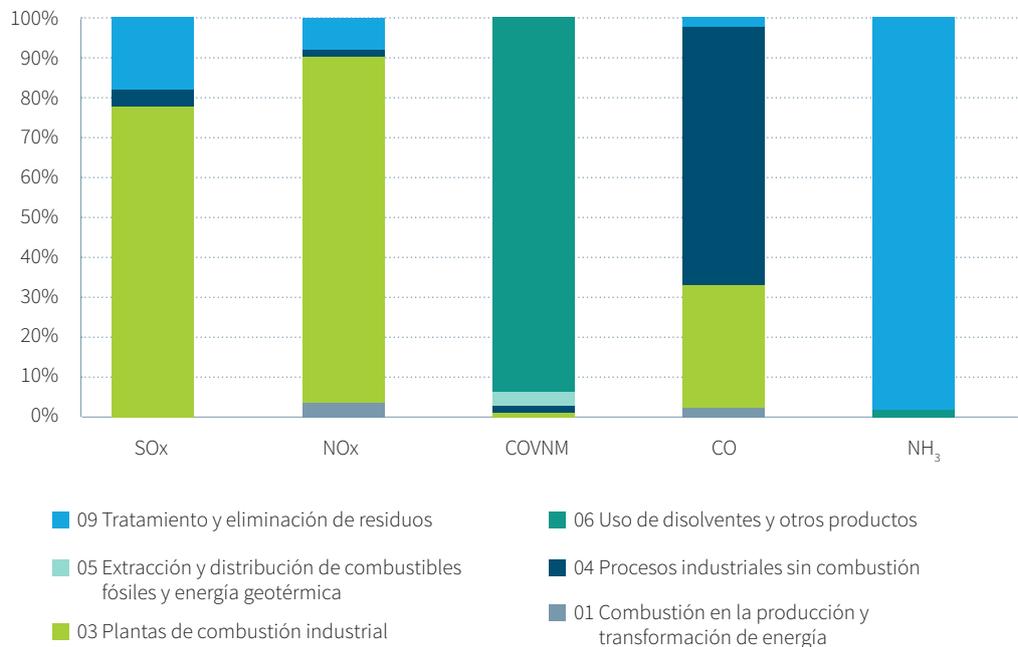
## SUSTANCIAS ACIDIFICADORAS Y PRECURSORAS DEL OZONO

La aportación de cada categoría SNAP a las emisiones de los distintos contaminantes, se indica en el siguiente gráfico.

**Gráfico 2.** Evolución de las emisiones de sustancias acidificadoras y precursoras de ozono del sector industrial. Periodo 2005-2010



**Gráfico 3. Contribución por SNAP a las emisiones de sustancias acidificadoras y precursoras de ozono del sector industrial. Año 2010**



Las emisiones de sustancias acidificadoras y precursoras de ozono derivadas del sector industrial han seguido, a excepción de los COVNM, una tendencia mantenida o ligeramente ascendente hasta el año 2007, para posteriormente descender a lo largo del periodo 2008-2010.

Concretamente, las emisiones que más se han reducido a partir de los años 2007/08, han sido el SO<sub>2</sub>, NOx y CO, sustancias cuyas fuentes principales de emisión se corresponden con sectores industriales que han visto reducida su actividad significativamente a partir de estos años debido a la coyuntura económica.

Analizando el reparto de emisiones por subsector, se observa que el 77% de las emisiones de SOx y el 88% de las emisiones de NOx proceden de procesos de combustión industrial, principalmente en los sectores de cemento y cal.

Asimismo, los procesos de combustión de la industria del cemento y la cal, junto con la industria del hierro y acero (hornos eléctricos-procesos industria-

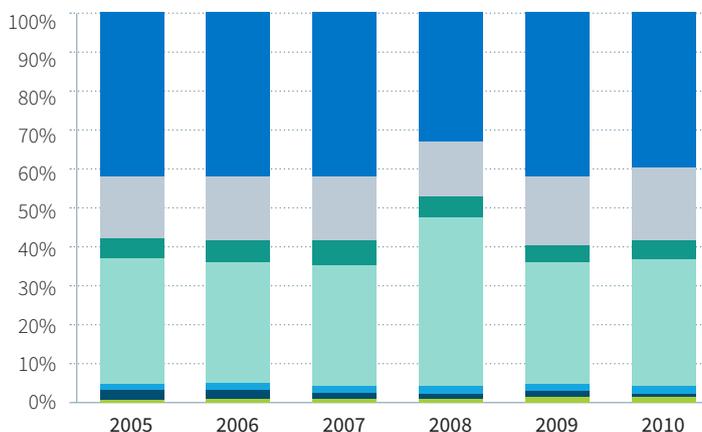
les sin combustión) son responsables del 30% y 65%, respectivamente, de las emisiones de CO del sector industrial en la Comunidad de Madrid.

De este grupo de acidificadores y precursores de ozono, la única sustancia que ha que aumentado sus emisiones en el periodo 2005-2010 ha sido el NH<sub>3</sub>, incrementándose en un 2,1% debido al aumento en la producción de compost como tratamiento de residuos orgánicos, proceso que representa la fuente principal de emisiones de NH<sub>3</sub> del sector industrial.

Los COVNM son el contaminante emitido en mayor cantidad del sector industrial, con aproximadamente 51.000 t en el año 2010. No obstante el balance total del periodo 2005-2010 ha supuesto un descenso de 14.240 t, lo que representa del orden de un 22% menos de emisiones respecto al año 2005<sup>1</sup>.

En el Gráfico 4 se recoge el reparto de las emisiones de COVNM del sector industrial para el periodo 2005-2010.

1. El dato de emisiones inventariado en el año 2008 se debe a una variación puntual durante ese año de la fuente de datos de consumos de pinturas/disolventes del SNAP 06 01 08.

**Gráfico 4.** Reparto de las emisiones de COVNM del sector industrial. Año 2010

■ Otras actividades en las que se usan disolventes	26.927	25.789	25.559	22.350	20.479	19.919
■ Procesamiento y fabricación de productos químicos	9.959	9.932	10.091	10.115	9.033	9.311
■ Limpieza en seco, desengrasado y electrónica	3.324	3.385	3.381	3.093	2.710	2.596
■ Aplicación de pintura	20.934	20.195	19.927	29.969	15.137	15.998
■ Redes de distribución de gas	992	983	1.072	1.171	1.142	1.355
■ Distribución de gasolina	1.654	1.534	858	677	662	614
■ Procesos en las industrias de la madera, pasta de papel, alimentación, bebidas y otros	635	645	668	687	597	593

La mayor contribución a las emisiones de COVNM viene dada por las denominadas “*otras actividades en las que se usan disolventes*”, con un 39,53% del total en el año 2010. En esta categoría se incluyen, principalmente, las emisiones procedentes de imprentas (unas 2.700 t), de procesos de aplicación de colas y adhesivos (aproximadamente 3.600 t) y el uso doméstico de disolventes<sup>2</sup>.

(del orden de 13.000 t). Éste último mantiene una tendencia creciente en el periodo 2005-2010 y supone un porcentaje relevante respecto a las emisiones de

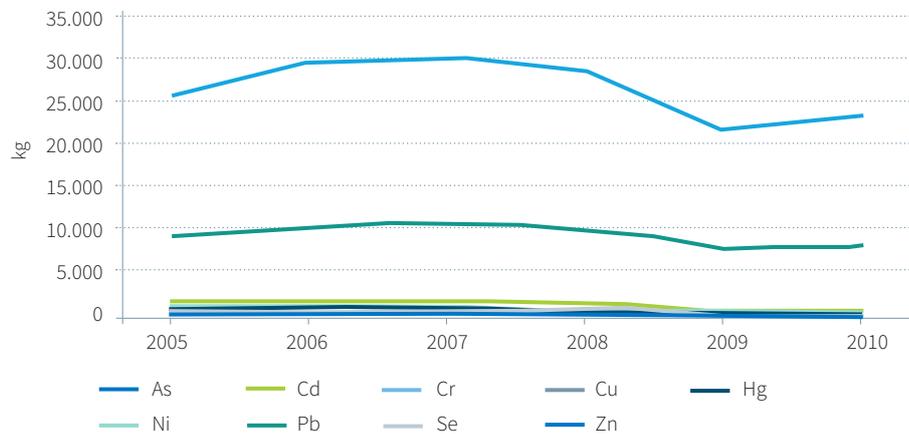
COVNM del sector (25% en 2010) y del total de emisiones de COVNM (14% en 2010).

Las actividades de “*aplicación de pintura*” en fabricación y reparación de vehículos, en el sector de la madera y en otras industrias y el “*procesamiento y fabricación de productos químicos*”, sectores relevantes en el contexto empresarial de la Comunidad, contribuyen también en gran medida a las emisiones de COVNM, con un 31,75% y un 18,45% respectivamente de las emisiones del sector industrial en el año 2010.

2. El dato de emisiones inventariado en el año 2008 se debe a una variación puntual durante ese año de la fuente de datos de consumos de pinturas/disolventes del SNAP 06 01 08.

## METALES PESADOS

**Gráfico 5. Evolución de las emisiones de metales del sector industrial. Periodo 2005-2010**

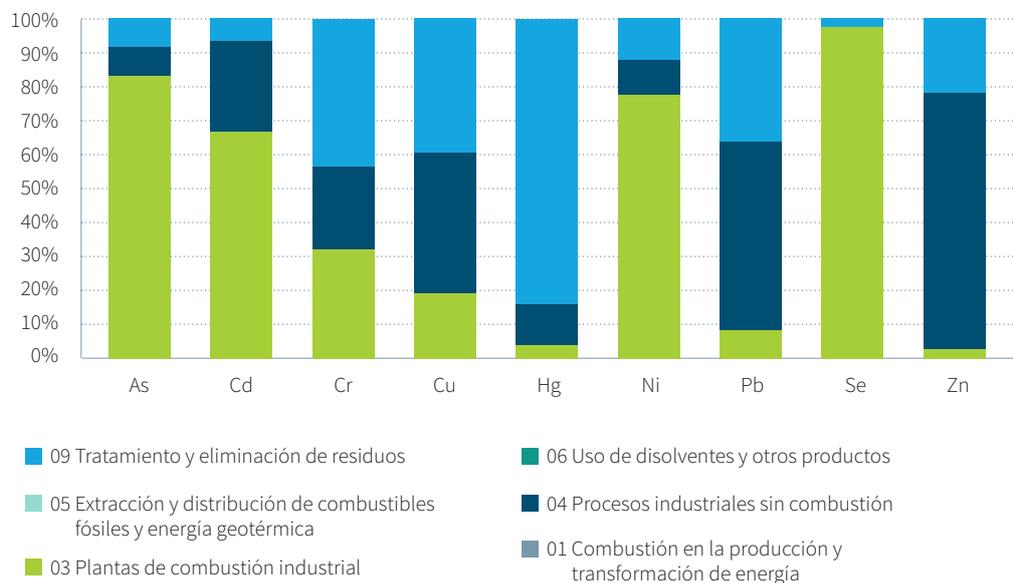


Las emisiones de todos los metales procedentes del sector industrial han descendido durante el periodo 2005-2010 en porcentajes que varían entorno al 50-60% para el Se, Ni, As y Cd, sobre el 24-36% para Cr y Cu y en el rango del 8-14% para Zn y Pb. La única excepción se corresponde con el Hg cuyas emisiones han aumentado en el periodo 2005-2010 un 0,6% y cuya fuente principal de emisión está asociada al sector del tratamiento y eliminación de residuos (incineración de residuos municipales).

Los sectores industriales responsables de las emisiones de metales se corresponden con aquellos que han visto reducida su actividad en los últimos años. Cabe indicar que las emisiones de metales por parte del sector industrial representan entorno al 70-90% de las emisiones totales de metales, siendo por tanto, éste el sector más representativo para estos contaminantes.

A continuación se incluye la aportación de cada categoría SNAP a las emisiones de los distintos metales.

**Gráfico 6. Contribución por SNAP a las emisiones de metales del sector industrial. Año 2010**



El zinc es el metal con mayor contribución a las emisiones del sector industrial con 23.450 kg en 2010, seguido por el plomo con 8.401 kg en el mismo año y por el resto de los contaminantes, todos ellos en un rango similar y con unas emisiones totales menores de 4.300 kg.

Las emisiones de Zn y Pb proceden mayoritariamente de los procesos sin combustión de la industria del hierro y acero (acerías con hornos eléctricos) y representan el 74% y el 54 % de las emisiones de estos metales del sector industrial.

Las plantas industriales de combustión en el sector del cemento representan la mayor contribución a las emisiones de As, Ni y Cd, con el 84%, 79% y 66% respectivamente en el año 2010. En el caso de Cd, también es significativa la contribución de acerías, con un 27% del total de las emisiones de este metal durante el año 2010.

El sector del tratamiento y eliminación de residuos contribuye de manera relevante a la emisión de metales, especialmente al Hg con un 84% (945 t en 2010) del total de las emisiones y al Zn y Pb, con una aportación del 23% (5.354 t en 2010) y 37% (3.150 t en 2010) respectivamente.

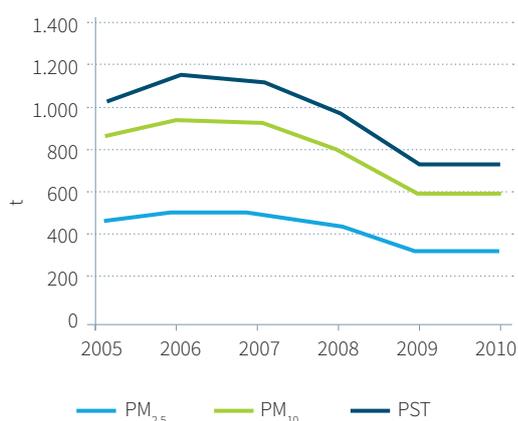
Las emisiones del resto de metales (Cr y Cu) se reparten entre el sector residuos, las plantas de combustión y los procesos industriales sin combustión.

## PARTÍCULAS

En el Gráfico 7 se recoge la evolución de las emisiones de partículas del sector industrial en el periodo 2005-2010.

Las emisiones de partículas han experimentado un descenso acumulado en el periodo 2005-2010 del orden del 29%, pasando de 482, 864 y 1.046 toneladas de  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  y PST en el año 2005, a 342, 614 y 741 toneladas respectivamente en el año 2010.

**Gráfico 7.** Evolución de las emisiones de partículas del sector industrial. Periodo 2005-2010



**Gráfico 8.** Contribución por SNAP a las emisiones de partículas del sector industrial. Año 2010.



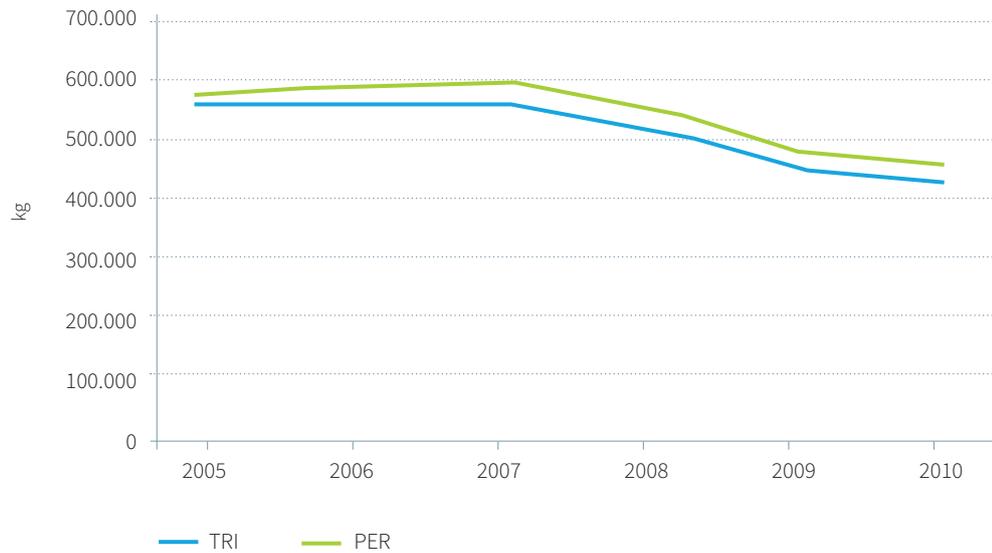
Los sectores con mayor contribución a la emisión de material particulado son, por orden de importancia, los procesos industriales sin combustión (industria del hierro y acero) con un 49% para las PM<sub>2,5</sub>, un 55% para las PM<sub>10</sub> y un 53% para las PST en el año 2010, seguido de las plantas de combustión industrial (calderas, turbinas y motores y combustión en producción de aluminio secundario, cemento, cal y mezclas bituminosas), con 49%, 55% y 53% respectivamente para ese mismo año y finalmente la combustión en la producción de energía, con contribuciones menores del 11%, 6% y 5%. Cabe indicar que el tratamiento y la eliminación de residuos (incineración) suponen una aportación minoritaria a las emisiones de partículas.

## COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES (COP)

En el Gráfico 9 se recoge la evolución de las emisiones de compuestos orgánicos persistentes (COP) derivados del sector industrial. Los contaminantes incluidos en esta categoría son: pentaclorofenol (PCP), hexaclorobenceno (HCB), tricloroetilenos (TRI), percloroetilenos (PER), dioxinas y furanos (DIOX) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP).

La totalidad de las emisiones de compuestos orgánicos persistentes han descendido a lo largo del periodo 2005-2010.

**Gráfico 9.** Evolución de las emisiones de COP del sector industrial.



La aportación de cada categoría SNAP a las emisiones de los distintos compuesto orgánicos persistentes, se indica en el Gráfico 10.

Observando la contribución de cada subsector industrial, se aprecia que las emisiones de TRI y de PER proceden exclusivamente del “Uso de disolventes y otros productos”, en concreto de las actividades de desengrasado de metales con disolventes, con una emisión en el año 2010 de 436.782 kg de TRI y 364.836 kg de PER, y de las actividades de limpieza en seco, las cuales han emitido un total de 96.790 kg de PER en 2010.

