

Capítulo 2

Inventario de emisiones para Cataluña

2.1 Características generales de la zona de estudio

2.1.1 Geografía, orografía y topografía

Cataluña es una de las 17 comunidades autónomas de España. Está ubicada en el NE de la Península Ibérica, tiene una extensión de 31 895 km² y limita al norte con Francia, al sur con la Comunidad Valenciana, al este con el Mar Mediterráneo y al oeste con la Comunidad de Aragón. Las coordenadas geográficas que limitan su territorio son 40° 32' - 42° 53' de latitud norte y 0° 11' - 3° 10' de longitud este.

Es una región de carácter montañoso, con una altitud promedio de 700 m. Su topografía es irregular (ver la Figura 2.1), destacándose a los Pirineos que se extiende de oeste a este con altitudes de hasta 3 100 m, las cadenas del Prelitoral (incluye los paisajes montañosos del Montseny, Guilleries y Ports de Besseit) y del Litoral (incluye la sierra de Collserola, Gavarres y Montnegre). La red hidrográfica, está conformada por ríos que provienen de los Pirineos y se han abierto paso a través de las montañas, formando angostos desfiladeros.

Una de las características particulares del medio catalán es su diversidad y marcados contrastes de relieve, clima y vegetación, dentro de un ámbito territorial relativamente pequeño.

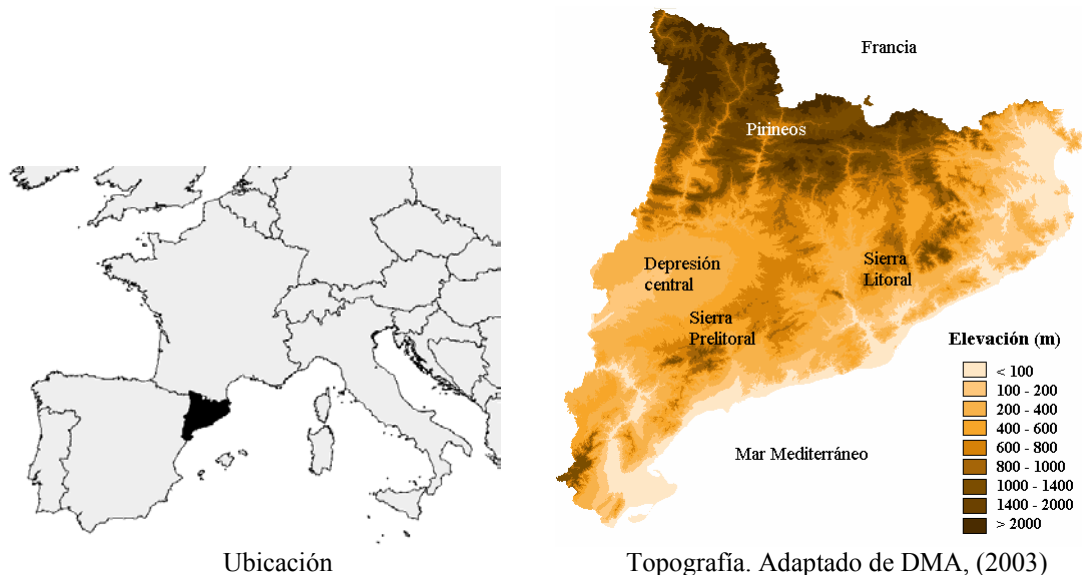


Figura 2.1: Ubicación y características topográficas de Cataluña.

2.1.2 Climatología

El clima mediterráneo se caracteriza por tener veranos calurosos y secos e inviernos suaves. Las precipitaciones son escasas, irregulares, a veces torrenciales.

La Figura 2.2 indica la distribución media anual de los parámetros climatológicos más importantes. Cataluña mayoritariamente se encuentra bajo el clima mediterráneo, con temperaturas medias anuales principalmente comprendidas entre 13 y 17 °C, una precipitación media anual de 600 mm, y valores de radiación solar media diaria anual del orden de 14.5 MJ m⁻². En gran parte del territorio la velocidad media anual del viento a 10 m de altura oscila entre 3 - 5 m s⁻¹.

