

Capítulo 7

Análisis integrado de emisiones

EMICAT2000 integra las emisiones para diferentes escalas temporales. En este capítulo se analiza en un contexto global, la composición de las emisiones horarias, mensuales y anual; según el aporte de cada sector emisor.

7.1 Composición anual

La Tabla 7.1, la Tabla 7.2 y la Figura 7.1 indican la composición de las emisiones anuales. Los contaminantes primarios totalizan 599 kt a⁻¹, correspondiendo en orden decreciente 45 % al CO, 23 % a los NMCOV, 18 % a los NO_x, 11 % a SO₂ y 4 % a las partículas.

Con respecto al CO, el tráfico vehicular es la fuente más importante y se le atribuye el 97 %.

Las fuentes de NMCOV son más diversas. El 36 % es atribuible al tráfico vehicular, 34 % corresponde a las emisiones biogénicas, 17 % a las emisiones industriales y 13 % al uso de disolventes. Del porcentaje de las emisiones industriales, el 8 % corresponde a las emisiones fugitivas de diferentes procesos de producción y el 7 % al refino de petróleo más la producción de olefinas.

Con relación a los NO_x, el 58 % corresponde al tráfico vehicular, y el 39 % a las emisiones industriales. De estas últimas, el 14 % corresponde a la generación de energía eléctrica, 9 % a la producción de cemento y 8 % al refino de petróleo.

Las industrias generan el 94 % de las emisiones de SO₂, correspondiendo el 44 % a la generación eléctrica, 39 % al refino de petróleo y el 10 % a la producción de olefinas.

El 67 % de las emisiones de partículas provienen del tráfico vehicular, y el 32 % de las actividades industriales. De este último porcentaje, 18 % se atribuye a la producción de cemento, 7 % a la generación eléctrica y 7 % al refino de petróleo más la producción de olefinas.

En cuanto a la participación en la emisión de contaminantes primarios, al tráfico vehicular se le atribuye el 65 %, a la industria 23 % y a las emisiones biogénicas el 8 %. Del porcentaje industrial, el 8 % corresponde a la energía eléctrica y 7 % al refino de petróleo.

La emisión de GEI cuantificada asciende a 32 175 kt CO₂ eq. a⁻¹, correspondiendo un 63 % a las actividades industriales (18 % generación de electricidad, 45 % otras fuentes industriales), 26 % al tráfico vehicular y 11 % al consumo de combustibles fósiles en los ámbitos residencial – comercial.

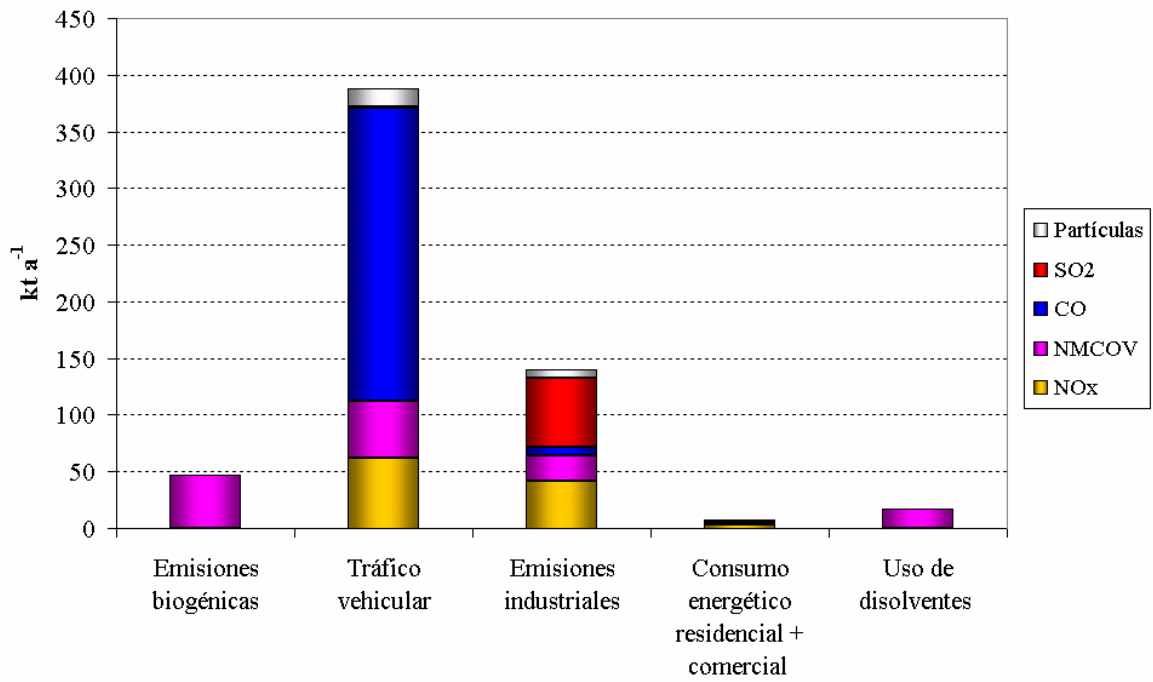
La Tabla 7.1 también incluye el porcentaje de la relación de emisión de contaminantes primarios con respecto a los GEI. Esta relación identifica a las fuentes que producen las mayores tasas de emisión de contaminantes primarios por emisión de GEI. El valor más alto corresponde al tráfico vehicular (por cada 100 kt de GEI se emiten 4.7 kt de los contaminantes primarios). Porcentajes medios (0.8 - 1.4 – 1.8) corresponden a la generación eléctrica, refino de petróleo y producción de olefinas, respectivamente. Los porcentajes más bajos (0.2) corresponden a la producción de cemento y consumo de combustibles fósiles en los sectores residencial – comercial. No obstante, en el caso del cemento se debe tomar en cuenta que el bajo porcentaje se debe a la fracción importante de CO₂ que no proviene directamente del combustible.