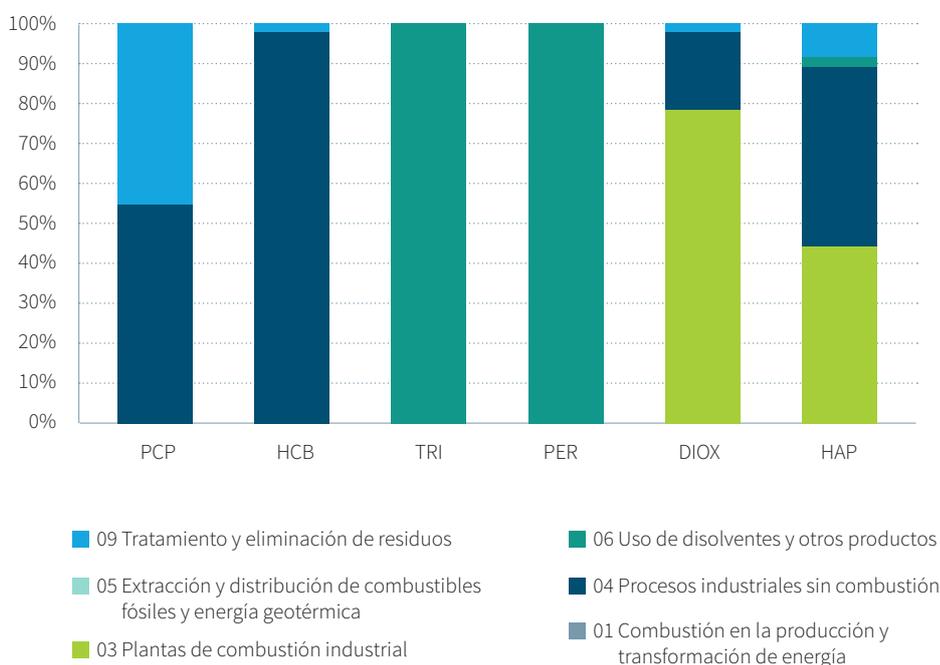
Los subsectores industriales responsables de las emisiones de PCP se corresponden con la incineración de residuos domésticos, con un 46% en 2010 y la industria del hierro y el acero, con un 54% en 2010 proce-

dente de los hornos eléctricos en acerías. Este último sector contribuye también al 97% de las emisiones de HCB en ese mismo año.

Las emisiones de dioxinas y furanos (DIOX) presentan su mayor contribución en los procesos de producción de aluminio secundario (plantas de combustión industrial) con un 79% de las emisiones del sector. La aportación de la incineración de residuos a la emisión de DIOX es minoritaria, representando el 1%.

Por otra parte las emisiones de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) se reparten entre los procesos de fundición de hierro (plantas de combustión industrial) con un 43% y los procesos industriales sin combustión (acerías) con un 47% del total.

**Gráfico 10. Emisiones de COP del sector industrial. Año 2010.**





## ANEXO III.2 SECTOR TRANSPORTE

Este sector engloba el transporte por carretera, de turismos, motos y ciclomotores, vehículos ligeros y pesados, y otros modos de transporte y maquinaria móvil, que incluye ferrocarril, tráfico aéreo, tráfico en el sector agricultura, silvicultura, industria y otros.

El transporte es de gran importancia en la Comunidad de Madrid ya que el territorio alberga un gran número de vías de comunicación, tanto de circunvalación de la ciudad de Madrid y los municipios limítrofes (M-30, M-40, M-50, etc.), como autopistas radiales de comunicación con las provincias del entorno (A-1, A-2, etc.). Actualmente, la región cuenta con un total de 2.584,642 kilómetros de carreteras, de los cuales 661,755 pertenecen a la red principal; 633,852 a la red secundaria; y 1.289,035 a la red local.

En cuanto al transporte de mercancías, la Comunidad de Madrid se configura como un centro logístico de importancia, en el cual se reciben y expiden mercancías por vía aérea, ferroviaria y por carretera.

Como pauta general, el tráfico rodado en la región tras aumentar ligeramente entre los años 2005 y 2007, se ha mantenido más o menos constante a lo largo del 2008 y 2009 y ha descendido en el año 2010. A la hora de analizar el tráfico desde el punto de vista de la contaminación atmosférica, es necesario conside-

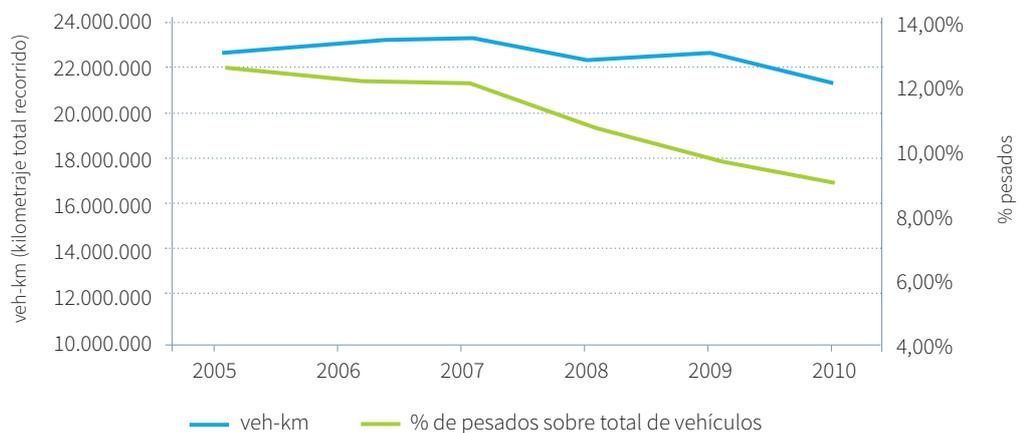
rar la pauta de conducción, puesto que es un factor determinante en la cantidad de contaminantes emitidos. En el Gráfico 11 se recoge la tendencia en los últimos cinco años de los kilómetros realizados en pauta interurbana y rural.

**Imagen 1.** Red de carreteras de la Comunidad de Madrid.



Fuente: Consorcio de Transportes de Madrid

**Gráfico 11.** Evolución de los kilómetros realizados en pauta de conducción interurbana y rural y % de kilómetros realizados por vehículos pesados. Periodo 2005-2010.



Fuente: Inventarios de Emisiones a la Atmósfera en la Comunidad de Madrid. Datos elaborados en base a datos de Ministerio de Fomento, Dirección General de Carreteras de la Comunidad de Madrid y CORES.

Tanto para la pauta de conducción rural como interurbana, los kilómetros descienden ligeramente a lo largo del periodo 2005-2010, teniendo un máximo el año 2007, donde se alcanzó el valor de 23.180.822 vehículos\*kilómetro que, tras un repunte el año 2009, descendió hasta los 21.257.901 vehículos\*kilómetro del año 2010. En estas pautas de conducción los vehículos pesados, relacionados con el transporte de mercancías, tienen una mayor contribución que en la conducción urbana, si bien la tendencia es descendente durante el periodo 2005-2010, en favor de otras tipologías de vehículos.

En relación a la pauta urbana, en el Gráfico 12 se incluyen los datos de kilómetros recorridos, así como el porcentaje de los mismos realizados por las diferentes tipologías de vehículos.

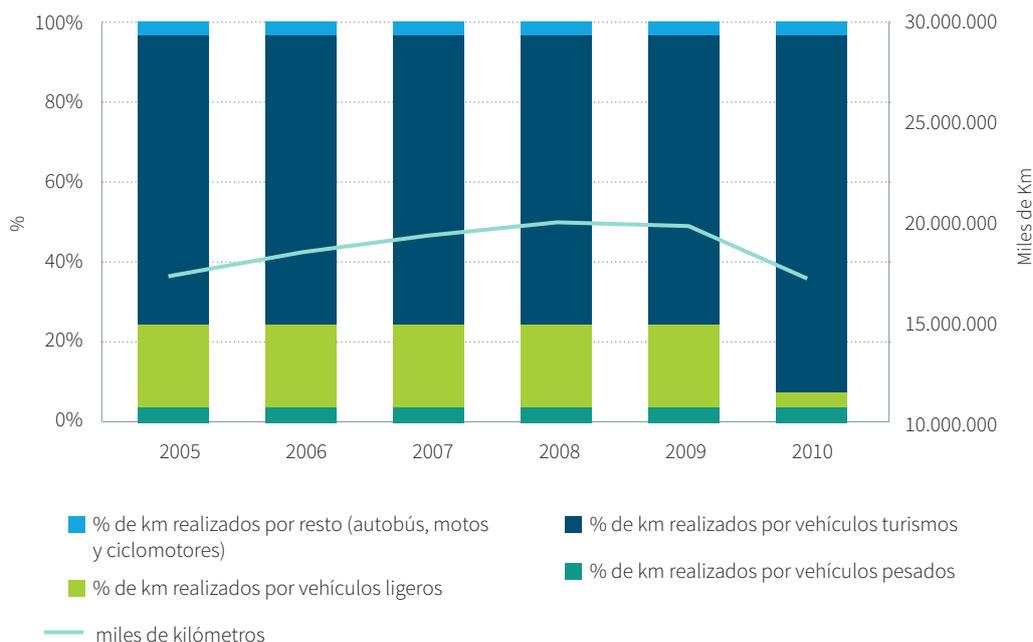
Los kilómetros totales recorridos en la Comunidad de Madrid en pauta de conducción urbana en el periodo 2005-2010 han mostrado una tendencia ascendente hasta el año 2008, a partir del cual descienden a niveles inferiores a los del 2005. El porcentaje de kilóme-

tros realizado por vehículos pesados es pequeño y se sitúa en el 3,22% en 2010, al igual que los kilómetros recorridos en otros medios como autobús, motos y ciclomotores, cuyo total supone en torno al 3,70% en 2010. Cabe destacar el descenso de recorrido en pauta urbana por parte de los vehículos ligeros, los cuales son representativos de la actividad en el sector servicios y PYMEs, pasando del entorno del 19% al 3,62% en el último año. Éste ha sido desplazado por los turismos, cuya proporción ha aumentado hasta suponer del orden del 90% de los kilómetros recorridos en pauta urbana.

Por tanto, se observa un descenso generalizado del tráfico y se evidencia el peso relevante que representa en el tráfico la circulación de turismos en pauta urbana en la Comunidad de Madrid.

En el Gráfico 13 se analiza la distribución por tipo de combustible del parque de turismos, el cual representa aproximadamente un 77% del parque total de vehículos de la región.

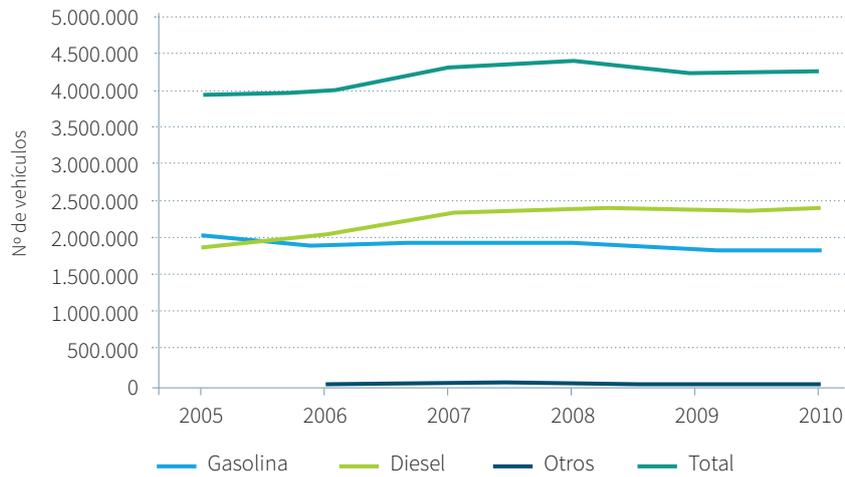
**Gráfico 12.** Evolución de los kilómetros realizados en pauta de conducción urbana y % de kilómetros realizados por las diferentes categorías de vehículos. Periodo 2005-2010.



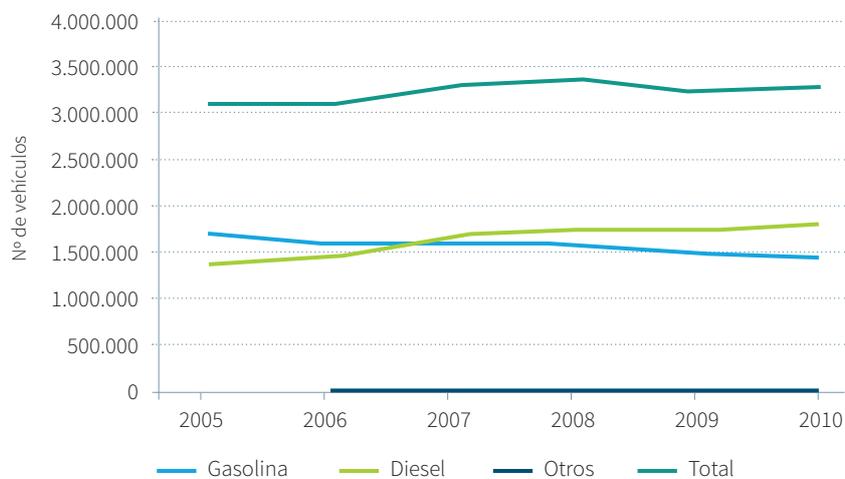
Fuente: Inventarios de Emisiones a la Atmósfera en la Comunidad de Madrid. Datos elaborados en base a datos de Ministerio de Fomento, Dirección General de Carreteras de la Comunidad de Madrid y CORES.

**Gráfico 13.** Evolución del parque de turismos y del parque total de vehículos por tipo de combustible en la Comunidad de Madrid. Periodo 2005-2010.

**Parque de vehículos por tipo de combustible**



**Parque de turismos por tipo de combustible**



Fuente: Parque nacional automóvil distribuido por provincias, tipos y carburantes. DGT.

La evolución de los vehículos, incluyendo turismos, sigue la tendencia existente de dieselización del parque, lo cual implica una mayor emisión específica de óxidos de nitrógeno procedentes de los vehículos que consumen gasóleo. No obstante, las emisiones están condicionadas también por el consumo de combustible derivado de los kilómetros recorridos y la pauta de conducción, factores que han descendido en los últimos años, y por la eficiencia de los

vehículos, la cual ha mejorado con la renovación del parque de vehículos y la aplicación progresiva de las normas Euro.

En la siguiente gráfica se observa como el consumo de gasóleo y gasolina ligado al transporte ha acumulado una disminución del 7,7% en el periodo 2005-2010.

Dentro del sector transporte se incluye el transporte ferroviario, el cual ha experimentado un aumento considerable y actualmente permite la comunicación de Madrid con las principales capitales de provincia

en líneas de larga distancia y la comunicación interna de la región gracias a una extensa red de cercanías. Esta mejora de infraestructuras repercute en un cambio modal en beneficio del ferrocarril, medio menos emisor de contaminantes que el transporte por carretera convencional.

**Gráfico 14. Evolución del consumo de gasóleo y gasolina en el sector transporte (kteps)<sup>3</sup>. Periodo 2005-2010.**



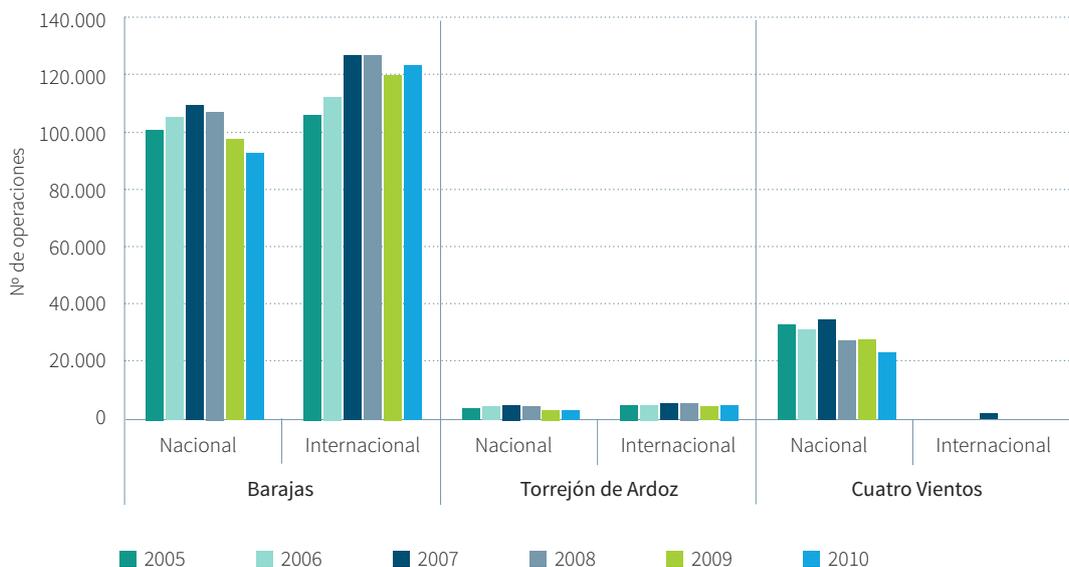
Por último, cabe destacar la presencia de tres aeropuertos en la Comunidad de Madrid: Barajas, Torrejón de Ardoz y Cuatro Vientos. En Barajas tiene lugar el mayor número de vuelos nacionales e internacionales, abarcando prácticamente un 90% de los vuelos con origen o destino en la región.

En general, en los dos últimos años (2009 y 2010) han tenido lugar menos operaciones que en años previos en los tres aeropuertos, a excepción de los vuelos internacionales en Barajas, los cuales han descendido aunque manteniéndose por encima de los niveles del 2005 y 2006.

A continuación, se analizan las emisiones inventariadas para el sector transporte.

Fuente: Inventarios de Emisiones a la Atmósfera en la Comunidad de Madrid.

**Gráfico 15. Evolución del número de operaciones de los aeropuertos de la Comunidad de Madrid. Periodo 2005-2010.**



3. Datos extraídos de los balances energéticos elaborados específicamente para el cálculo de los inventarios de emisiones de la Comunidad de Madrid.

Fuente: AENA. 2011.