Hay una climatología diversa con contrastes a lo largo del año. Entre los factores que explican esta diversidad se incluyen la orientación y la ubicación de Cataluña (abierto a las corrientes de aire cálidas subtropicales así como las corrientes de aire frío centroeuropeas), la diversidad del territorio, la orografía, la pluviometría, etc. Así, según la situación en relación al mar y la altitud, se puede distinguir subvariantes del clima mediterráneo, como son el clima mediterráneo de litoral, el clima mediterráneo, continental propio de la Depresión Central y el clima mediterráneo de baja, media y alta montaña.

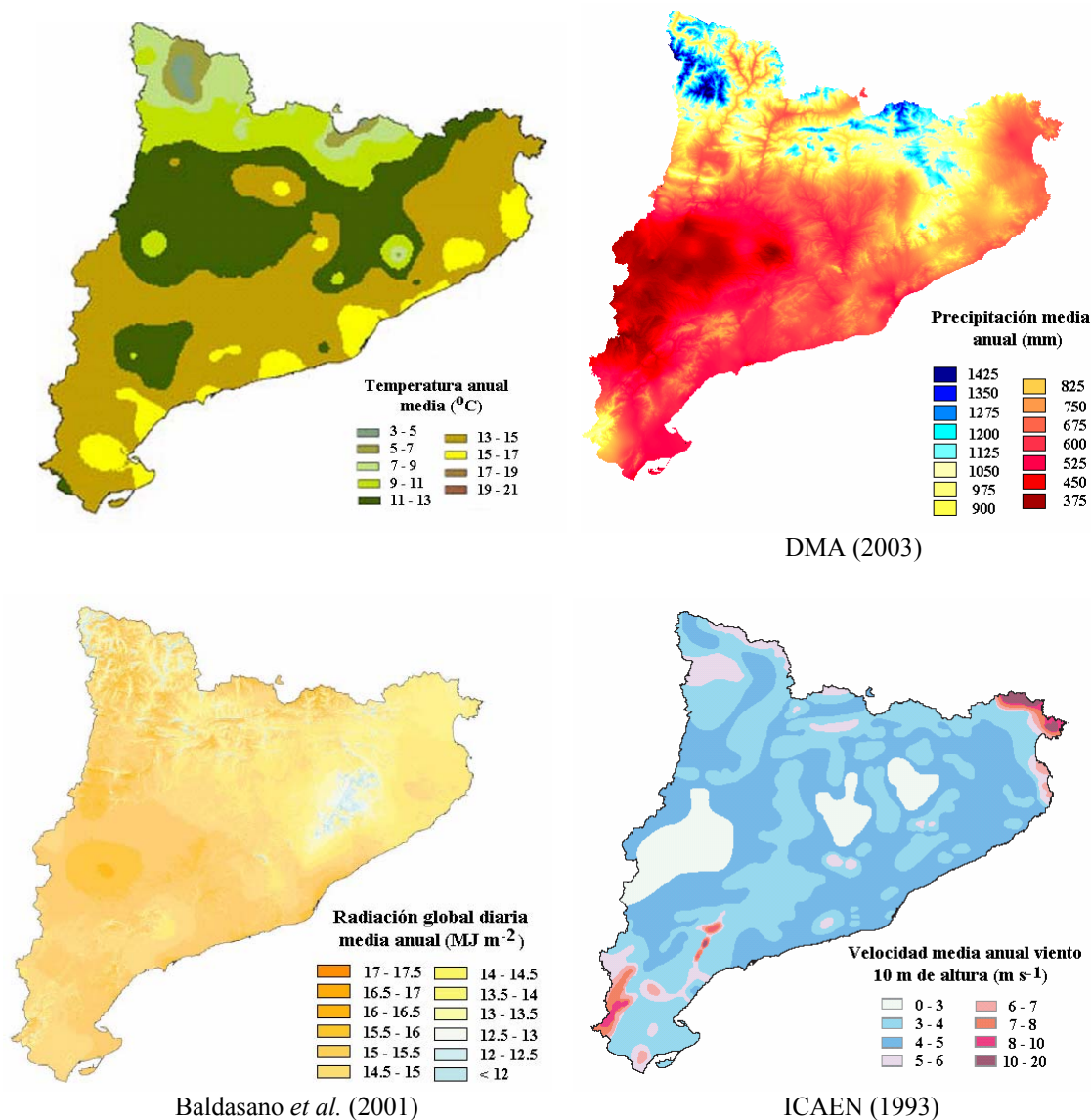


Figura 2.2: Características climatológicas de Cataluña

2.1.3 Población y economía

Actualmente Cataluña tiene una población de más de seis millones y medio de habitantes; de los cuales, un 70 % reside en el *Área Metropolitana de Barcelona (AMB)*. Su actividad industrial es una de las más importantes de España. Estos dos aspectos implican que las emisiones atmosféricas de origen antropogénico (principalmente las producidas por el transporte, la generación de energía y las actividades industriales) sean muy significativas.

En los últimos años el nivel económico de vida en Cataluña ha experimentado un crecimiento importante. El *Producto Interior Bruto (PIB) per cápita*, desde el año 1990 (estimado en 9 292 euros) se ha incrementado hasta 20 146 euros en el año 2001 (IDESCAT, 2003) (un crecimiento del 117 %), aspecto que va de la mano con incremento progresivo del uso de recursos naturales y energéticos. El consumo de combustibles fósiles desde el año 1990 (11 238 ktep) se incrementó aproximadamente en un 46 % hasta el año 2001 (16 378 ktep).

2.2 Criterios para el desarrollo del modelo de emisiones EMICAT2000

2.2.1 Año base

Se seleccionó como año de referencia el 2000, considerando que durante el desarrollo de esta tesis doctoral sería el año más reciente con información estadística satisfactoria. Además, en ese año ocurrieron episodios de contaminación por O₃ troposférico cuyo estudio demanda particular interés.