Tabla 7.1: Resumen de emisiones en Cataluña durante el año 2000 (kt a⁻¹).

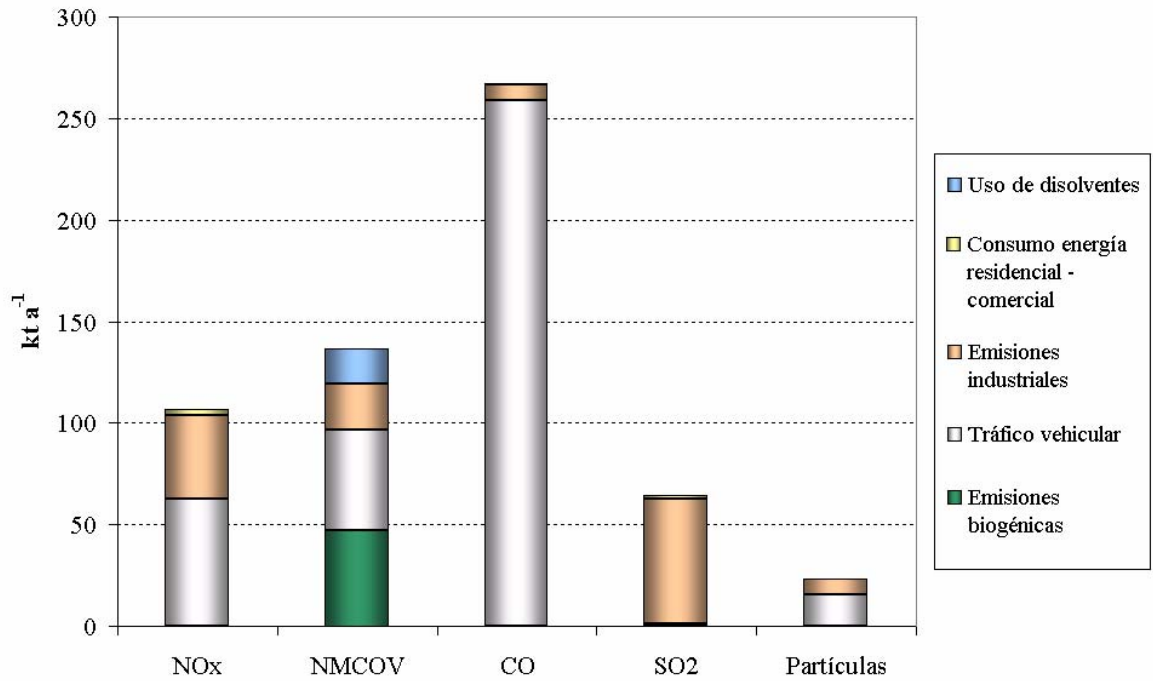
Fuente	Contaminantes primarios					Total (a)	GEI (kt CO ₂ eq a ⁻¹) (b)	Relación (a)/(b) %
	NO _x	NMCOV	CO	SO ₂	PST			
1. Emisiones biogénicas		46.9				46.9		
2. Tráfico vehicular	62.4	49.5	259.0	1.3	15.7	387.9	8302.0	4.7
3. Emisiones industriales	41.2	22.8	7.3	61.1	7.5	139.9	20361.0	0.7
Energía eléctrica	15.0	0.7	2.1	28.5	1.7	48.0	5698.0	0.8
Cemento	9.6	0.3	3.5	1.4	4.2	19.0	8477.0	0.2
Refino de petróleo	8.5	6.4	1.1	25.0	0.9	41.9	2929.0	1.4
Olefinas	2.9	2.4	0.0	6.2	0.7	12.2	690.0	1.8
Emisiones fugitivas		11.0				11.0		
Otras industrias	5.2	2.0	0.6	0.0	0.0	7.8	2567.0	0.3
4. Consumo energético residencial + comercial	3.3	0.2	1.1	2.3	0.3	7.2	3512.0	0.2
5. Uso de disolventes		17.2				17.2		
Total:	106.9	136.6	267.4	64.7	23.5	599.1	32175.0	1.9
%	17.84	22.80	44.64	10.80	3.92	100		