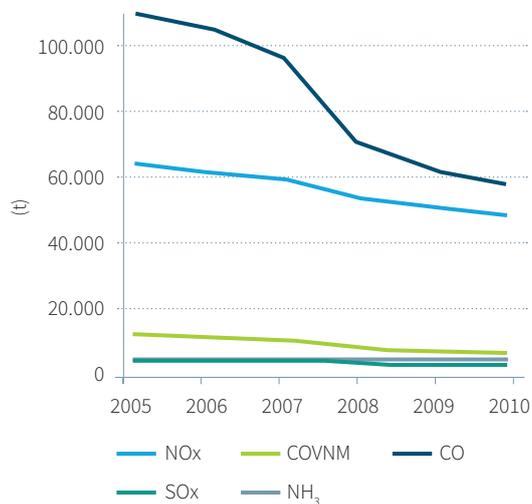
## SUSTANCIAS ACIDIFICADORAS Y PRECURSORAS DE OZONO

Las emisiones de sustancias acidificadores y precursoras de ozono derivadas del sector transporte presentan una tendencia marcadamente descendente en el periodo 2005-2010, con reducciones del 49% para COVNM, 48% para CO, 32% para SOx y 25% para NOx. No obstante, en el año 2010 el sector transporte es el responsable del 79% de las emisiones totales de NOx de la Comunidad de Madrid y del 77% de las emisiones de CO.

Esta evolución descendente de las emisiones se debe principalmente a:

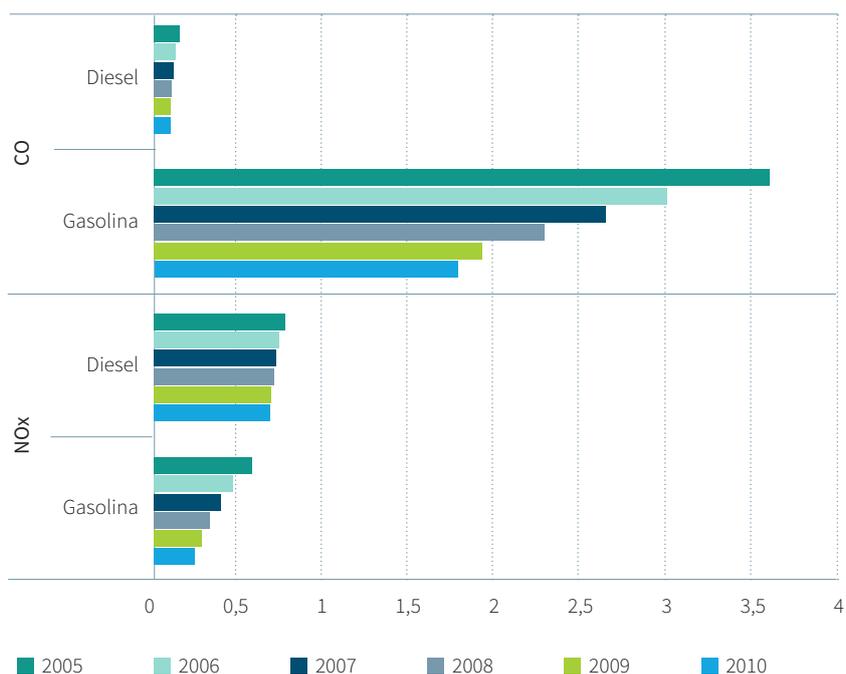
- Una reducción de tráfico, principalmente en pauta de conducción urbana.
- La incorporación progresiva al parque circulante de vehículos Euro 4 a partir del año 2005, los cuales presentan factores de emisión más reducidos principalmente para CO y NOx en vehículos gasolina y NOx en vehículos diésel.

**Gráfico 16.** Evolución de las emisiones de sustancias acidificadoras y precursoras del ozono del sector transporte. Periodo 2005-2010.



En el Gráfico 17 se recoge la evolución de los factores de emisión medios (g/km) por tipo de combustible para turismos, apreciándose la disminución asociada a la incorporación de vehículos Euro 4 a partir del año 2005.

**Gráfico 17.** Factores de emisión medios por kilómetros para turismos a nivel nacional. Periodo 2005-2010.



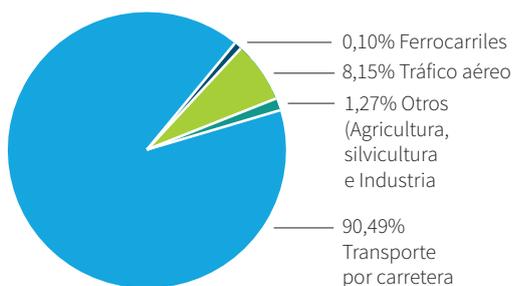
Fuente: Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera 1990-2010. Volumen 2: Análisis por Actividades SNAP.

Analizando la contribución de los diferentes modos de transporte para el año 2010 a las emisiones totales del sector, se observa como el transporte por carretera es el principal responsable de las emisiones de acidificadores y precursores de ozono, a excepción del SOx, cuya principal fuente de emisión se corresponde con el tráfico aéreo (consumo de Jet A1<sup>4</sup>), responsable del 75% de las emisiones del sector.

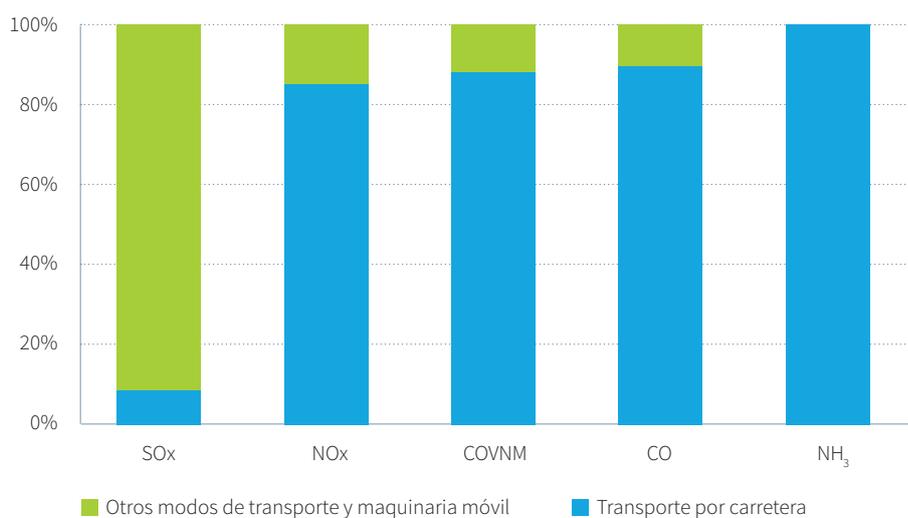
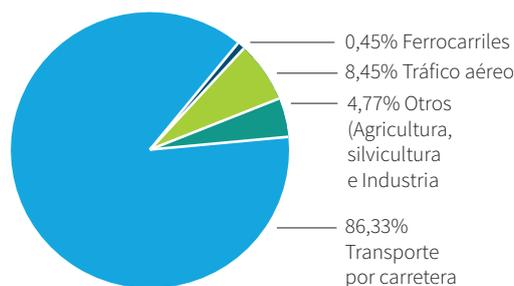
Observando los principales contaminantes del transporte por carretera (NOx y CO) en función de la pauta de conducción, se aprecia como la mayor aportación a las emisiones de NOx viene dada por los turismos y los vehículos pesados tanto en conducción urbana como en interurbana, mientras que las emisiones de CO son derivadas principalmente de turismos en conducción interurbana.

**Gráfico 18.** Contribución por modo de transporte a las emisiones de sustancias acidificadoras y precursoras

**Emisiones de CO del sector transporte**



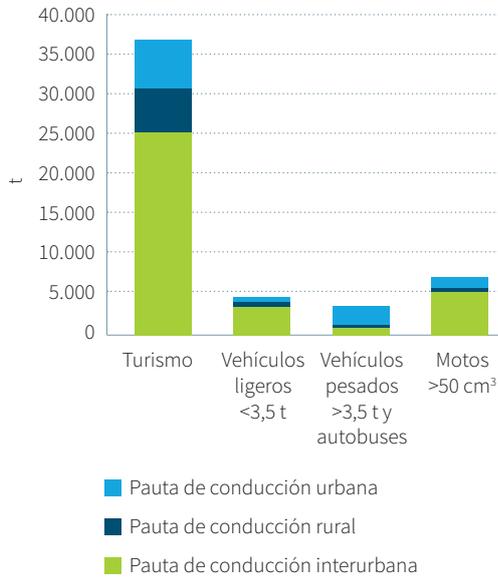
**Emisiones de NOx del sector transporte**



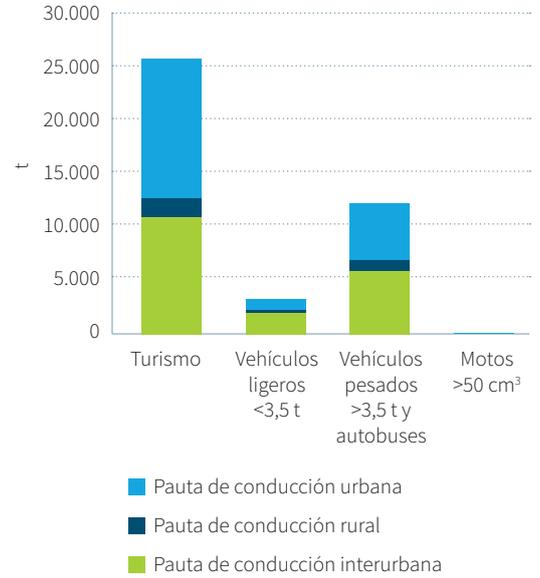
4. Combustible de aviación a base de keroseno empleado en la mayoría (excepto en climas extremos por baja temperatura de operaciones de aviación comercial). Sus características y propiedades físico-químicas se recogen en la norma ASTM D1655 - 13a. Standard Specification for Aviation Turbine Fuels

**Gráfico 19.** Contribución de las diferentes tipologías de vehículos, en función de la pauta de conducción, a las emisiones de NOx y CO. Año 2010.

**Emisiones de CO del sector transporte por carretera**



**Emisiones de NOx del sector transporte por carretera**

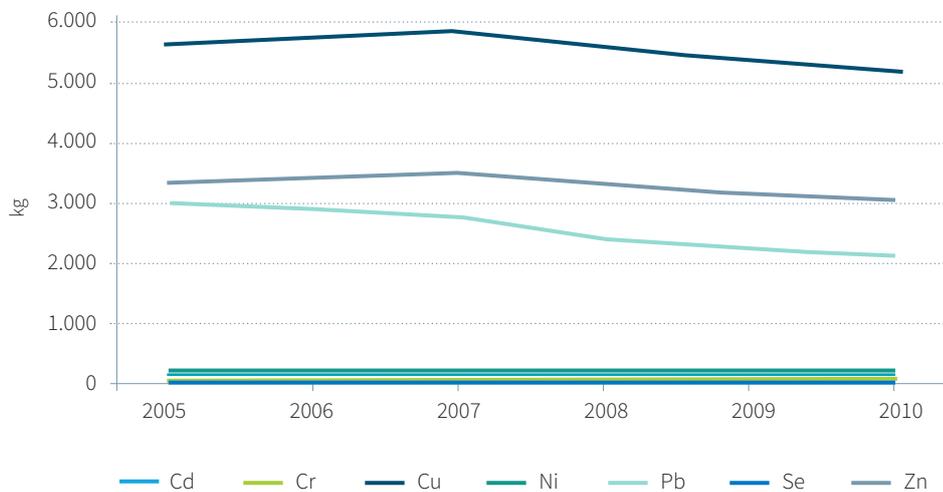


## METALES PESADOS

Las emisiones de metales a lo largo del periodo 2005-2010 descienden ligeramente a partir del año 2007. Los contaminantes con mayor contribución al total

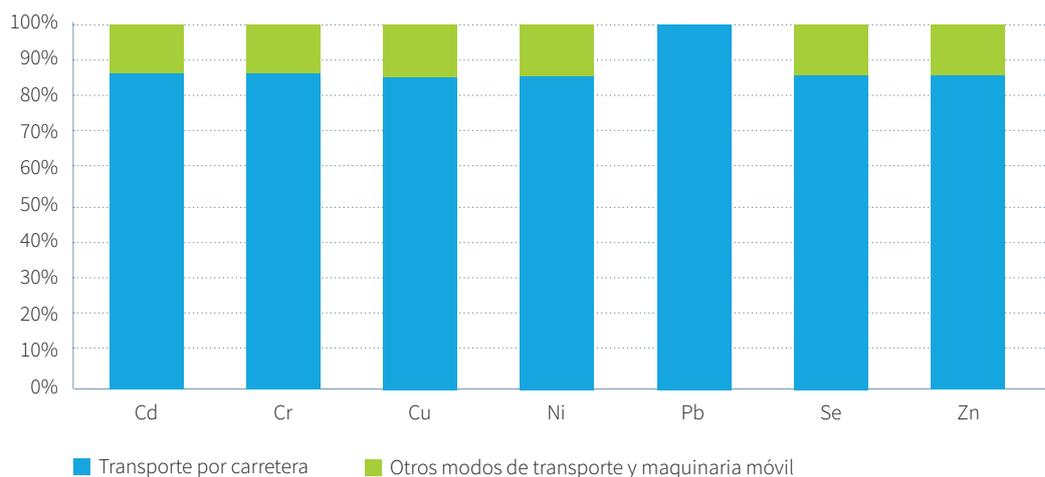
de emisiones de metales pesados del sector transporte en el año 2010, son el cobre con 5.144 kg, el zinc con 3.024 kg y el plomo con un total de 2.151 kg.

**Gráfico 20.** Evolución de las emisiones de metales del sector transporte. Periodo 2005-2010.



La contribución del transporte por carretera a las emisiones de metales es mayor que la de los otros modos de transporte, oscilando entre el 100% para el Pb y el 86-87% para el resto de contaminantes.

**Gráfico 21.** Contribución por modo de transporte a las emisiones de metales del sector transporte. Año 2010.



## PARTÍCULAS

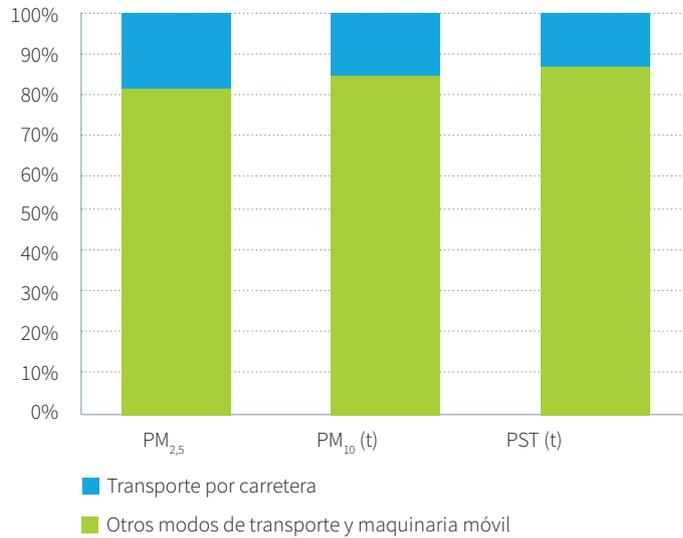
La tendencia de las emisiones de partículas es decreciente a lo largo del periodo 2005-2010, teniendo lugar disminuciones que oscilan, según el tipo de partículas, entre el 15-19% con respecto a los valores del 2005.

El transporte por carretera es el responsable de la mayor parte de las emisiones de partículas del sector transporte, con una contribución en el año 2010 que oscila entre el 81% y el 87% en función del tamaño de partículas.

**Gráfico 22.** Evolución de las emisiones de partículas del sector transporte. Periodo 2005-2010.



**Gráfico 23.** Contribución por modo de transporte a las emisiones de partículas del sector transporte. Año 2010.

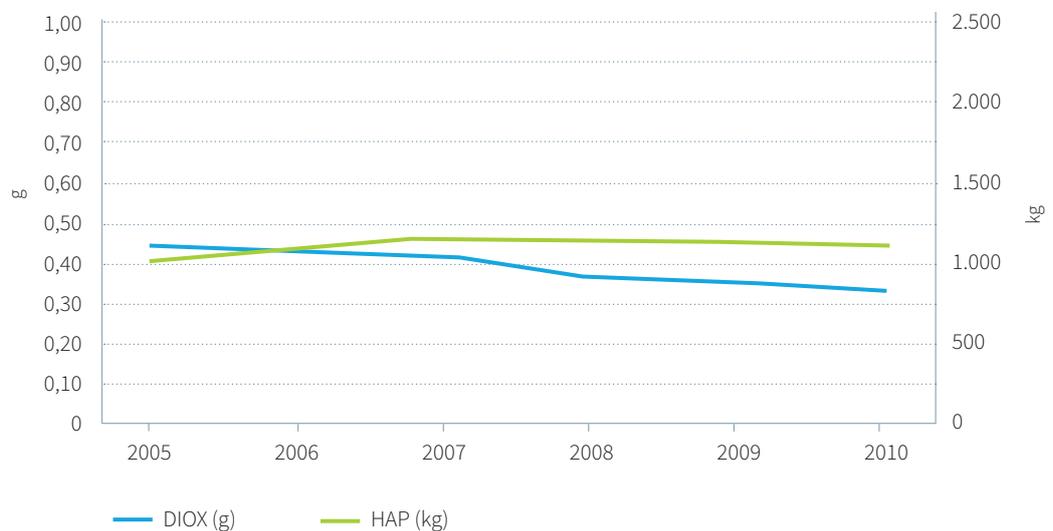


## COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES (COP)

La evolución de las emisiones de compuestos orgánicos persistentes (COP) derivados del sector transporte muestra una tendencia diferente durante el periodo 2005-2010 para dioxinas y furanos (DIOX) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). En el primer caso las emisiones se han rebajado en un 24% respecto a las del año 2005, mientras que en el caso de HAP, han aumentado en torno al 10%.

En relación a la contribución por modos de transporte, en el caso de las DIOX el 100% tiene su origen en el transporte por carretera, modo que a su vez aporta el 97% de las emisiones de HAP.