Por otra parte, el 2000 constituye un año de referencia importante dentro de la planificación de las políticas de gestión energética y ambientales, como es el caso del *Pla de l' Energia a Catalunya en l'Horitzó de l' any 2010* (DICT, 2002).

El modelo de emisiones atmosféricas de Cataluña, objetivo de esta tesis doctoral, de aquí en adelante podrá también ser referido como *EMICAT2000 (Emisiones Atmosféricas de Cataluña año 2000)*.

2.2.2 Contaminantes y gases que se incluyen

Como precursores de la niebla fotoquímica, EMICAT2000 incorpora las emisiones de los óxidos de nitrógeno (NO_x), los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (NMCOV) y del monóxido de carbono (CO). Se estiman también las emisiones del dióxido de azufre SO₂ y de las partículas en suspensión totales (PST), en razón de que constituyen importantes contaminantes atmosféricos primarios. Adicionalmente incluye a los principales GEI; dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O).

2.2.3 Fuentes de emisión

Del análisis de las fuentes emisoras de los inventarios desarrollados con anterioridad en Cataluña (Parra, 2001), así como de otros inventarios a nivel nacional y europeo, se determinó que las fuentes de emisión más importantes desde el punto de vista de los precursores de contaminación fotoquímica son las siguientes:

- Las emisiones de NMCOV que provienen de la vegetación.
- Las emisiones de NO_x, NMCOV que provienen del tráfico vehicular.
- Las emisiones de NO_x, NMCOV que provienen de las actividades industriales.

EMICAT2000 se focaliza en esta etapa, en la estimación de las emisiones de estas tres fuentes. Se considera que con ellas se define satisfactoriamente la distribución espacial y temporal de las emisiones de los precursores fotoquímicos. La futura incorporación de otras fuentes menores (tráfico marítimo y aéreo, infraestructuras medioambientales, incendios forestales, etc.) mejorarán los resultados de los estudios de simulación fotoquímica a nivel de detalle.