Tabla 7.2: Resumen de emisiones en Cataluña durante el año 2000 (%).

Fuente	Contaminantes primarios					Total	GEI
	NO _x	NMCOV	CO	SO ₂	PST		
1. Emisiones biogénicas		34.33				7.83	
2. Tráfico vehicular	58.37	36.24	96.86	2.01	66.81	64.75	25.80
3. Emisiones industriales	38.54	16.69	2.73	94.44	31.91	23.35	63.28
Energía eléctrica	14.03	0.51	0.79	44.05	7.23	8.01	17.71
Cemento	8.98	0.22	1.31	2.16	17.87	3.17	26.35
Refino de petróleo	7.95	4.69	0.41	38.64	3.83	6.99	9.10
Olefinas	2.71	1.76	0.00	9.58	2.98	2.04	2.14
Emisiones fugitivas		8.05				1.84	
Otras industrias	4.86	1.46	0.22	0.00	0.00	1.30	7.98
4. Consumo energético residencial + comercial	3.09	0.15	0.41	3.55	1.28	1.20	10.92
5. Uso de disolventes		12.59				2.87	
Total:	100	100	100	100	100	100	100



(a) Por sectores



(b) Por contaminante

Figura 7.1: Emisión en el año 2000 de contaminantes primarios por sectores (kt a⁻¹).

7.1.1 Resumen comparativo con otros inventarios

A modo de síntesis, la Tabla 7.3 presenta un resumen de las emisiones anuales de EMICAT2000 y los resultados de otros inventarios utilizados como elementos de comparación en los capítulos correspondientes. Considerando la incertidumbre inherente de los inventarios de emisiones, se puede afirmar de manera global que hay una coherencia aceptable de los resultados. No obstante se destaca nuevamente que estos valores (con potencial diferencia en sus niveles de incertidumbre) son estimaciones de las emisiones reales. Los valores reales de emisión, por definición no se conocen.

Tabla 7.3: Resumen comparativo de las emisiones anuales de EMICAT2000 por sectores y otros inventarios (kt a⁻¹)