**Gráfico 24.** Evolución de las emisiones de partículas del sector transporte. Periodo 2005-2010.





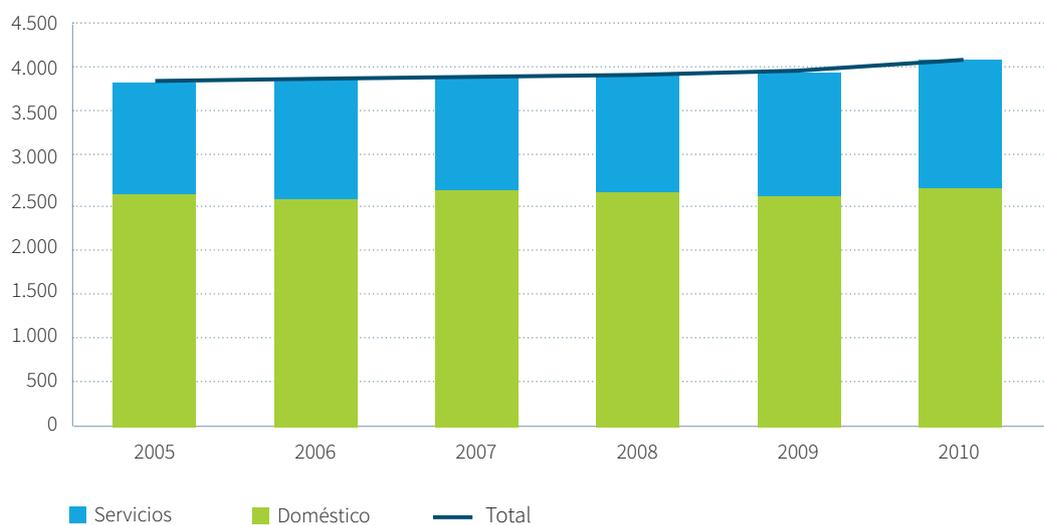
## ANEXO III.3 SECTOR RESIDENCIAL, COMERCIAL E INSTITUCIONAL

Este sector engloba las emisiones derivadas de la combustión en plantas no industriales en instalaciones comerciales e institucionales (denominado de forma general como subsector servicios) y residenciales (denominado de forma general como subsector doméstico)<sup>5</sup>.

Al tratarse de actividades de combustión, las emisiones totales asociadas al sector vienen determinadas exclusivamente por su demanda energética. Por otra parte la contribución de cada subsector al total, está directamente relacionada con su intensidad energética específica y con la tipología de combustibles predominante en cada caso.

A este respecto, según el balance energético de la Comunidad de Madrid del año 2010, el subsector doméstico supone en torno al 24% de la demanda energética total de la región, representando la segunda mayor después del transporte. Por su parte, el subsector servicios demanda alrededor del 12% de la energía de la Comunidad. En relación a su contribución al sector residencial e institucional, el mayor peso viene dado por el subsector doméstico, con 2/3 de la energía del sector, frente a 1/3 del subsector servicios. Este reparto se mantiene estable en el periodo 2005-2010.

**Gráfico 25.** Evolución de la demanda de energía final de los subsectores doméstico y servicios en la Comunidad de Madrid (ktep). Periodo 2005-2010.



5. Adicionalmente, con la finalidad de mantener el SNAP 02 completo, las emisiones incluyen también las procedentes de plantas de combustión en la agricultura, silvicultura y acuicultura

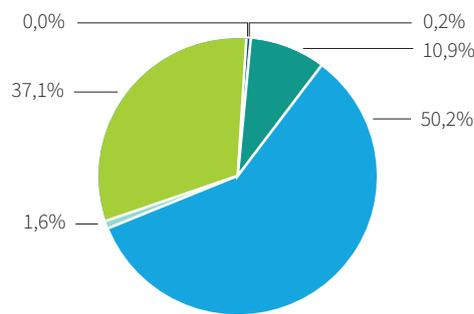
Fuente: Balance Energético de la Comunidad de Madrid.

El mix de combustibles asociado al consumo de energía final del sector residencial, comercial e institucional está compuesto, en el año 2010, mayoritariamente por energía eléctrica (50,2%), seguido de gas natural (37,1%) y derivados del petróleo (10,9%), siendo minoritarios los biocombustibles y el carbón.

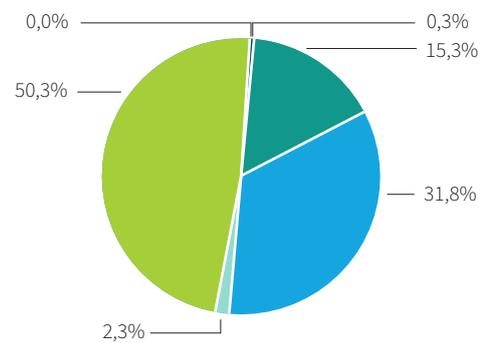
Esta distribución de la demanda por tipo de combustible, presenta diferencias relevantes entre los subsectores doméstico y servicios, teniendo el primero una contribución mayoritaria de gas natural (50,3%) asociado a las calderas de calefacción y ACS de hogares, frente al comercial donde prevalece la demanda de electricidad (87,1%).

**Gráfico 26.** Distribución de la demanda energética final de los subsectores doméstico y servicios de la Comunidad de Madrid por tipo de combustibles. Año 2010.

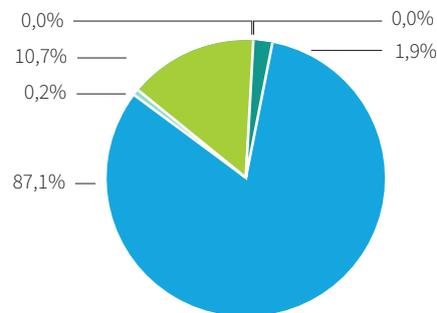
**Consumo energía final sector doméstico y servicios**



**Consumo energía final sector doméstico**



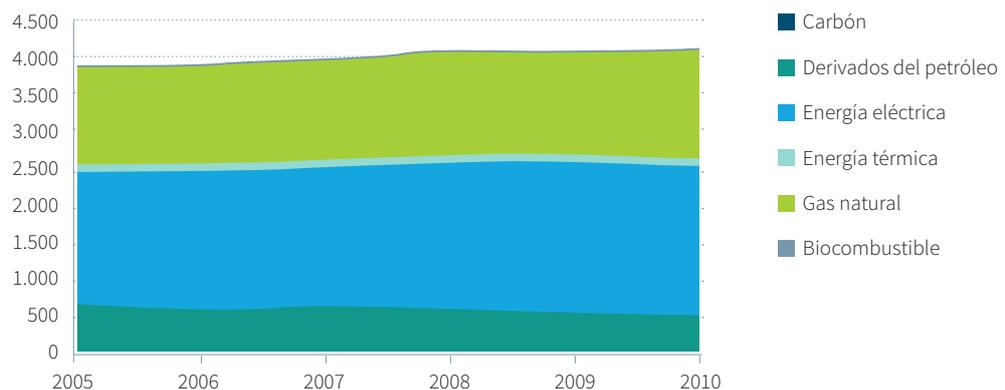
**Consumo energía final del sector servicios**



- Carbón
- Derivados del petróleo
- Energía eléctrica
- Energía térmica
- Gas natural
- Biocombustible

Fuente: Balance Energético de la Comunidad de Madrid.

**Gráfico 27.** Evolución del consumo de combustibles en los subsectores doméstico y servicios en la Comunidad de Madrid (ktep). Periodo 2005-2010.



Fuente: Balance Energético de la Comunidad de Madrid.

Cabe indicar que el consumo de combustibles en el subsector doméstico está concentrado en aquellas zonas con mayor número de hogares. A este respecto la Comunidad de Madrid se caracteriza por su alta densidad de población, 808,41 habitantes por km<sup>2</sup> en el año 2012, concentrándose la población en áreas delimitadas como se muestra en la Imagen 2.

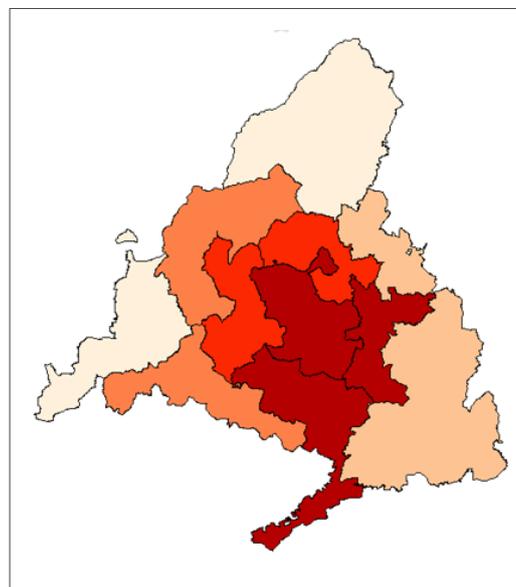
A continuación, se analizan las emisiones inventariadas para el sector residencial, comercial e institucional.

## SUSTANCIAS ACIDIFICADORAS Y PRECURSORAS DEL OZONO

Las emisiones de sustancias acidificadoras y precursoras de ozono mantienen una evolución alineada con la evolución del consumo energético. El descenso brusco de las emisiones de SO<sub>x</sub> es debido a que a partir el año 2008, de acuerdo con la metodología del Inventario Nacional de Emisiones, el gasóleo B contabilizado es de bajo índice de azufre.

El reparto de las emisiones del sector asigna la mayor contribución al subsector doméstico, el cual es responsable del orden de 2/3 de las emisiones de todos los contaminantes a excepción de los COVNM, cuyas emisiones se reparten con las plantas comerciales e institucionales (subsector servicios) mayoritariamente. En el caso del SO<sub>2</sub>, el reparto está determinado en gran medida por la tipología de combustible, siendo las plantas de combustión residenciales y en agricultura, silvicultura y acuicultura las que presentan mayor consumo de derivados del petróleo, frente a la escasa demanda de estos combustibles en el sector servicios (1,9% de la demanda del sector).

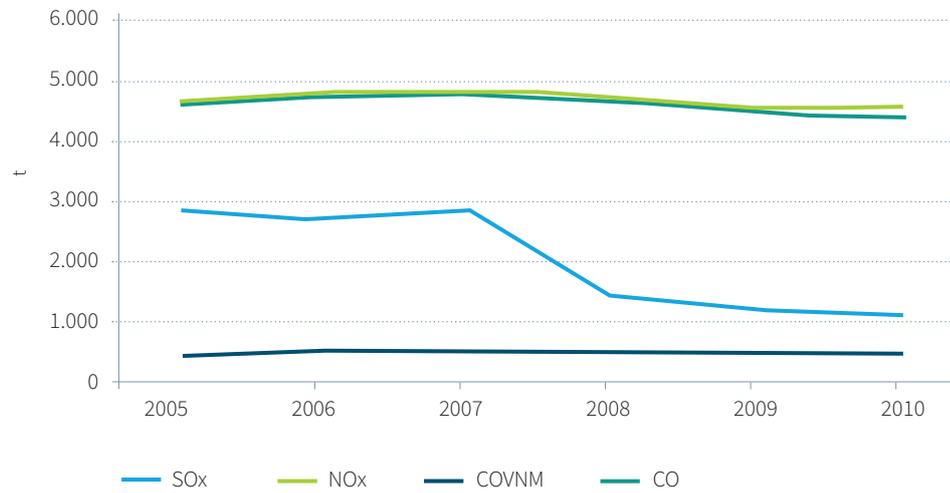
**Imagen 2.** Densidad de población en la Comunidad de Madrid.



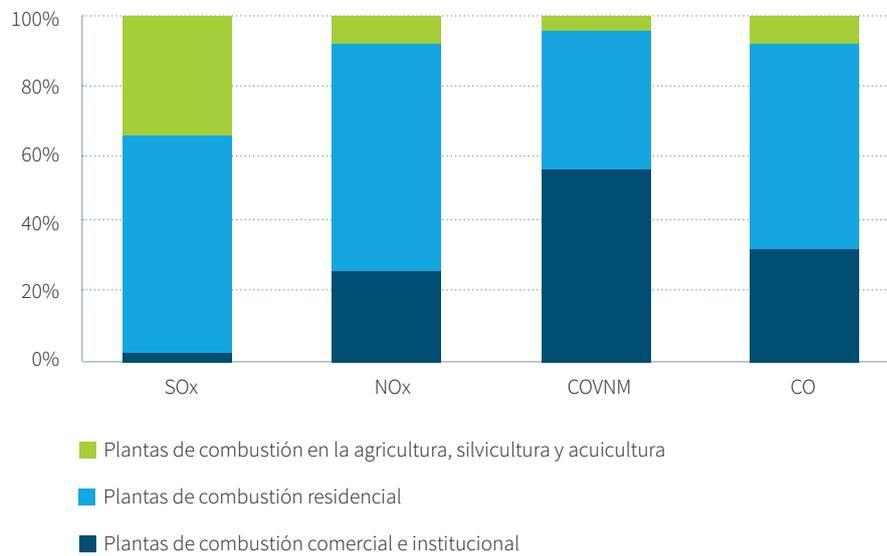
- Menos de 69,5
- De 69,5 a 195,19
- De 195,19 a 748,01
- De 748,01 a 1.555,14
- Más de 1.555,14

Fuente: Anuario Estadístico de la Comunidad de Madrid.  
Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid.

**Gráfico 28.** Evolución de las emisiones de sustancias acidificadoras y precursoras del ozono del sector residencial, comercial e institucional. Periodo 2005-2010.



**Gráfico 29.** Contribución por subsector a las emisiones de sustancias acidificadoras y precursoras del ozono del sector residencial, comercial e institucional. Año 2010.



## METALES

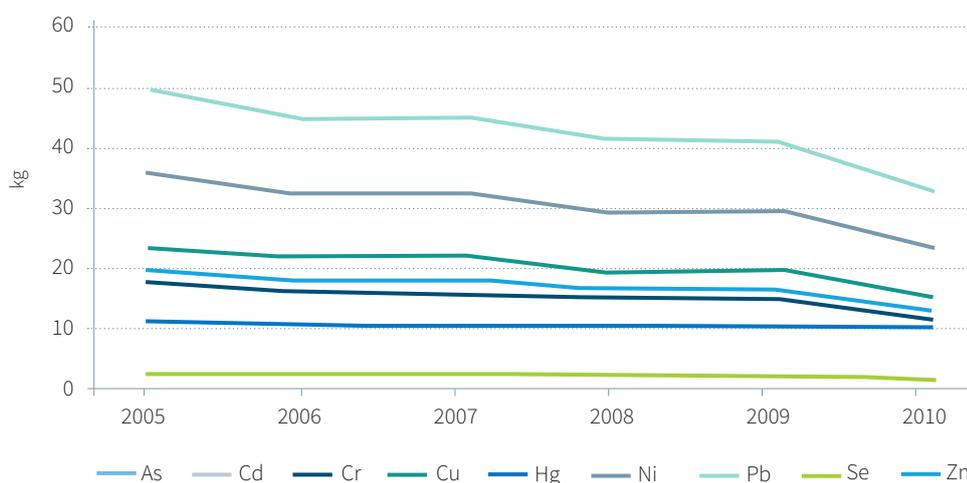
Las emisiones de metales a lo largo del periodo 2005-2010, presentan una tendencia descendente, en línea con el descenso del consumo de combustibles fósiles derivados de petróleo y carbón.

## PARTÍCULAS

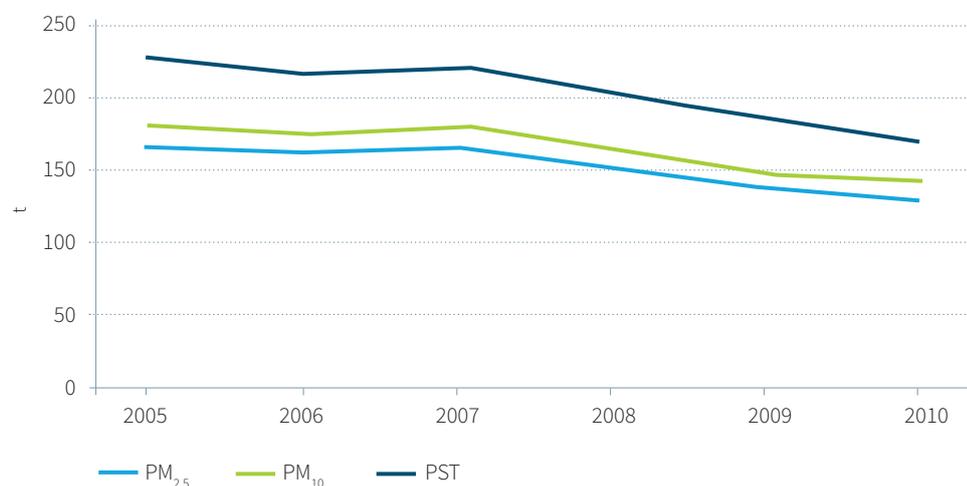
En el periodo 2005-2010 la emisión de partículas se ha visto reducida entre el 21% y el 25%, según el tipo de partículas, con respecto a las cantidades emitidas en 2005.

En relación a la aportación por subsectores, indicar que las plantas de combustión residenciales son responsables de entre el 66% y el 74% de las emisiones totales de partículas en el año 2010.

**Gráfico 30.** Evolución de las emisiones de metales del sector residencial, comercial e institucional. Periodo 2005-2010.



**Gráfico 31.** Evolución de las emisiones de partículas del sector residencial, comercial e institucional.



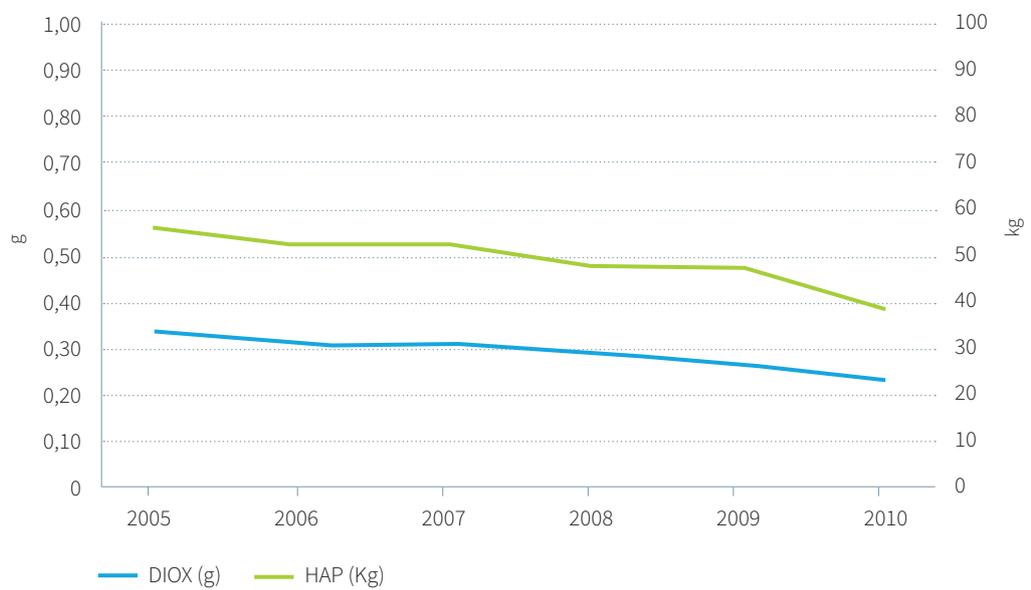
## COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES (COP)

La evolución de las emisiones de compuestos orgánicos persistentes (COP) del sector residencial e institucional muestra una tendencia descendente durante el periodo 2005-2010, tanto para dioxinas y furanos (DIOX), como para hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). En el primer caso las emisiones se han rebajado en un 29% respecto a las del año 2005, y en el caso de HAP, la disminución es del 33%.