2.2.4 Mecanismo fotoquímico y especiación de las emisiones

Los MTQ requieren que las emisiones de COV y NO_x; principalmente, sean especiados, según dos enfoques básicos (USEPA, 2003a):

- ❑ Especiación por compuestos individuales (*discrete speciation*). Por ejemplo las emisiones de benceno, hexano, formaldehído, óxido nitroso. Para ello suele utilizarse los denominados *perfiles de especiación*, los cuáles en función de la fuente emisora, asignan porcentajes para la estimación de la emisión desglosada de cada compuesto individual.
- ❑ Especiación por grupos de compuestos (*lumped-mode speciation*); que integran las emisiones de dos o más compuestos individuales, según su comportamiento reactivo y de acuerdo al *mecanismo fotoquímico* elegido para los estudios de contaminación por O₃. Este enfoque busca simplificar el cálculo del gran número de reacciones que ocurren en la baja troposfera.

Jiménez *et al.* (2003), desarrollaron un análisis comparativo de siete de los principales mecanismos fotoquímicos existentes y determinaron que casi todos proporcionan concentraciones similares de O₃; aunque hay discrepancias significativas para otros compuestos como el HO₂ o el HNO₃. En esta evaluación, el mecanismo químico *Carbon Bond 4 (CB4)* (Gery *et al.*, 1989) presentó resultados representativos del actual estado del arte y es el que incorpora el menor número de reacciones (por tanto requiere menor proceso de cálculo). Este mecanismo considera diferentes categorías para la simulación numérica de las reacciones que ocurren en la baja troposfera, distribuyendo las emisiones gaseosas en uno o más grupos (categorías CB4, ver la Tabla 2.1), según la importancia y / o la similitud de las reacciones químicas, de acuerdo con cuatro tipos de especies:

- ❑ Especies inorgánicas.
- ❑ Especies orgánicas cuyas reacciones químicas son específicas e importantes, por lo que se tratan explícitamente.
- ❑ Especies orgánicas que se representan por medio de una categoría sustitutiva en relación con el enlace de los átomos de carbono.
- ❑ Especies orgánicas que se representan por medio de una categoría sustitutiva en relación con su estructura molecular.

EMICAT2000 incorpora la especiación de las emisiones horarias para las categorías NO (óxido de nitrógeno), NO₂ (dióxido de nitrógeno), SO₂ (dióxido de azufre), CO (monóxido de carbono), PAR (enlace parafínico), ETH (eteno), OLE (enlace olefínico), TOL (tolueno), XYL (xileno), FORM (formaldehído), ALD2 (acetaldehído y otros aldehídos pesados), ISOP (isopreno) y TERP (monoterpenos); del mecanismo CB4.

Tabla 2.1: Categorías del mecanismo químico Carbon Bond 4, CB4 (USEPA, 2003a).

	Orden	Nomenclatura	Descripción
Especies del nitrógeno	1	NO	Óxido de nitrógeno
	2	NO2	Dióxido de nitrógeno
	3	HONO	Ácido nitroso
	4	NO3	Trióxido de nitrógeno
	5	N2O5	Pentóxido de nitrógeno
	6	HNO3	Ácido nítrico
	7	PNA	Ácido peroxinitrico
Oxidantes	8	O3	Ozono
	9	H2O2	Peróxido de hidrógeno
Especies del azufre	10	SO2	Dióxido de azufre
	11	SULF	Ácido sulfúrico
Especies atómicas	12	O	Átomo de oxígeno (triplet)
	13	O1D	Átomo de oxígeno (singlet)
Especies de hidrógeno impar	14	OH	Radical hidróxilo
	15	HO2	Radical hidroperóxido
Óxidos de carbón	16	CO	Monóxido de carbono
Hidrocarburos	17	PAR	Enlace parafínico C-C
	18	ETH	Eteno (CH ₂ =CH ₂)
	19	OLE	Enlace olefínico C=C
	20	TOL	Tolueno (C ₆ H ₄ -CH ₃)
	21	XYL	Xileno (C ₆ H ₅ -(CH ₃) ₂)
	22	ISOP	Isopreno (C ₅ -H ₈)
Carbónilos y fenoles	23	FORM	Formaldehído
	24	ALD2	Acetaldehído y otros aldehídos pesados
	25	MGLY	Metil glioxal
	26	CRES	Cresol y fenoles pesados
Nitrógeno orgánico	27	PAN	Peroxi acetil nitrato
	28	NTR	Nitrato orgánico
Radicales orgánicos	29	C2O3	Radical peroxiacil
	30	ROR	Oxi radical orgánico secundario
	31	CRO	Radical metil fenoxilo
Operadores	32	XO2	Operador NO a NO2
	33	XO2N	Operador NO a nitrato
Productos orgánicos	34	TO2	Radical tolueno-hidróxilo
	35	OPEN	Fragmento de oxidación aromático pesado
	36	ISPD	Productos de la reacción del isopreno
Especies añadidas para aerosoles	37	SULAER	Contador de especies para la producción de H ₂ SO ₄
	38	TOLAER	Contador de especies para la reacción de tolueno
	39	XYLAER	Contador de especies para la reacción de xileno
	40	CSLAER	Contador de especies para la reacción de cresol
	41	TERPAER	Contador de especies para la reacción de terpenos
Especies añadidas para la química acuosa	42	TERP	Monoterpenos
	43	FACD	Ácido fórmico
	44	AACD	Ácido acético y otros más pesados
	45	PACD	Ácido peroxi acético
	46	UMHP	Límite superior de metilhidroperóxido