La aportación mayoritaria a las emisiones de COP, la producen las plantas de combustión residenciales (subsector doméstico).

La aportación mayoritaria a las emisiones de COP, la producen las plantas de combustión residenciales (subsector doméstico).

**Gráfico 32.** Evolución de las emisiones de COP del sector residencial, comercial e institucional. Periodo 2005-2010.





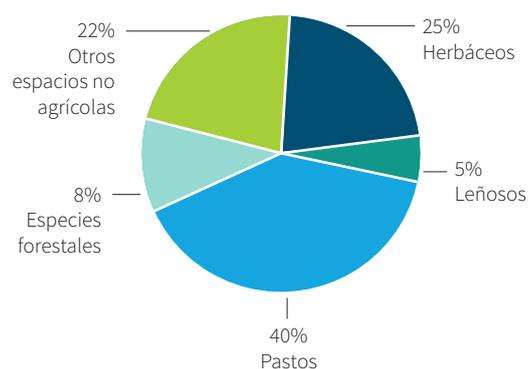
## ANEXO III.4 SECTOR AGRICULTURA Y MEDIO NATURAL

El sector que engloba la agricultura y otras fuentes y sumideros naturales (medio natural) representa una aportación pequeña en la estructura económica de la Comunidad de Madrid, si bien la superficie ocupada por instalaciones agrarias y zonas naturales en la región supone el 78% de la superficie total.

A la hora de analizar la emisión de contaminantes a la atmósfera en este sector, cabe distinguir entre las emisiones de la agricultura, procedentes principalmente del uso de fertilizantes en cultivos ( $\text{NH}_3$ ), operaciones de gestión de estiércol de la cabaña ganadera (partículas,  $\text{CH}_4$  y  $\text{NH}_3$ ), quema de rastrojos (varios contaminantes) y fermentación entérica del ganado ( $\text{CH}_4$ ), y las emisiones del medio natural, provenientes principalmente de la propia masa foliar de las superficies boscosas (COVNM) y de incendios forestales (varios contaminantes).

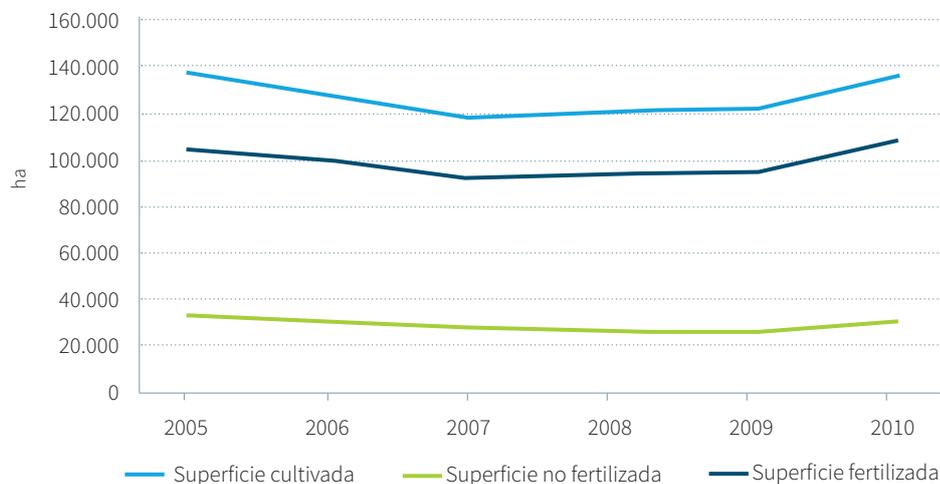
En los Gráficos 33 y 34 se recoge la distribución de la superficie agraria en la Comunidad de Madrid en el año 2010 y la evolución que ha presentado la superficie cultivada en el periodo 2005-2010, diferenciando entre cultivos fertilizados y no fertilizados.

**Gráfico 33.** Distribución de la superficie agraria en la Comunidad de Madrid. Año 2010.



Fuente: Datos de Agricultura. Fichas resumen. Caja España. Datos basados en información de Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 2011.

**Gráfico 34.** Evolución de la superficie cultivada en la Comunidad de Madrid, diferenciando entre fertilizada y no fertilizada. Periodo 2005-2010.



Fuente: Inventario de emisiones a la atmósfera de la Comunidad de Madrid.

La superficie fertilizada desciende ligeramente en el periodo 2005-2007, estabilizándose durante unos años en torno a las 92.000 ha para aumentar en el año 2010 hasta unas 106.300 ha. Teniendo en cuenta que la superficie fertilizada representa del orden del 77%, como promedio en el periodo 2005-2010, de la superficie total cultivada, esta última mantiene una tendencia análoga durante estos años.

En cuanto a la cabaña ganadera de la Comunidad de Madrid, ésta presenta una evolución en el periodo 2005-2010 diversa en función del tipo de ganado. El bovino, es el predominante y asciende hasta 111.177 cabezas en el año 2007, manteniéndose en torno a este valor hasta el año 2010. Por el contrario, las

cabañas ovina y porcina descienden a lo largo del periodo 2005-2010, manteniéndose esta última en todo momento como la tercera cabaña más numerosa de la Comunidad de Madrid. El ganado equino y caprino son las cabañas con menos representación en la región.

### SUSTANCIAS ACIDIFICADORAS Y PRECURSORAS DEL OZONO

A continuación se incluye la evolución de las emisiones de estos contaminantes, diferenciando por categoría SNAP (agricultura y otras fuentes y sumideros).

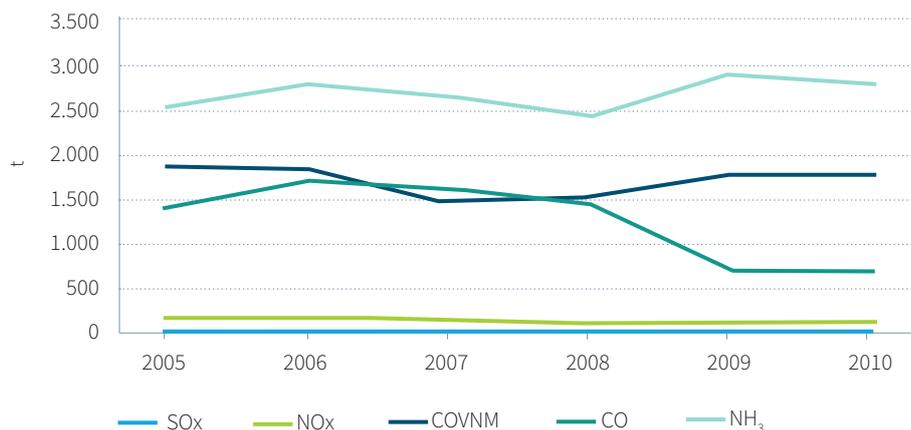
**Gráfico 35. Evolución de la cabaña ganadera en la Comunidad de Madrid.**



Fuente: Inventario de emisiones a la atmósfera de la Comunidad de Madrid.

**Gráfico 36. Evolución de las emisiones de sustancias acidificadoras y precursoras del ozono del sector agricultura y medio natural. Periodo 2005-2010.**

#### Subsector agricultura



## Subsector otras fuentes y sumideros (naturaleza)



Las mayores emisiones del sector son las relativas a COVNM (32.078 t en 2010) y NH<sub>3</sub> (2.796 t en 2010), aportando en torno al 46% y al 59% de las emisiones totales de estos contaminantes, lo cual representa una contribución relevante al inventario de la Comunidad de Madrid.

Las emisiones de NH<sub>3</sub> acumulan un aumento del 11,5% en el periodo 2005-2010, en línea con el aumento de la cabaña bovina (gestión de estiércol con referencia a compuestos nitrogenados) y con el aumento de la superficie fertilizada.

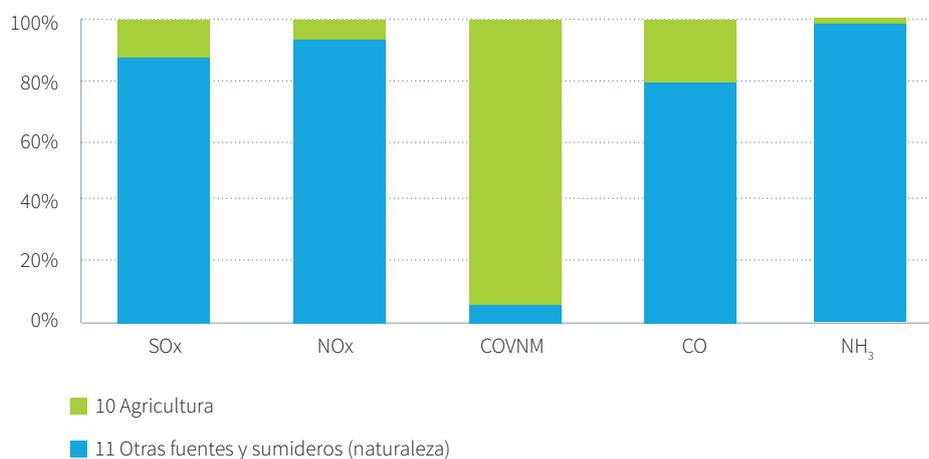
En el periodo 2005-2010, se produce un descenso de las emisiones de CO en torno al 50,5%, asociado a la

disminución de actividades de quema de rastrojos y una menor superficie forestal incendiada.

En relación a los COVNM, contaminante mayoritario del sector, las emisiones se mantienen estables<sup>6</sup> a lo largo del periodo analizado y están asociadas a la masa forestal de la Comunidad de Madrid.

En cuanto a la contribución por subsectores a las emisiones de sustancias acidificantes y precursoras de ozono, en todos los contaminantes la agricultura representa la fuente mayoritaria, a excepción de las emisiones de COVNM, cuya aportación principal viene dada por las masas forestales.

**Gráfico 37. Emisiones de sustancias acidificadoras y precursoras del ozono del sector agricultura y medio natural. Año 2010.**



6. En los años 2007 y 2008 las fuentes cartográficas utilizadas en el inventario de COVNM han sido diferentes a las empleadas el resto de años de la serie histórica

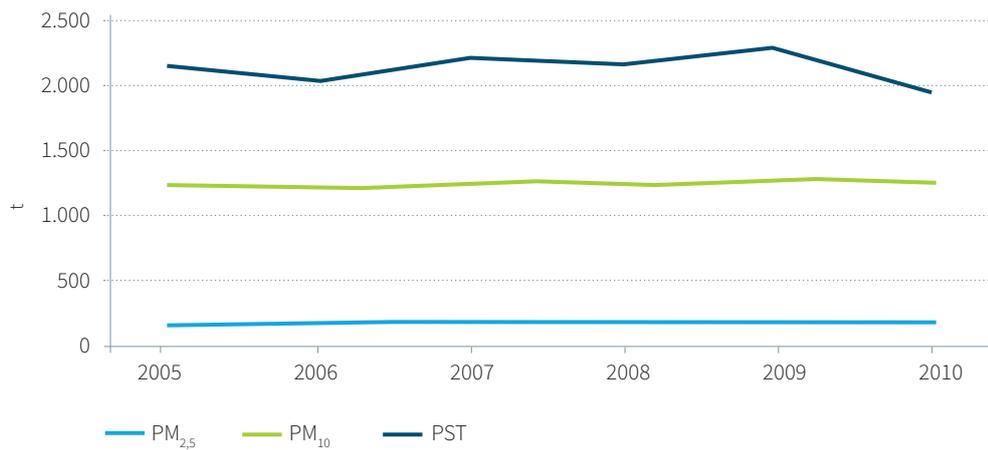
## PARTÍCULAS

La emisión de partículas del sector es aportada en su totalidad por el subsector de agricultura (gestión de estiércol y, en menor medida, preparación de campos de cultivo), con una tendencia que se mantiene constante en el periodo 2005-2010.

## COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES (COP)

En relación a los compuestos orgánicos persistentes (COP), el sector agricultura y medio natural tiene relevancia en la emisión de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), las cuales representan el 11,6% del total de emisiones de este contaminante en la Comunidad de Madrid. La tendencia de estas emisiones en el periodo 2005-2010 ha sido descendente, asociada a la disminución de actividades de quema de rastrojos, fuente principal de emisión de HAP.

**Gráfico 38.** Evolución de las emisiones de partículas del sector agricultura y medio natural. Periodo 2005-2010.



**Gráfico 39.** Evolución de las emisiones de HAP del sector agricultura y medio natural. Periodo 2005-2010.



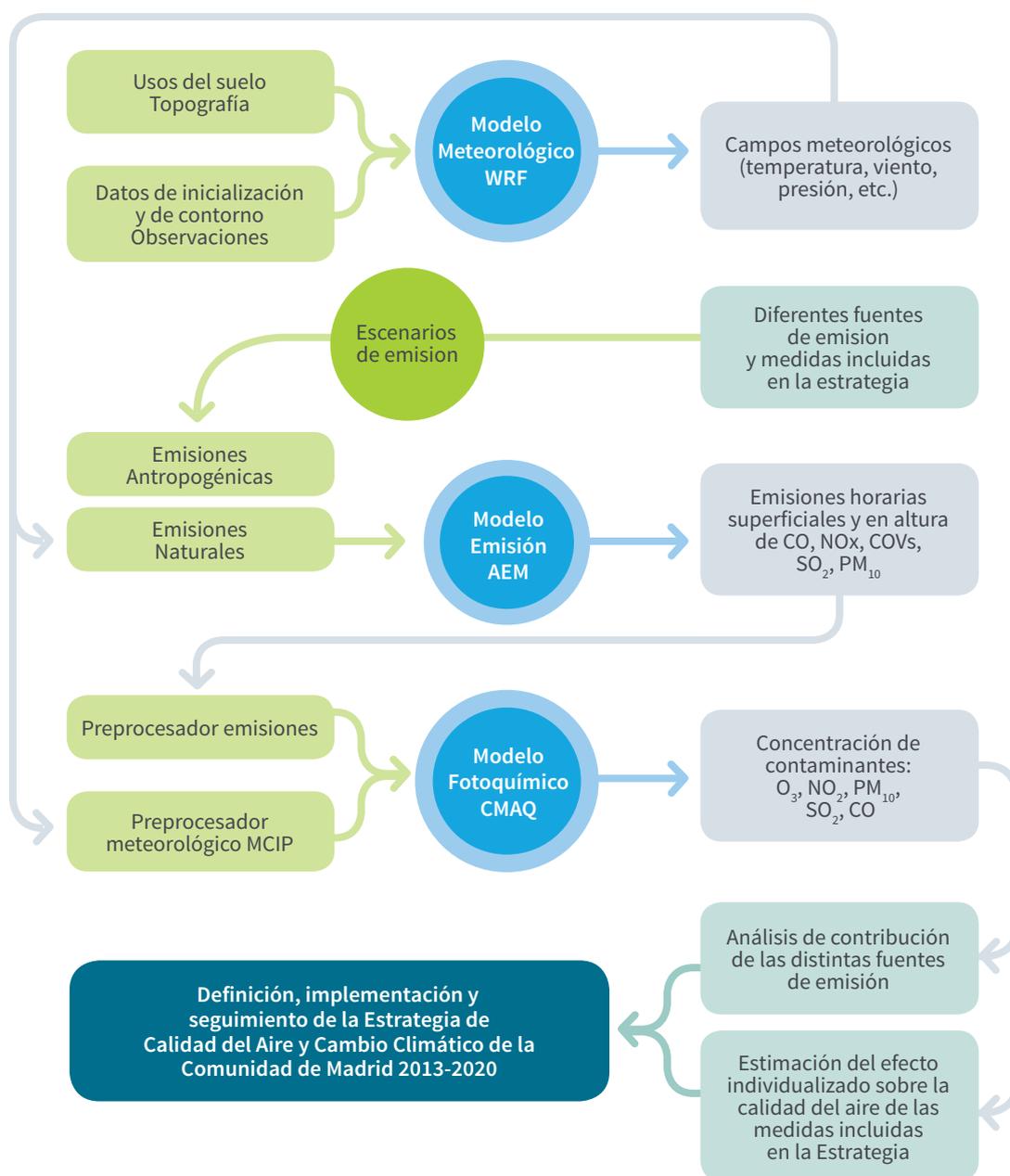
# A.IV MODELIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE CONTRIBUCIÓN DE FUENTES

Anexo IV.1 Descripción del sistema de modelización .....	218
Anexo IV.2 Calibración y validación del sistema .....	233

## ANEXO IV.1.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE MODELIZACIÓN

El sistema de modelización de la calidad del aire meteorológico, un modelo de emisión y un modelo diseñado y desarrollado está formado por un modelo Euleriano fotoquímico (Imagen 1).

**Imagen 1.** Esquema descriptivo del sistema de modelización de la calidad del aire desarrollado.



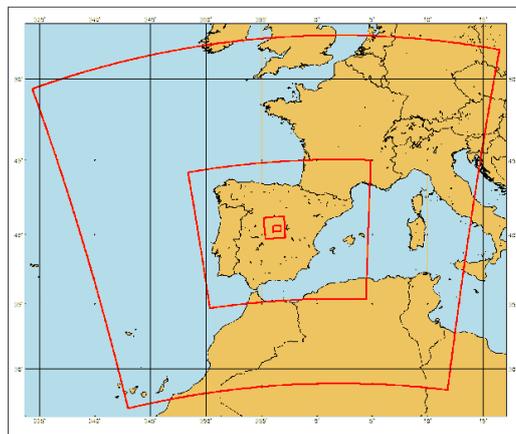
En los siguientes apartados se comentan las características de cada uno de los modelos que forman el sistema integrado desarrollado.

## 1. ARQUITECTURA DE MODELIZACIÓN Y RESOLUCIÓN ESPACIAL

El sistema de modelización de la calidad del aire diseñado se aplica sobre el esquema de dominios definido en la siguiente imagen. El esquema de dominios está compuesto por 4 dominios diferentes cuyas características principales se muestran en la Tabla 1.

El área de estudio se compone de un primer dominio (denominado d01) de 108 x 97 celdas de resolución horizontal 27 km que cubre gran parte de Europa y el norte de África; un segundo dominio (denominado d02) de 142 x 118 celdas de resolución 9 km que cubre toda la Península Ibérica; un tercer dominio d03 de resolución 3 km correspondiente a toda la Comunidad de Madrid de 52 x 55 celdas; y finalmente un

**Imagen2.** Arquitectura de dominios de aplicación del sistema de modelización diseñado.

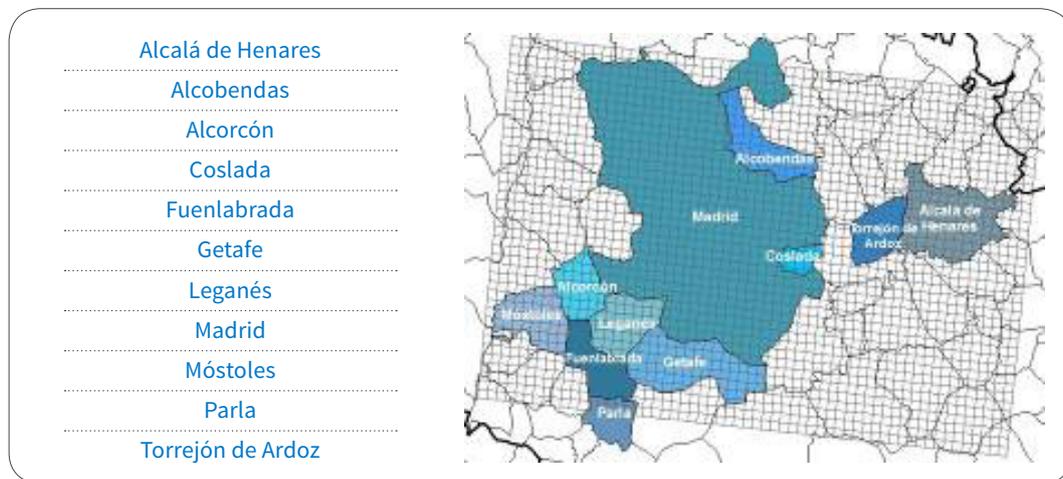


dominio (denominado d04) de 1 km de resolución horizontal, de 61x43 km<sup>2</sup> correspondiente al municipio de Madrid y municipios adyacentes de más de 100.000 habitantes y Coslada (ver Imagen 3).

**Tabla 1.** Características de los dominios de aplicación del sistema de modelización diseñado.

Características	d01	d02	d03	d04
Descripción	Europa y Norte de África	Península Ibérica	Comunidad de Madrid	Madrid y alrededores
Escala	Regional	Regional	Regional	Urbana
Resolución horizontal	27x27 km <sup>2</sup>	9x9 km <sup>2</sup>	3x3 km <sup>2</sup>	1x1 km <sup>2</sup>
Número de puntos (W-E x S-N)	108 x 97	142 x 118	52 x 55	61 x 43
Extensión	2916 x 2619 km <sup>2</sup>	1278 x 1062 km <sup>2</sup>	156 x 165 km <sup>2</sup>	61 x 43 km <sup>2</sup>
Ventana temporal	2 días	2 días	2 días	2 días
Modelos aplicados	WRFv3.3	WRFv3.3 AEMv1.0 CMAQv4.7.1	WRFv3.3 AEMv1.0 CMAQv4.7.1	WRFv3.3 AEMv1.0 CMAQv4.7.1

**Imagen 3.** Municipios considerados para la evaluación de sectores de emisión.



La resolución espacial con la que trabajan los modelos no sólo viene determinada por la resolución horizontal, sino que es muy importante una óptima resolución vertical, especialmente cuando intervienen emisiones en altura. A su vez, y para reproducir el máximo número de procesos que intervienen sobre los procesos físicos y químicos que se producen en la baja troposfera y que afectan a los niveles de dióxido de nitrógeno, es adecuado aumentar la resolución

vertical de los modelos a baja altura (Zhang et al., 2006a, 2006b; Bravo et al., 2008). De esta manera, y siguiendo los resultados de diferentes estudios precedentes (Arasa et al., 2010, 2012; Ortega et al., 2009; Soler et al., 2011; Udina et al., 2012), en la Tabla 2 se indican los diferentes niveles verticales definidos para cada uno de los modelos que componen el sistema (meteorológico, de emisión y fotoquímico).

**Tabla 2.** Niveles verticales de ejecución de los diferentes modelos que componen el sistema de modelización diseñado.

NIVEL	NIVEL SIGMA <sup>1</sup>	ALTURA (m)
1	1,000	0,0
2	0,998	15,3
3	0,996	30,6
4	0,994	45,9
5	0,992	61,3
6	0,990	76,7
7	0,980	153,9
8	0,970	231,7
9	0,960	310,1
10	0,940	468,8
11	0,920	630,0
12	0,910	711,6

1. Corresponde a la definición de niveles verticales de los modelos Eulerianos incorporados al sistema. El nivel sigma se define como el valor del cociente entre la diferencia de la presión en cada punto en los que se divide el espacio menos la presión en la cima de la atmósfera (considerada como 100 hPa) y la diferencia de la presión en superficie (considerada como 1000 hPa) y el valor en la cima.

(Continúa)

(Continuación)

NIVEL	NIVEL SIGMA <sup>1</sup>	ALTURA (m)
13	0,900	793,8
14	0,890	876,7
15	0,880	960,3
16	0,870	1.044,5
17	0,860	1.129,5
18	0,850	1.215,3
19	0,840	1.301,7
20	0,830	1.388,9
21	0,820	1.476,9
22	0,810	1.565,6
23	0,800	1.655,2
24	0,750	2.115,4
25	0,700	2.598,1
26	0,600	3.641,3
27	0,500	4.811,6
28	0,400	6.148,3
29	0,300	7.713,8
30	0,200	9.616,6
31	0,100	12.074,9
32	0,000	15.660,5

## 2. MODELO METEOROLÓGICO

El modelo meteorológico integrado en el sistema ha sido el modelo WRF-ARWv3.3 (Skamarock et al., 2008). Este modelo es utilizado para la obtención de las variables meteorológicas en el cálculo de las emisiones debidas al sector natural y como entrada fundamental del modelo fotoquímico. Se trata de un modelo meteorológico no hidrostático de nueva generación desarrollado por el National Center for Atmospheric Research (NCAR) y de estructura modular WRF (Imagen 4) tiene capacidad para ejecuciones en modo multi-tarea sobre computadores con memoria distribuida o compartida.

Este tipo de modelos suelen estar asociados a un gran abanico de opciones físicas, esquemas y parametrizaciones. En este sentido es importante utilizar la configuración óptima del modelo meteorológico desde el punto de vista de la calidad del aire. Por este motivo se han utilizado los estudios de Arasa (2012) y Borge (2008) para la elección de la configuración que proporcione los mejores resultados posibles.

Algunas de las características más importantes de este modelo son:

- Múltiples opciones de proyección geográfica (estereográfica polar, mercator, lambert, latitud-longitud) y coordenadas verticales sigma que siguen el terreno.
- Capacidad de anidamiento múltiple entre los dominios, cosa que facilita el estudio de fenómenos atmosféricos de diferentes escalas espaciales y el diseño de predicciones de alta resolución. La interacción entre los dominios puede ser en una dirección (*one way nesting*) o en dos (*two-way nesting*), y las mallas anidadas pueden ser móviles.
- Formulación de una dinámica no hidrostática, que permite que el modelo pueda ser utilizado para representar fenómenos de dimensiones de pocos kilómetros.
- Inicialización automática con diferentes fuentes de análisis meteorológico y observaciones, incluyendo la capacidad de asimilación variacional en tres (3DVAR) y en cuatro dimensiones (4DVAR).

- Incorporación de esquemas realistas de parametrización de los procesos físicos relacionados con la radiación atmosférica, microfísica de nubes y precipitación, convección, turbulencia y flujos de energía y momento sobre la superficie terrestre.

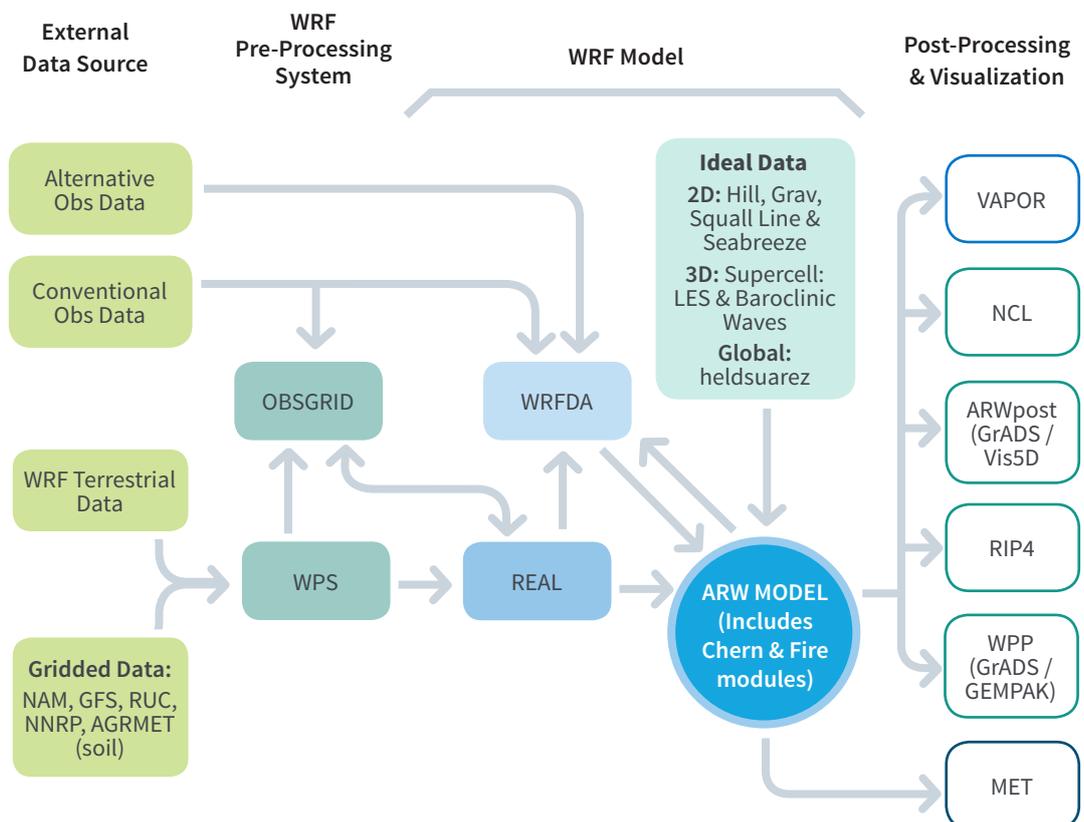
Los datos de entrada que necesita el modelo son:

- Datos fisiográficos sobre el dominio de simulación: elevación digital del terreno, usos del suelo, índice de vegetación, temperatura climática del mar, etc.
- Condiciones iniciales y de contorno. Pueden ser obtenidas a partir de una simulación previa del modelo o a partir de un modelo de escala global, como por ejemplo GFS (Global Forecast System). Estos datos se pueden combinar con las observaciones disponibles (radiosondeos, medidas en superficie, datos de boyas, etc.) para poder obtener un análisis de los campos meteorológicos más realista.

Los datos de reanálisis del CFSR (*Climate Forecast System Reanalysis*) procedentes de NCEP (*National Center for Environmental Prediction*) son los utilizados para la inicialización del modelo WRF. Estos datos proporcionan una descripción completa del estado de la atmósfera y se dispone de los últimos 30 años de datos con una resolución de 0.5°. De esta manera la inicialización del modelo WRF se ha realizado a partir de reanálisis CFSR con una resolución horizontal de 0.5° y los datos fisiográficos del dominio vienen proporcionados por el propio modelo.

El modelo WRF-ARWv3.3 dentro del sistema de modelización de la calidad del aire desarrollado se ha adaptado sobre los cuatro dominios considerados; se ha ejecutado mediante la arquitectura de dominios de doble anidamiento, con tal de proporcionar la mejor predicción meteorológica posible; se han realizado un total de 365 simulaciones correspondientes al año 2010 y estas simulaciones han tenido un horizonte temporal de 48 horas.

**Imagen 4.** Representación esquemática de funcionamiento de WRF-ARW



Fuente: [http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user\\_guide\\_V3/contents.html](http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3/contents.html)

### 3. MODELO DE EMISIÓN

El modelo de emisión integrado dentro del sistema de modelización de la calidad del aire es el Air Emission Model of Meteosim AEMMv1.0.

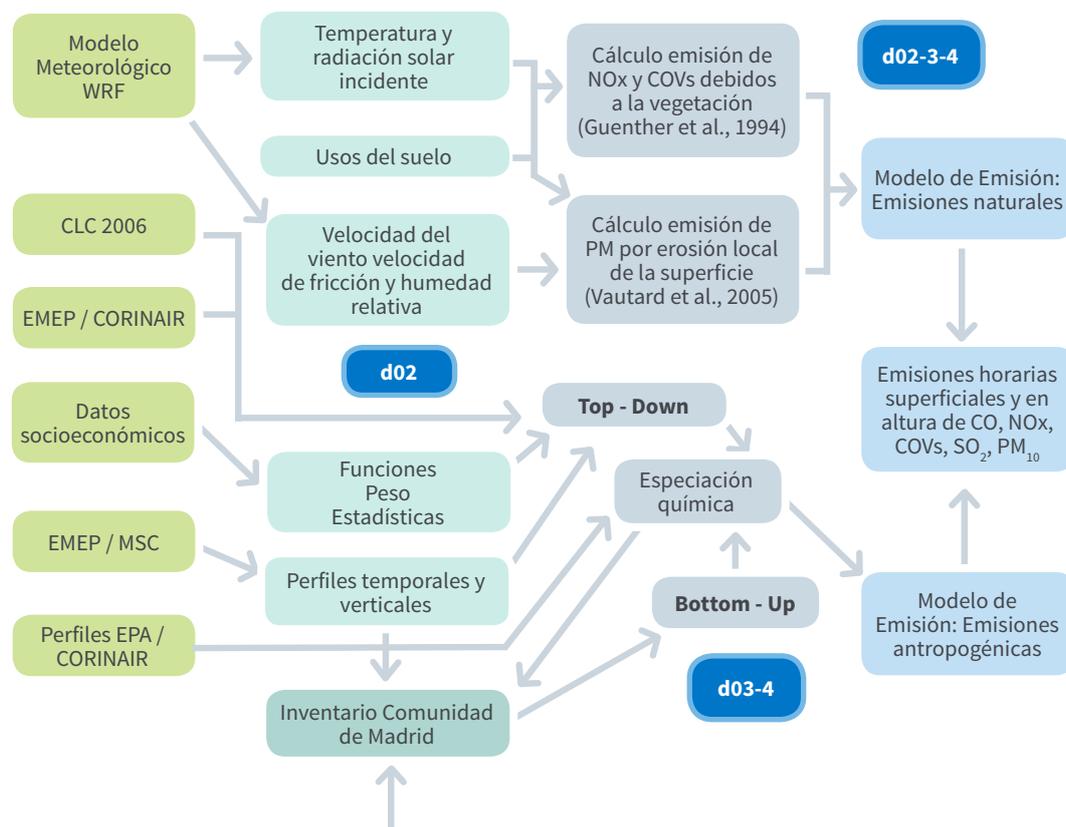
El modelo presenta una estructura modular y considera cuatro módulos internos diferentes:

- Módulo de emisiones antropogénicas mediante metodología *top-down*.

- Módulo de emisiones antropogénicas mediante metodología *bottom-up*.
- Módulo de emisiones naturales.
- Módulo adaptador de las emisiones al modelo fotoquímico.

En la Imagen 5 se presenta un esquema descriptivo del modelo de emisión diseñado.

**Imagen 5.** Esquema descriptivo del cálculo de las emisiones horarias.



Identificador	Sector EMEP / CORINAIR
S1	Combustión en energía e industrias de transformación
S2	Plantas de combustión no industriales
S3, S4 y S6	Combustión de la industria de manufactura. Procesos productivos. Disolventes y otros productos de uso
S5	Extracción y distribución de combustibles fósiles y energía geométrica
S7	Transporte de carreteras
S8	Otras fuentes móviles y maquinaria
S9	Tratamiento y deposición de residuos
S10	Agricultura

A continuación se describen las características básicas de los módulos que componen el modelo AEMMv1.0.

**a) Módulo de emisiones antropogénicas mediante metodología *top-down***

La ejecución del modelo fotoquímico a escala urbana requiere de condiciones iniciales y de contorno. Éstas se pueden obtener mediante perfiles o mediante la simulación fotoquímica de los dominios directamente superiores. Para una mejor reproducción de los niveles de la calidad del aire, la segunda opción es la mejor.

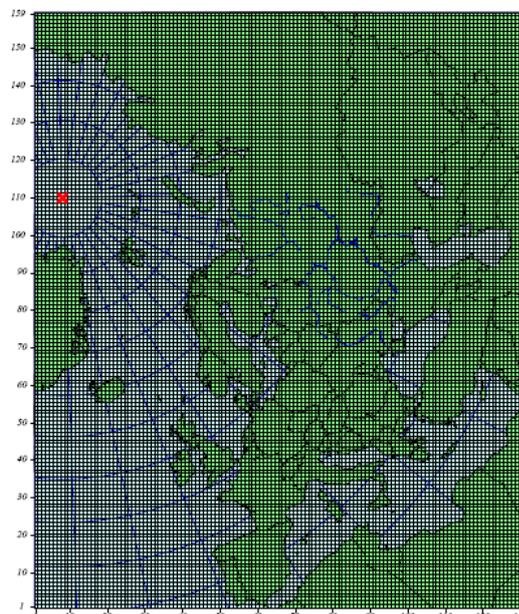
Por este motivo se requiere la implementación de las emisiones antropogénicas a escala regional.