2.3 El inventario de emisiones EMEP del año 2000 para Cataluña

Recientemente, de la información del inventario europeo de emisiones atmosféricas para el año 2000 (EMEP, 2003), se puede obtener alternativamente las emisiones de CO, NMCOV, NO_x y SO_x atribuibles a Cataluña (ver la Tabla 2.2) y disponer de un elemento importante para poder desarrollar la evaluación externa de la incertidumbre de los resultados de esta tesis doctoral. Los inventarios EMEP se estructuran con una resolución espacial en celdas de aproximadamente 45 km de lado y el período de emisión es anual.

De la malla geográfica de referencia de las emisiones EMEP, se identificaron aquellas celdas que corresponden a Cataluña (las celdas i,j indicadas en la Tabla 2.2), así como el porcentaje de emisión atribuible a Cataluña. Con estos datos se obtuvo una emisión anual de 377 kt de CO, 308 kt de NMCOV, 160 kt de NO_x y 108 kt de SO_x. La Figura 2.3 indica la distribución superficial de estas emisiones.

Las emisiones EMEP se conforman según el aporte de 11 sectores. La Tabla 2.3 y la Figura 2.4 presentan el aporte sectorial para las emisiones EMEP de Cataluña. Se destaca el sector 7 (tráfico vehicular) como el más contaminante, ya que aporta con el 44 % del total de las emisiones; seguido de los sectores 6 (uso de disolventes), 3 (combustión en la industria) y 11 (naturaleza), que aportan cada uno, un 10 % de las emisiones totales.

Tabla 2.2: Emisiones EMEP de Cataluña para el año 2000 (t celda⁻¹ a⁻¹).

Celda		Área km ²	Porcentaje atribuible a Cataluña	CO	NMVOC	NO _x	SO _x	Total
i	j							
64	22	2 015.5	8.1	310	456	146	18	930
64	23	2 026.1	13.6	99	159	54	12	324
65	19	1 977.0	2.4	149	179	69	17	414
65	20	1 987.6	32.6	1 688	2 545	829	130	5 192
65	21	1 998.2	44.2	2 321	3 549	1 167	199	7 235
65	22	2 008.7	87.0	4 746	7 569	2 551	548	15 413
65	23	2 019.2	45.9	1 158	1 866	639	143	3 806
66	18	1 959.7	42.7	3 353	4 167	2 131	736	10 388
66	19	1 970.3	88.8	10 873	11 956	6 766	2 575	32 169
66	20	1 980.9	100.0	6 288	9 445	3 553	923	20 208
66	21	1 991.4	100.0	5 513	8 891	3 039	680	18 122
66	22	2 001.9	100.0	6 577	9 508	3 362	857	20 304
66	23	2 012.3	37.2	1 577	1 718	679	222	4 194
67	18	1 953.	44.6	5 719	6 195	3 677	1 400	16 992
67	19	1 963.5	41.0	5 965	6 366	3 805	1 493	17 629
67	20	1 974.	91.9	14 172	15 230	14 750	26 102	70 254
67	21	1 984.5	100.0	48 778	34 102	17 379	8 648	108 907
67	22	1 994.9	100.0	58 978	39 876	22 783	28 435	150 071
67	23	2 005.3	80.0	21 757	16 016	7 710	3 475	48 957
68	20	1 967.1	13.6	6 497	4 585	3 033	1 668	15 782
68	21	1 977.5	79.0	53 950	39 578	20 061	10 733	124 321
68	22	1 987.9	98.9	60 411	40 558	21 037	10 578	132 585
68	23	1 998.2	99.9	26 002	20 222	9 439	3 941	59 604
68	24	2 008.6	57.6	5 895	5 085	2 685	1 272	14 937
69	22	1 980.8	17.8	10 338	6 951	3 562	1 806	22 658
69	23	1 991.1	57.8	10 237	8 845	3 830	1 325	24 238
69	24	2 001.3	18.9	3 198	2 760	1 455	689	8 102
Total (t a ⁻¹):				376 547	308 375	160 189	108 625	953 736
%				39.48	32.33	16.80	11.39	100

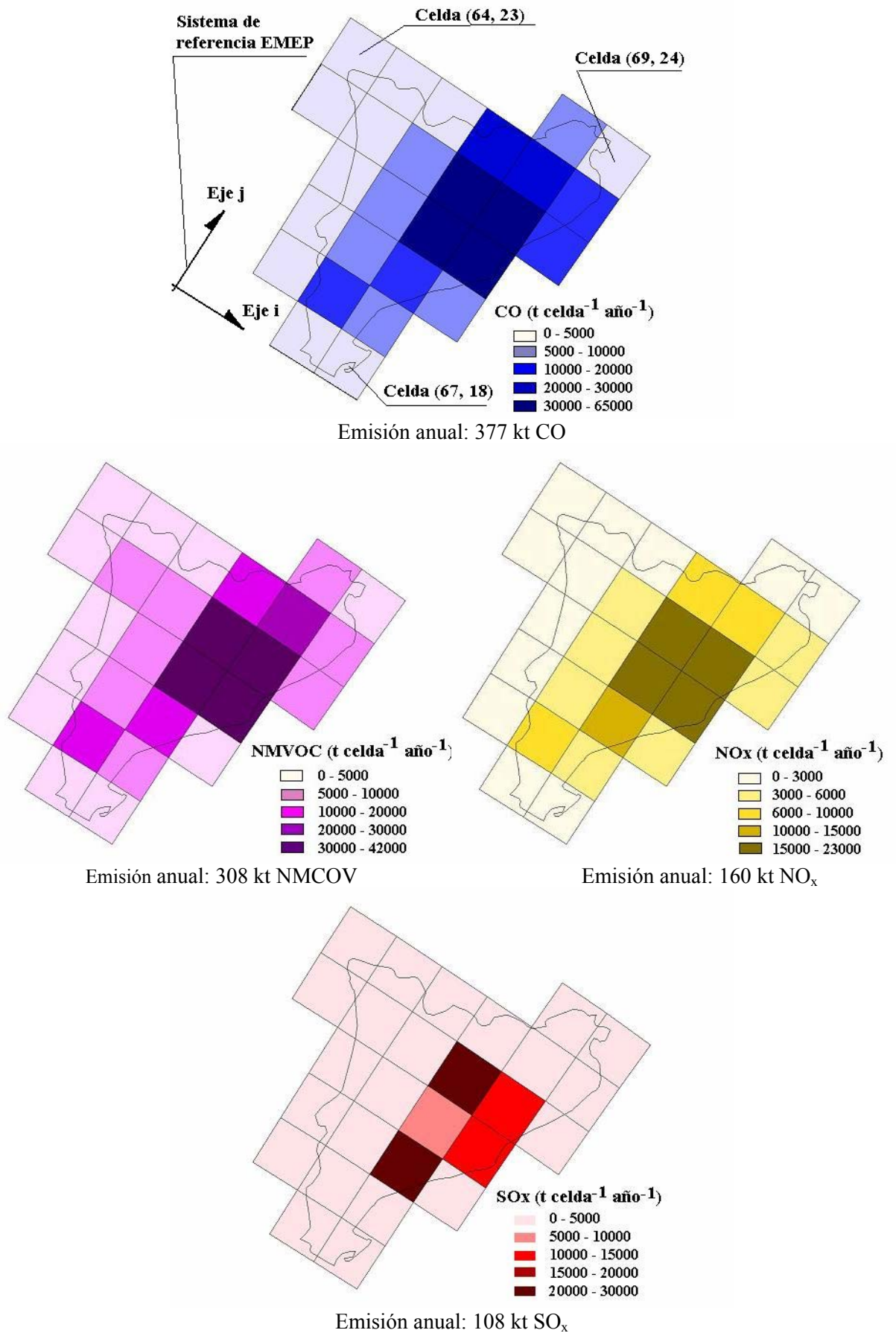


Figura 2.3: Distribución espacial de las emisiones EMEP del año 2000 para Cataluña.

Tabla 2.3: Emisiones EMEP de Cataluña para el año 2000 por sectores (t a⁻¹).

Sector EMEP*	CO	%	NMCOV	%	NO _x	%	SO _x	%	Total	%
1	1 256	0.33	385	0.12	11 509	7.18	38 486	35.43	51 644	5.41
2	52 797	14.02	4 403	1.43	3 688	2.30	10 021	9.22	70 926	7.43
3	15 103	4.01	1 392	0.45	30 562	19.08	45 663	42.04	92 743	9.72
4	8 412	2.23	20 410	6.62	312	0.19	1 518	1.40	30 661	3.21
5		0.00	9 319	3.02		0.00		0.00	9 322	0.98
6		0.00	97 729	31.69		0.00		0.00	97 761	10.25
7	274 233	72.83	58 018	18.81	84 767	52.92	2 718	2.50	419 880	44.01