Esta implementación se realiza a partir de disgregación espacial de las emisiones EMEP/CORINAIR, comúnmente llamada metodología de cálculo de emisiones *top-down* (Imagen 5). Las emisiones recogidas en este inventario se distribuyen por especies contaminantes y 11 sectores diferentes, según características y procedencias (Tabla 3), dentro de un dominio que cubre toda Europa con una resolución horizontal de 50 km (Imagen 6).

**Tabla 3.** Sectores emisores contemplados por el inventario EMEP/CORINAIR.

IDENTIFICADOR	SECTOR EMEP / CORINAIR
S1	Combustion in energy and transformation industries
S2	Non-industrial combustion plants
S3	Combustion in manufacturing industry
S4	Production processes
S5	Extraction and distribution of fossil fuels and geothermal energy
S6	Solvent and other product use
S7	Road transport (urban roads, non-urban roads and motorways)
S8	Other mobiles sources and machinery (railways, inland shipping, air transport)
S9	Waste treatment and disposal
S10	Agriculture
Ships	Ships traffic

**Imagen 6.** Dominio EMEP (los números en los ejes indican los índices de cada celda del dominio).



Para adaptar estas emisiones EMEP a resoluciones de celda superior como las necesarias en este caso se sigue la metodología de Maes et al. (2009). La base del modelo de disgregación son los usos del suelo *Corine Land Cover* 2006 (CLC2006) de resolución 250 metros, acoplado a diferentes funciones peso estadísticas. Estas funciones peso estadísticas se determinan a partir de datos estadísticos socio-económicos.

Para la distribución geográfica de las emisiones sobre los dominios d02 y d03 según la metodología top-down se han utilizado los usos del suelo CLC2006 y la capa de carreteras principales y secundarias o la línea de ferrocarriles (Imagen 7).

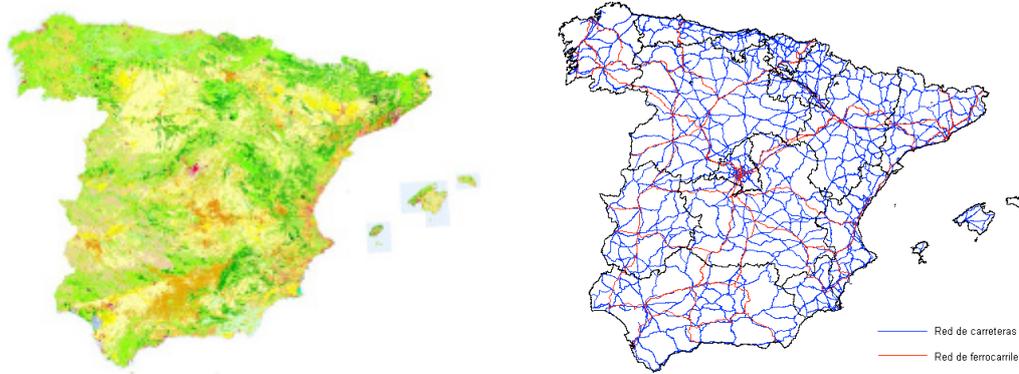
Para la disgregación temporal y vertical de las emisiones anuales se utilizan perfiles mensuales, semanales y verticales procedentes del modelo EMEP/MSC (EMEP *Chemical Transport Model*, [www.emep.int](http://www.emep.int)).

## b) Módulo de emisiones antropogénicas mediante metodología *bottom-up*

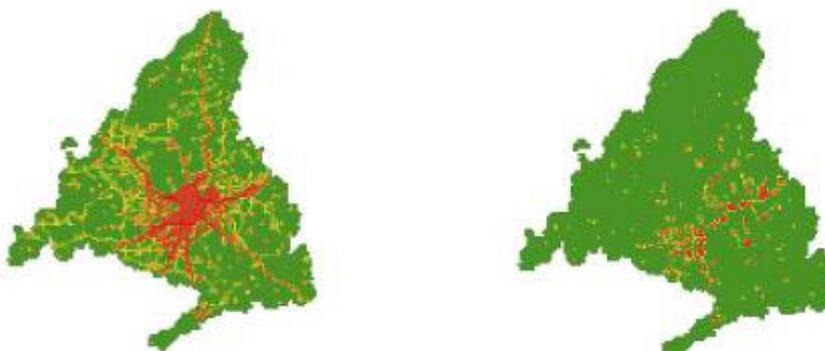
Es esencial para una correcta modelización de la calidad del aire una óptima modelización de las emisiones, ya que estas suponen la entrada fundamental del sistema. Variaciones en las emisiones pueden desembocar en intensas variaciones en los campos de concentración pronosticados por el sistema. Por esta razón, se ha seguido la metodología *bottom-up* de cálculo a escala urbana. Esta metodología se basa en el cálculo de las emisiones de cada sector celda a celda del dominio de definición utilizando información local.

Como sectores emisores antropogénicos se han considerado todos los sectores EMEP (Tabla 3) tal y como recoge el Inventario de la Comunidad de Madrid (Imagen 8). Las emisiones procedentes de diferentes sectores EMEP han sido las correspondientes al mencionado inventario, adaptadas y configuradas sobre los dominios d03 y d04.

**Imagen 7.** Ejemplo de capas geográficas utilizadas para la realización de la disgregación espacial de las emisiones EMEP (izquierda: usos del suelo; derecha: red de carreteras y ferrocarriles).



**Imagen 8.** Ejemplo del Inventario de la Comunidad de Madrid (izquierda: NOx del sector 7, transporte de carreteras; derecha: SOx de los sectores 3, 4 y 6, industria).



Los datos de entrada necesarios para el modelo de Emisión AEMM, se han adaptado mediante:

- una asignación geográfica entre las celdas del inventario con las celdas del dominio d03 y d04
- una disgregación temporal de dichas emisiones, pasando de emisiones anuales a emisiones horarias
- una disgregación vertical, pasando de emisiones en columna a emisiones por niveles verticales
- y una especiación química, con tal de acoplar la salida del modelo de emisión a las características necesarias del modelo fotoquímico CMAQv4.7.1 utilizándolo en base a los mecanismos químicos CB-05 (gases) y AERO5 (aerosoles).

De esta manera se han incorporado las emisiones de CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, COVs, NH<sub>3</sub> del inventario de la Comunidad de Madrid al modelo fotoquímico CMAQ.

### c) Módulo de emisiones naturales

Como complemento a las emisiones antropogénicas se incorporan diferentes fuentes emisoras naturales debido a la importancia de éstas sobre los niveles de concentración de algunos contaminantes. Por una parte, se han considerado los gases emitidos por la vegetación y por otra, el polvo generado por erosión local.

Las emisiones biogénicas de gases emitidos por la vegetación son especialmente relevantes por la cantidad de hidrocarburos (isoprenos y monoterpenos principalmente) y monóxido de nitrógeno que inyectan a la atmósfera, y que tienen un papel fundamental en la formación del ozono troposférico. Se ha seguido la metodología descrita en Guenther et al. (1994) para el cálculo de estas emisiones. La metodología se basa en, a partir de factores de emisión válidos en condiciones estándares, corregirlos en función de la temperatura y de la radiación del lugar y del momento donde se calculan las emisiones. Estos parámetros han sido incorporados a partir del modelo meteorológico acoplado. Los factores de emisión han sido obtenidos a partir de datos tabulados para un determinado uso del suelo obtenido del *Corine Land Cover* 2006.

Por lo que se refiere a las emisiones de partículas generadas por erosión del suelo, éstas son una fuente de material particulado importante a la hora de analizar las concentraciones de PM<sub>10</sub>, ya que algunos estudios confirman que considerar únicamente las emisiones de tipo antropogénico en los modelos de dispersión provocan una subestimación de la concentración de este contaminante de entre un 30% y un 50% (Van Loon, 2004). A nivel europeo la contribución del polvo mineral sobre la total concentración de PM<sub>10</sub> se considera de entre un 10% y un 30%, dependiendo de la localización y de la época del año (Putaud et al., 2004). En este modelo de emisión se han añadido las emisiones de material particulado generado como consecuencia del viento sobre la superficie terrestre, que típicamente provoca cambios del orden de pocos microgramos por metro cúbico (Vautard et al., 2005). Para parametrizar el polvo emitido nos hemos basado en el esquema habitual de *Windblown Dust Model* (Marticorena y Bergametti, 1995; Marticorena et al., 1997), que consiste en calcular el flujo de partículas emitido a partir de una velocidad de fricción (proporcionada por el modelo meteorológico) y de una velocidad de fricción límite a partir del cual existe emisión de partículas.

### d) Módulo adaptador de las emisiones al modelo fotoquímico

Las emisiones contaminantes resultantes del modelo de emisión serán sumadas, adaptadas al dominio de trabajo y especiadas químicamente de la manera apropiada, tal y como el módulo de gases y aerosoles escogido en el modelo fotoquímico indique. Específicamente se diferenciará según las especies químicas presentadas más adelante. Las emisiones se incorporarán al modelo fotoquímico de forma horaria y expresadas en gramos por segundo, en el caso de las partículas, y en moles por segundo en el caso de los gases.

Sobre el modelo de emisión AEMM se ha creado un módulo específico de cálculo por conjunto de sectores, lo que ha permitido obtener las emisiones en los escenarios definidos.

El modelo de emisión AEMM se ha ejecutado sobre los dominios d02, d03 y d04. Se han realizado un total de 365 simulaciones correspondientes al año 2010 con un horizonte temporal de 48 h cada una de ellas.

## 4. MODELO FOTOQUÍMICO

El modelo escogido dentro del sistema de modelización desarrollado es el modelo CMAQ (*Community Multiscale Air Quality*, Byun y Ching, 1999) de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA).

Los modelos de escala regional o también denominados *Chemical Transport Models* (CTM's) como CMAQ, describen la relación entre las emisiones y la concentración de un contaminante. En ellos la concentración de los contaminantes viene determinada principalmente por: la velocidad media del viento; la dispersión turbulenta; las transformaciones físicas y químicas; la deposición seca y húmeda; y las emisiones.

CMAQ actualmente es el modelo fotoquímico de calidad del aire aplicado a escala regional más utilizado mundialmente, tanto en el ámbito de la investigación como para la predicción operativa de la calidad del aire. Además, se trata de uno de los modelos recomendados por el Foro de modelizadores de la calidad del aire europeo (FAIRMODE) y por la Red nacional temática sobre modelización de la contaminación atmosférica (RETEMCA) a nivel estatal.

CMAQ es capaz de estimar el tipo, el número y la concentración de gases y partículas generadas mediante parametrización de una multitud de procesos que se dan en la atmósfera.

CMAQ combina el conocimiento actual en ciencias atmosféricas y en modelización de la calidad del aire con sofisticadas técnicas de computación (paralelismo) para la realización de simulaciones de calidad del aire.

CMAQ contempla la realización de simulaciones desde la escala urbana a regional y permite diagnosticar y/o predecir el ozono troposférico, las partículas finas, elementos tóxicos, deposición ácida y reducción de la visibilidad.

El modelo CMAQ permite solucionar la ecuación de conservación de las diferentes especies de contaminantes en la atmósfera considerando que la concentración de contaminantes es suficientemente pequeña como para que no afecte considerablemente a la meteorología (acoplamiento *off-line*). El

modelo presenta una estructura modular (Imagen 9) y trabaja con *one-way nesting* (anidamiento en una sola dirección) como arquitectura de dominios.

A continuación se explicitan las características básicas de cada módulo del modelo CMAQ:

- MCIP: módulo encargado de adaptar la salida meteorológica de WRF para CMAQ.
- JPROC: módulo que calcula los parámetros que dependen de la radiación solar (fotólisis).
- BCON: módulo encargado de determinar las condiciones de contorno, ya sea utilizando datos por defecto o mediante las simulaciones de dominios superiores.
- ICON: módulo encargado de determinar las condiciones iniciales, ya sea utilizando datos por defecto o mediante las simulaciones de dominios superiores.
- PDM – *plume in grid* (opcional): módulo que trata de forma particular las emisiones de fuentes individuales emitidas a una altura considerable para que no se mezclen instantáneamente y así evitar una mezcla excesiva. El tratamiento es similar a un modelo Gaussiano hasta que el penacho no tiene las dimensiones de la celda del dominio.
- CCTM: módulo que integra las salidas de los módulos previos. Las salidas son las concentraciones horarias de los diferentes contaminantes atmosféricos, deposiciones secas y húmedas, y visibilidad. Los principales procesos que simula CCTM son los siguientes:
  - Advección horizontal y vertical.
  - Ajustes de conservación de masa para los procesos de advección.
  - Difusión horizontal y vertical.
  - Inyección de emisiones.
  - Deposición seca y húmeda.
  - Reacciones químicas en fase gaseosa.
  - Reacciones y proporción de mezcla de nube en fase acuosa.

- Química, termodinámica y dinámica de aerosoles.
- Efectos químicos de penacho.
- Cálculo de velocidades de fotólisis.
- Análisis de procesos.

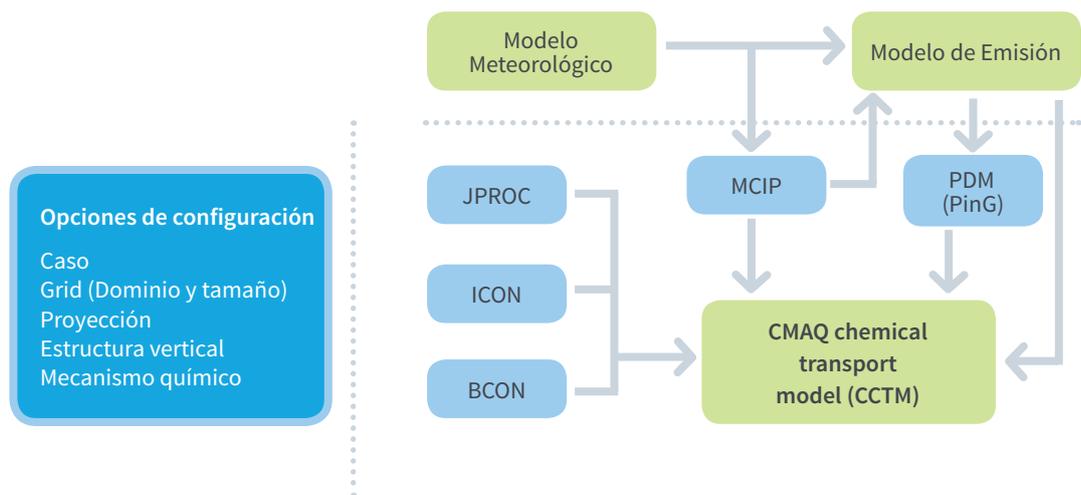
CMAQ necesita como datos de entrada el valor de las diferentes variables meteorológicas proporcionadas por el modelo WRF y los valores de emisión para ciertas especies químicas definidas por el módulo de gases y aerosoles integrado. Los mecanismos químicos con los que puede trabajar el modelo CMAQ en la

versión 4.7.1 son: CBM-5 y SAPRC para el tratamiento de gases; y AERO4 y AERO5 para el tratamiento de aerosoles.

Por lo que respecta a los contaminantes modelizados, el sistema de modelización diseñado trabaja con una amplia variedad de especies químicas tanto desde el punto de vista de las emisiones como de las concentraciones resultantes de todo el sistema.

En la Tabla 4 se indican las especies químicas de salida del modelo de emisión AEMM y de entrada del modelo fotoquímico CMAQ.

**Imagen 9.** Esquema de funcionamiento básico del modelo CMAQ.



Fuente: [www.cmaq-model.org](http://www.cmaq-model.org)

**Tabla 4.** Especies químicas resultantes del modelo de emisión según requiere el modelo fotoquímico.

IDENTIFICADOR	DESCRIPCIÓN
ALD <sub>2</sub>	Aldehídos
CO	Monóxido de carbono
ETH	Etileno
FORM	Formaldehídos
ISOP	Isoprenos
NH <sub>3</sub>	Amoníaco
NO	Monóxido de nitrógeno
NO <sub>2</sub>	Dióxido de nitrógeno
NR	Hidrocarburos no reactivos
OLE	Olefinas
PAR	Parafinas
PEC	Partículas de carbón de tamaño inferior a 2,5 µm
PM <sub>10</sub>	Partículas de tamaño superior a 2,5 µm e inferior a 10 µm
PMFINE	Partículas de tamaño inferior a 2,5 µm no siendo de carbón, ni sulfatos, ni nitratos ni aerosol orgánico primario
PNO <sub>3</sub>	Partículas nitrato de tamaño inferior a 2,5 µm
POA	Aerosol orgánico primario
PSO <sub>4</sub>	Partículas sulfato de tamaño inferior a 2,5 µm
SO <sub>2</sub>	Dióxido de azufre
SULF	Sulfuros
TERP	Terpenos
TOL	Tolueno
XYL	Xileno

El modelo fotoquímico CMAQ trabaja con una gran cantidad de especies ya que tiene en cuenta múltiples reacciones químicas. En las Tabla 5 y Tabla 6 se presentan las especies químicas de aerosoles y gases,

respectivamente, de salida del modelo fotoquímico CMAQ trabajando según los esquemas CBM-5 (Yarwood et al., 2005) y AERO5 (Carlton et al., 2010).

**Tabla 5.** Especies de aerosol obtenidas con el modelo CMAQv4.7.1 con el módulo AERO5 activado<sup>2</sup>. Unidades: masa [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] y número [ $\text{m}^3$ ].