8	12 365	3.28	3 571	1.16	24 890	15.54	6 385	5.88	47 231	4.95
9	10 357	2.75	7 253	2.35	1 612	1.01	3 803	3.50	23 030	2.41
10	2 025	0.54	17 057	5.53	2 619	1.64	32	0.03	21 741	2.28
11		0.00	88 839	28.81	230	0.14		0.00	89 069	9.34
Total	376 547	100	308 375	100	160 189	100	108 625	100	954 007	100

*Sectores de emisión EMEP:

1: *Public Power stations*, 2: *Comm./inst. combustion*, 3: *Industrial combustion*, 4: *Production processes*, 5: *Extraction fossil fuel*, 6: *Solvents*, 7: *Road traffic*, 8: *Other mobile (trains, plains etc.)*, 9: *Waste*, 10: *Agriculture*, 11: *Nature*.

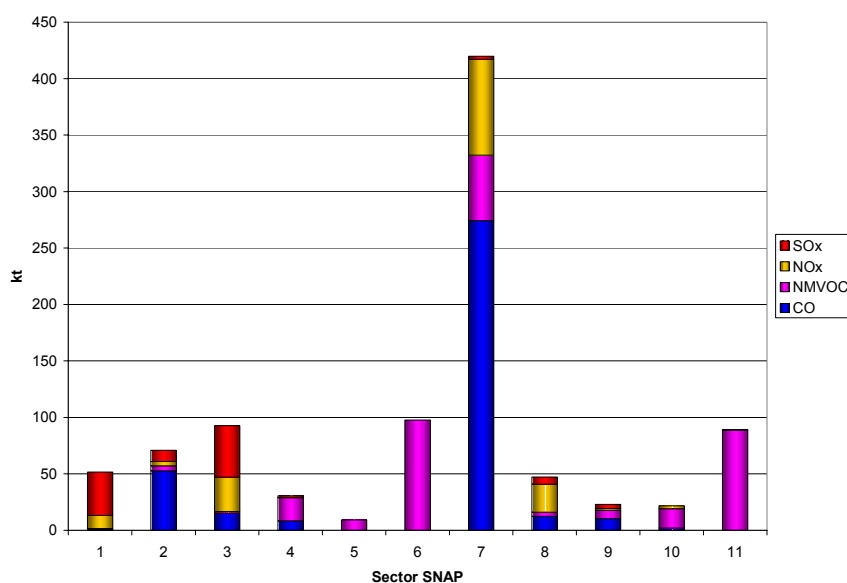


Figura 2.4: Emisiones EMEP de Cataluña para el año 2000 por sectores (t a⁻¹).