ESPECIE	DESCRIPCIÓN
ASO4J	Masa sulfatosa en modo acumulación
ASO4I	Masa sulfatosa en modo Aitken
ANH4J	Masa de amonio en modo acumulación
ANH4I	Masa de amonio en modo Aitken
ANO3J	Masa de nitrato en modo acumulación
ANO3I	Masa de nitrato en modo Aitken
AALKJ	Masa de alcanos en modo acumulación
AXYLJ	Masa de aromáticos de baja producción en modo acumulación
ATOLJ	Masa de aromáticos de alta producción en modo acumulación
ABNZJ	Masa de benceno en modo acumulación
ATRPJ	Masa de monoterpénos en modo acumulación
AISOJ	Masa de isoprenos en modo acumulación
ASQJ	Masa de sesquiterpenos en modo acumulación
AORGJ	Masa restante de especies no volátiles en modo acumulación
AORGPJ	Masa orgánica primaria en modo acumulación
AORGPI	Masa orgánica primaria en modo Aitken
AECJ	Masa de carbón elemental en modo acumulación
AECI	Masa de carbón elemental en modo Aitken
A25J	Masa antropogénica sin especificar en modo acumulación
ACORS	Masa antropogénica sin especificar en modo grande
ASOIL	Masa derivada del suelo en modo grande
NUMATKN	Número en modo Aitken
NUMACC	Número en modo acumulación
NUMCOR	Número en modo grande
SRFATKN	Superficie en modo Aitken
SRFACC	Superficie en modo acumulación
SRGCOR	Superficie en modo grande
AH2OJ	Masa acuosa en modo acumulación
AH2OI	Masa acuosa en modo Aitken
ANAJ	Masa de sodio marino en modo acumulación
ACLJ	Masa de cloro marino en modo acumulación
ACLI	Masa de cloro marino en modo Aitken
ANAK	Masa de sodio marino en modo grande
ACLK	Masa de cloro marino en modo grande
ASO4K	Masa sulfatosa en modo grande
ANH4K	Masa de amoníaco marino en modo grande
ANO3K	Masa de nitrato marino en modo grande
AH2OK	Masa acuosa en modo grande

2. Se entiende como partículas de tamaño inferior a  $2,5\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2,5}$ ) como la suma de aquellas especies de aerosol en modo acumulación y Aitken a excepción del agua. Y como partículas de tamaño inferior a  $10\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) como la suma de aquellas especies de aerosol en modo acumulación, Aitken y grande a excepción del agua.

**Tabla 6.** Especies de gases obtenidas con el modelo CMAQv4.7.1 con el módulo CB-5 activado.  
Unidades: [ppmV].

ESPECIE	DESCRIPCIÓN
NO <sub>2</sub>	Dióxido de nitrógeno
NO	Óxido de nitrógeno
O	Oxígeno atómico (triplete)
O <sub>3</sub>	Ozono
NO <sub>3</sub>	Trióxido de nitrógeno
O1D	Oxígeno atómico (singlete)
OH	Radical hidroxil
HO <sub>2</sub>	Radical hidroperoxil
N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Pentóxido de nitrógeno
HNO <sub>3</sub>	Ácido nítrico
HONO	Ácido nitroso
PNA	Ácido peroxinitrico
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Peróxido de hidrógeno
XO <sub>2</sub>	Operador NO a NO2
XO <sub>2</sub> N	Operador NO a Nitrato
NTR	Nitrato orgánico- Alkyl nitrato
ROOH	Hidroperóxido orgánico
FORM	Formaldehido
ALD2	Acetaldehido y otros aldehidos
ALDX	Especies de aldehidos con peso molecular más alto
PAR	Parafina
CO	Monóxido de carbono
MEO <sub>2</sub>	Radical peroxi-metil
MEPX	Metilhidroperóxido
MEOH	Metanol
HCO3	Residuo de HO2 más formaldehido
FACD	Ácido fórmico
C <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Radical acil-peroxi
PAN	Peroxiacetil nitrato
PACD	Ácido peroxi-acético
AACD	Ácido acético y con peso molecular más alto
CXO3	Radical acetil-peroxi con peso molecular más alto
PANX	Especies de peroxiacetil nitrato con peso molecular más alto
ROR	Radical oxi orgánico secundario
OLE	Olefina
ETH	Etano
IOLE	Especies de olefinas internas
TOL	Tolueno

(Continúa)

(Continuación)

ESPECIE	DESCRIPCIÓN
CRES	Cresol y fenoles con peso molecular más alto
TO2	Radical hidroxil tolueno
TOLRO2	Primera generación de productos a partir de tolueno
OPEN	Compuestos aromáticos con alto peso molecular
CRO	Metil-fenoxi radical
MGLY	Metil glioxal
XYL	Xileno
XYLRO2	Primera generación de productos a partir del Xileno
ISOP	Isopreno
ISPD	Productos de las reacciones de isoprenos
TERP	Monoterpenos
SO <sub>2</sub>	Dióxido de azufre
SULF	Ácido sulfúrico
ETOH	Etanol
ETHA	Eteno
CL, CL <sub>2</sub> , HOCL, CLO, FMCL	Cloro y productos relacionados
BENZENE	Benceno
BENZRO2	Primera generación de productos a partir del benceno
SESQ	Sesquiterpenos
NH <sub>3</sub>	Amoníaco
HCL	Ácido clorhídrico

Adicionalmente CMAQ requiere de condiciones químicas iniciales y de contorno para su ejecución. A partir de perfiles verticales con valores constantes de concentración para cada nivel (condiciones estáticas) o a partir de una salida previa del mismo dominio o de un dominio más grande (condiciones dinámicas).

Las simulaciones realizadas con el modelo CMAQ permiten obtener las concentraciones de diferentes especies químicas en diferentes intervalos temporales, tanto de gases como de partículas, junto con los valores de deposición seca y húmeda, y visibilidad.

El modelo fotoquímico CMAQ se ha ejecutado sobre los dominios d02, d03 y d04, utilizando las concentraciones resultantes de las simulaciones del dominio d02 como condiciones iniciales y de contorno para las simulaciones sobre el dominio d03, y las concentraciones resultantes del d03 como condiciones iniciales y de contorno del d04. Se han realizado un total de 365 simulaciones correspondientes al año 2010 con un horizonte temporal de 48 h cada una de ellas.

## ANEXO IV.2 CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA

Una vez finalizado el proceso de diseño e implementación del sistema de modelización, se ha procedido a calibrar y validar el modelo desarrollado. Para tal efecto se ha realizado una comparación determinista numérica de datos observados y modelizados:

- Según el concepto de incertidumbre de la modelización definido en el Real Decreto 102/2011.
- Según diferentes estadísticos aplicados sobre el ozono troposférico y el dióxido de nitrógeno.

Se han considerado todas y cada una de las estaciones de monitoreo de la Red de la Comunidad de Madrid incluidas dentro los dominios de modelización. Para el análisis se ha trabajado con los datos horarios del año 2010 para todas las estaciones, que corresponden a un total de 201.480 registros. La validación se ha realizado para el dominio d03, que corresponde a toda la Comunidad de Madrid, y el dominio d04 que corresponde al municipio de Madrid y municipios de más de 100.000 habitantes.

Antes de reproducir los resultados de la validación estadística es necesario comentar que uno de los problemas que presentan los sistemas de modelización de calidad del aire radica en el hecho que la resolución del modelo frecuentemente no es comparable a las medidas realizadas en las estaciones. De este modo, las estaciones deben seguir un criterio de ubicación para ser representativas de una zona, en función de la orografía, los usos del suelo o la proximidad a focos emisores. En este análisis se han considerado representativas todas las estaciones de la Red de Calidad del Aire. Por otra parte, el modelo tiene una resolución horizontal dada, y consecuentemente siempre existe un error inherente cuando se realiza la comparación de los resultados del modelo con las observaciones.

### 1. VALIDACIÓN SEGÚN CONCEPTO DE INCERTIDUMBRE DE LA MODELIZACIÓN

El Real Decreto 102/2011 y la Directiva Europea 2008/50/CE definen el concepto de incertidumbre de la modelización como:

*- Para la modelización, la incertidumbre se define como la desviación máxima entre los niveles de concentración medidos y calculados para el 90% de los puntos de control individuales, a lo largo del periodo considerado, respecto del valor límite (valor objetivo en el caso del ozono troposférico) sin tener en cuenta la cronología de los acontecimientos. Para la modelización, la incertidumbre se interpretará como aplicable en el rango del valor límite adecuado (valor objetivo en el caso del ozono troposférico). Las medidas fijas que se seleccionen para comparar con los resultados del modelo serán representativas de la escala considerada por el modelo. -*

De esta manera, el concepto de incertidumbre de la modelización no representa la precisión del modelo, sino que proporciona un objetivo de cumplimiento por parte de los sistemas de modelización de la calidad del aire. De forma que para la utilización de un sistema de modelización de la calidad del aire, tanto como modelo predictivo operativo, como para la evaluación de medidas de reducción de la contaminación atmosférica, es necesario el cumplimiento del citado objetivo.

Según las directrices del Real Decreto 102/2011, la incertidumbre de la modelización de los diferentes contaminantes no deberá sobrepasar los valores indicados en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Incertidumbre de la modelización según Real Decreto 102/2011.

Valores	SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> y CO	Partículas	O <sub>3</sub>
Medias horarias	50%	--	50%
Medias octohorarias	50%	--	50%
Medias diarias	50%	Sin definir por el momento	--
Medias anuales	30%	50%	--

Como interpretación matemática para la definición de incertidumbre de la modelización del RD 102/2011 se ha utilizado la definición del ERD o error relativo según Directiva (Denby, 2010), tal y como recomienda el RD 102/2011. Matemáticamente el error relativo a la Directiva se define como:

$$ERD = \frac{[O_{VL} - M_{VL}]}{VL}$$

donde  $O_{VL}$  corresponde al valor observado más cercano al valor límite (o al valor objetivo en el caso del ozono troposférico),  $M_{VL}$  corresponde al valor modelizado más cercano al valor límite (o al valor objetivo en el caso del ozono troposférico) y VL al valor límite (o al valor objetivo en el caso del ozono troposférico). Los valores observados y modelizados deben tener correspondencia espacial y calcularse sobre los puntos de celda del modelo que incluyan las estaciones de muestreo.

El valor máximo de ERD calculado según el 90% de los puntos de muestreo (estaciones de la Red) corresponderá al Máximo Error Relativo a la Directiva (MRDE) que es el que debe ser comparado con los valores numéricos del concepto de incertidumbre de la modelización (Tabla 7).

Los valores límites (Tabla 8) asociados al dióxido de azufre y utilizados a la hora de validar y calibrar el modelo corresponden al valor límite horario que corresponde al valor máximo horario medido durante un día, y al valor límite diario que corresponde al valor máximo diario registrado. El valor límite asociado al dióxido de nitrógeno es el valor límite horario, así como el valor límite anual. Para el caso de las  $PM_{10}$  el valor límite asociado es el valor límite anual. El valor límite asociado al monóxido de carbono es la máxima diaria de las medias móviles octohorarias. Esta concentración se escoge examinando las medias móviles de ocho horas, calculadas a partir de datos horarios actualizados cada hora. Finalmente, para el caso del ozono troposférico el valor límite corresponde al valor objetivo.

**Tabla 8.** Valores límite considerados para la aplicación del ERD.

Contaminante	Descripción	Periodo/Parámetro	Valor
SO <sub>2</sub>	Valor límite horario	Promedio en 1 h	350 µg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	Valor límite diario	Promedio en 24 h	125 µg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	Valor límite horario	Promedio en 1 h	200 µg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	Valor límite anual	Promedio en 1 año civil	40 µg/m <sup>3</sup>
PM <sub>10</sub>	Valor límite anual	Promedio en 1 año civil	40 µg/m <sup>3</sup>
CO	Valor límite	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias	10 mg/m <sup>3</sup>
O <sub>3</sub>	Valor objetivo	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias	120 µg/m <sup>3</sup>

De las 23 estaciones de la Red de Control de la Calidad del Aire de la Comunidad de Madrid todas ellas presentan medidas de dióxido de nitrógeno y de ozono troposférico, 9 de dióxido de azufre y 12 de monóxido de carbono, dentro del dominio de modelización d03.

Los resultados de la validación bajo las condiciones comentadas anteriormente concluyen que el sistema de modelización diseñado y desarrollado presenta un Máximo Error Relativo a la Directiva inferior al 50% (medias horarias, octohorarias y diarias) valores permitidos por el concepto de incertidumbre de la modelización para todos los contaminantes y domi-

nios (Tablas 9 y 10). En el caso de los resultados para el contaminante  $PM_{10}$ , su precisión es mucho más baja consecuencia del alcance considerado en el inventario de emisión respecto las emisiones de este contaminante atmosférico.

Cabe resaltar que el concepto de incertidumbre de la modelización no representa ni la precisión ni el error del modelo desarrollado, sino que es una medida de cumplimiento necesario para la utilización de este tipo de sistemas para pronóstico operativo o evaluación de medidas de control.

**Tabla 9.** Comparación de los resultados del MRDE y el concepto de incertidumbre de la modelización para el dominio d03.

Dominio d03			
Contaminante	Descripción	MRDE	Incertidumbre de la modelización
$NO_2$	Valor límite horario	35 %	< 50 %
$NO_2$	Valor límite anual	34 %	> 30 %
$PM_{10}$	Valor límite anual	45 %	> 30 %
$O_3$	Valor objetivo	13 %	< 50 %
CO	Valor limite	13 %	< 50 %
$SO_2$	Valor límite horario	11 %	< 50 %
$SO_2$	Valor límite diario	8 %	< 50 %

**Tabla 10.** Comparación de los resultados del MRDE y el concepto de incertidumbre de la modelización para el dominio d04.

Dominio d04			
Contaminante	Descripción	MRDE	Incertidumbre de la modelización
$NO_2$	Valor límite horario	39 %	< 50 %
$NO_2$	Valor límite anual	27 %	< 30 %
$PM_{10}$	Valor límite anual	46 %	> 30 %
$O_3$	Valor objetivo	15 %	< 50 %
CO	Valor limite	14 %	< 50 %
$SO_2$	Valor límite horario	10 %	< 50 %
$SO_2$	Valor límite diario	8 %	< 50 %

## 2. VALIDACIÓN NUMÉRICA DETERMINISTA

En este caso se ha utilizado la aproximación clásica de comparación de observaciones y resultados del modelo. En esta validación para valores discretos se han utilizado los parámetros estadísticos mostrados en la *Tabla 11*. La tabla se completa con una serie de valores recomendados para los distintos estadísticos presentados, que proceden de Denby (2010) sugeridos por EPA (2009). Es necesario comentar que aunque según la EPA (2005) es inapropiado establecer un criterio rígido para la aceptación o rechazo de un modelo, según la guía EPA (1991) un rango de valores se pueden utilizar como indicadores de la bondad de un modelo. El criterio aceptado corresponde a valores entre  $\pm 5$  a  $\pm 15\%$  de MNBE y  $+30$  a  $35\%$  de MNGE. Estos son los valores que se han tomado como referencia para el sistema de modelización diseñado.

A continuación se resumen brevemente el significado de estos parámetros estadísticos.

- **Error normalizado medio, MNBE**

Este estadístico representa el promedio de las diferencias entre los resultados del modelo y las observaciones, normalizado según las observaciones, y agrupándolas por tiempo o espacio.

- **Error absoluto medio normalizado, MNGE**

Este estadístico representa una medida del acercamiento promedio entre las observaciones y los valores modelizados.

Además de valores horarios, es conveniente presentar la bondad del modelo en relación con los umbrales establecidos por la legislación. En esta validación se han considerado los estadísticos asociados a cada contaminante según el Real Decreto 102/2011.

Previamente a la exposición de resultados, cabe destacar que las emisiones son la entrada fundamental de un sistema de modelización de calidad del aire como el diseñado e implementado. Variaciones en las emisiones suponen importantes variaciones de los campos de concentración de los contaminantes diagnosticados por el modelo, y errores en las emisiones pueden llegar a suponer hasta el 75% del error de un sistema de modelización de la calidad del aire, siendo la principal fuente de incertidumbre de este tipo de sistemas. Por este motivo, se requiere de un análisis y renovación continua de las emisiones procedentes del Inventario de la Comunidad de Madrid para la obtención de una mejora de los resultados del sistema.

En las Tablas 12 y 13 se reproducen los parámetros estadísticos resultantes de la comparación de los valores máximos octohorarios y máximos horarios para el ozono, y valores máximos horarios y diarios para el dióxido de nitrógeno, para ambos dominios de modelización. La validación ha considerado estos dos contaminantes atmosféricos por el peso específico que representan en relación al resto.

**Tabla 11.** Definición de los parámetros estadísticos utilizados en la evaluación del sistema de modelización de calidad del aire. M es el valor pronosticado, y O el valor medurado.

Parámetro estadístico / Definición matemática	Variable	Recomendación EPA
$MNBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1} \left( \frac{M_i - O_i}{O_i} \right) - 100\%$	Concentración contaminantes	< $\pm 15\%$
$MNBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1} \left( \frac{[M_i - O_i]}{O_i} \right) - 100\%$	Concentración contaminantes	< 35%

**Tabla 12.** Parámetros estadísticos calculados a partir de la salida del modelo fotoquímico, y de las medidas de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de la Comunidad de Madrid para el dominio d03.

Dominio d03			
Contaminante	Descripción	Estadístico	Valor (%)
O <sub>3</sub>	Valor máximo 8-h	MNBE	13,79
		MNGE	28,84
	Valor máximo 1-h	MNBE	8,61
		MNGE	23,76
NO <sub>2</sub>	Valor máximo 1-h	MNBE	8,59
		MNGE	41,20
	Valor diario	MNBE	-1,50
		MNGE	28,15

**Tabla 13.** Parámetros estadísticos calculados a partir de la salida del modelo fotoquímico, y de las medidas de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de la Comunidad de Madrid para el dominio d04.

Dominio d04			
Contaminante	Descripción	Estadístico	Valor (%)
O <sub>3</sub>	Valor máximo 8-h	MNBE	22,15
		MNGE	36,03
	Valor máximo 1-h	MNBE	14,53
		MNGE	29,45
NO <sub>2</sub>	Valor máximo 1-h	MNBE	15,70
		MNGE	38,01
	Valor diario	MNBE	3,57
		MNGE	21,45

3. Recomendaciones recogidas en la Tabla 11 para evaluación del sistema de modelización de calidad del aire en el que se comprara el valor pronosticado, y el valor medurado

A la vista de los resultados obtenidos para los estadísticos MNBE y MNGE en las Tabla 12 y Tabla 13, el sistema de modelización implementado proporciona resultados aceptables según las recomendaciones

científicas utilizadas al obtener valores inferiores al 15% para el estadístico MNBE y al 35 % para el MNGE en la concentración de todos los contaminantes analizados según las recomendaciones de la EPA<sup>3</sup>.