De la información de la Tabla 2.3, se identificaron los sectores con mayores aportes de emisión de los precursores de O₃:

- ❑ NO_x: sector 7 (tráfico vehicular, 53 %), sector 3 (combustión en la industria 19 %) y sector 8 (otras fuentes móviles, 16 %).
- ❑ NMCOV: sector 6 (uso de disolventes, 32 %), sector 11 (emisiones biogénicas, 29 %) y sector 7 (tráfico vehicular, 19 %)
- ❑ CO: sector 7 (tráfico vehicular, 73 %) y sector 2 (combustión doméstica/comercial, 14 %).

2.4 El dominio de análisis

Se seleccionó una zona cuadrada de 272 km de lado que incluye todo el territorio de Cataluña, dividido en celdas de 1 km de lado (ver la Figura 2.5). Esta división permite procesar rápidamente las emisiones obtenidas a 1 km, para resoluciones menos detalladas en celdas de 2, 4 y 8 km, y su posterior utilización en el MTQ.

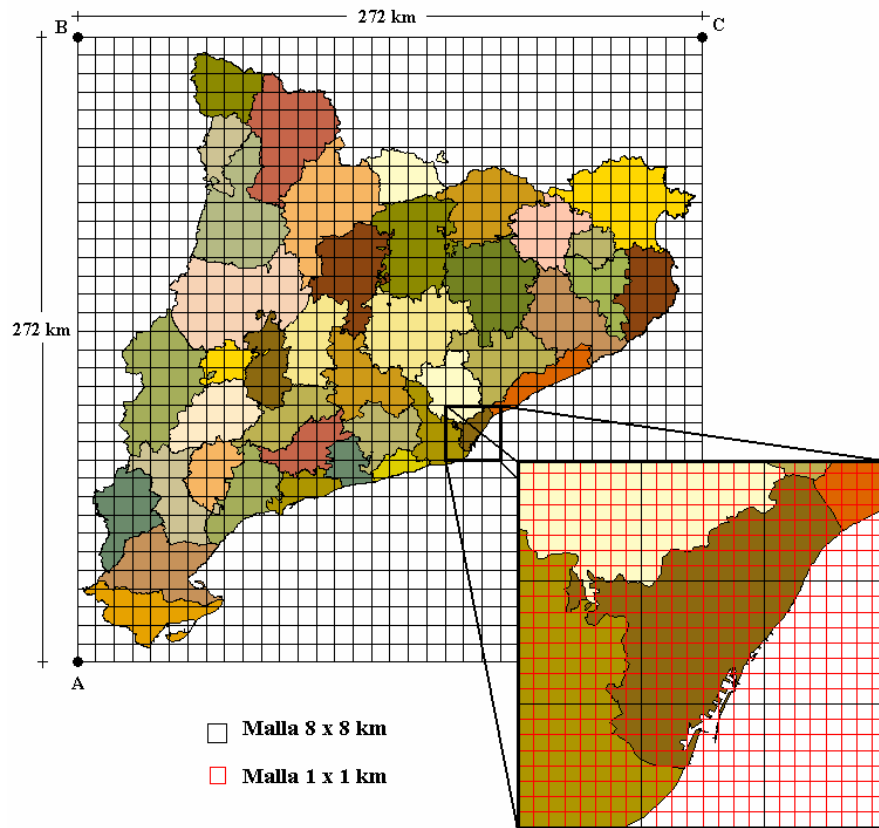


Figura 2.5: División del territorio de Cataluña para el desarrollo del inventario de emisiones atmosféricas.

La malla de la Figura 2.5 se define mediante las coordenadas UTM 31 (en metros) de sus cuatro vértices:

- ❑ A: 258 000, 4 484 000.
- ❑ B: 258 000, 4 756 000.
- ❑ C: 530 000, 4 756 000.
- ❑ D: 530 000, 4 484 000.