Contaminante	Otros inventarios				EMICAT2000
	Año de emisión y fuente de consulta				
Emisiones biogénicas					
	1992	2000	2000		
	(Gómez, 1998)	EMEP Cataluña	(DMA, 2003a)		
Isopreno	16.6				5.9
Monoterpenos	23.5				24.7
OCOV	10.8				16.3
Total	50.9	88.8	73.9		46.9
Tráfico vehicular					
	1990	1994	2000	2000	
	(DMA, 1996)	(Delgado, 1997)	EMEP Cataluña	(DMA, 2003a)	
NO _x	92.7	77.8	84.8	62.8	62.4
CO	385.8	283.5	274.2	366.9	259.0
COV	84.5	35.1	58.0	82.8	50.5
SO ₂	12.2	6.7	2.7	12.9	1.3
PST	11.8	4.2		10.2	15.7
CO ₂ eq.				11 203	8 302
Generación eléctrica					
			2000		
			EMEP Cataluña	a	
NO _x			11.5		15.0
CO			1.3		2.1
NMCOV			0.4		0.7
SO ₂			38.5		28.5
PST					1.7
CO ₂ eq.					5 698
Sector industrial (excepto generación eléctrica)					
			2000, EMEP		
			Cataluña	b	
NO _x			30.9		26.1
CO			23.5		5.4
NMCOV			21.8		22.0
SO ₂			47.2		32.7
PST					5.9
CO ₂ eq.					14 663
Consumo de energía en los sectores residencial y comercial					
			2000		
			(DMA, 2003a)		
NO _x			2.7		3.3
CO			1.9		1.1
NMCOV			0.2		0.2
SO ₂			2.4		2.3
PST			0.3		0.3
CO ₂ eq.			3 693		3 511

^a Corresponde al sector 1 (*public power stations*) de las emisiones EMEP presentadas en el Capítulo 2.

^b Corresponde a los sectores 3 (*industrial combustion*) y 4 (*production processes*) de las emisiones EMEP presentadas en el Capítulo 2.

7.1.2 Resumen de evaluación cualitativa de incertidumbre

La Tabla 7.4 indica la calificación de los niveles de incertidumbre por fuentes de emisión. Según los criterios indicados en los capítulos correspondientes, las emisiones de monoterpenos tienen el mejor nivel de certidumbre (73 puntos); seguida de las emisiones por la generación de energía eléctrica en RO (61 puntos), la incineración de residuos (59 puntos) y el uso de combustibles fósiles en los sectores residencial – comercial (58). Los niveles más altos de incertidumbre corresponden al uso de disolventes (36 puntos), cogeneración (38 puntos), refinado de petróleo (41 puntos) y COV evaporativos por detención y diurno (41 puntos).

Tabla 7.4: Calificación del nivel de incertidumbre por fuente de emisión.

Sector/emisión	Calificación (puntos)
Emisiones biogénicas	
Isopreno	53
Monoterpenos	73
OCOV	47
Tráfico vehicular	
NO _x (en caliente del escape)	51
COV (en caliente del escape)	51
COV (evaporativa diurna)	41
COV (evaporativa detención)	41
COV (evaporativa recorrido)	46
CO (en caliente del escape)	51
Emisiones industriales (contaminantes primarios/GEI)	
Generación eléctrica en RO	61
Cogeneración	38
Incineración de residuos	59
Cemento	56
Refino de petróleo	41
Sectores residencial – comercial	
Uso combustibles fósiles (contaminantes primarios/GEI)	58
Uso de disolventes (COV)	36

7.2 Evolución mensual de las emisiones de contaminantes primarios

La Figura 7.2 indica la evolución mensual de las emisiones de NO_x por fuentes de emisión. Las emisiones son más o menos uniformes y varían aproximadamente entre 8 y 10 kt mes⁻¹. Se observa claramente el dominio del tráfico, en tanto que el sector industrial tiene una ligera mayor influencia en los meses de invierno.

La Figura 7.3 presenta las emisiones mensuales de NMCOV. Las emisiones varían entre aproximadamente 8 y 18 kt mes⁻¹. Hay una influencia importante del perfil de las emisiones biogénicas. Las mayores emisiones se presentan en verano, debido principalmente a las mayores temperaturas y tasas de radiación solar, que implican tanto mayores emisiones biogénicas y mayores emisiones evaporativas del tráfico vehicular.

La Figura 7.4 presenta las emisiones de CO. Excepto en los meses de verano, las emisiones varían entre 20 y 22 kt mes⁻¹. En julio y agosto, las emisiones ascienden hasta 28 kt mes⁻¹, debido principalmente al incremento del tráfico turístico, tanto local como foráneo. La principal fuente es el tráfico vehicular y el perfil mensual de emisiones de CO tiene directa influencia del perfil de tráfico presentado en el Capítulo 4.

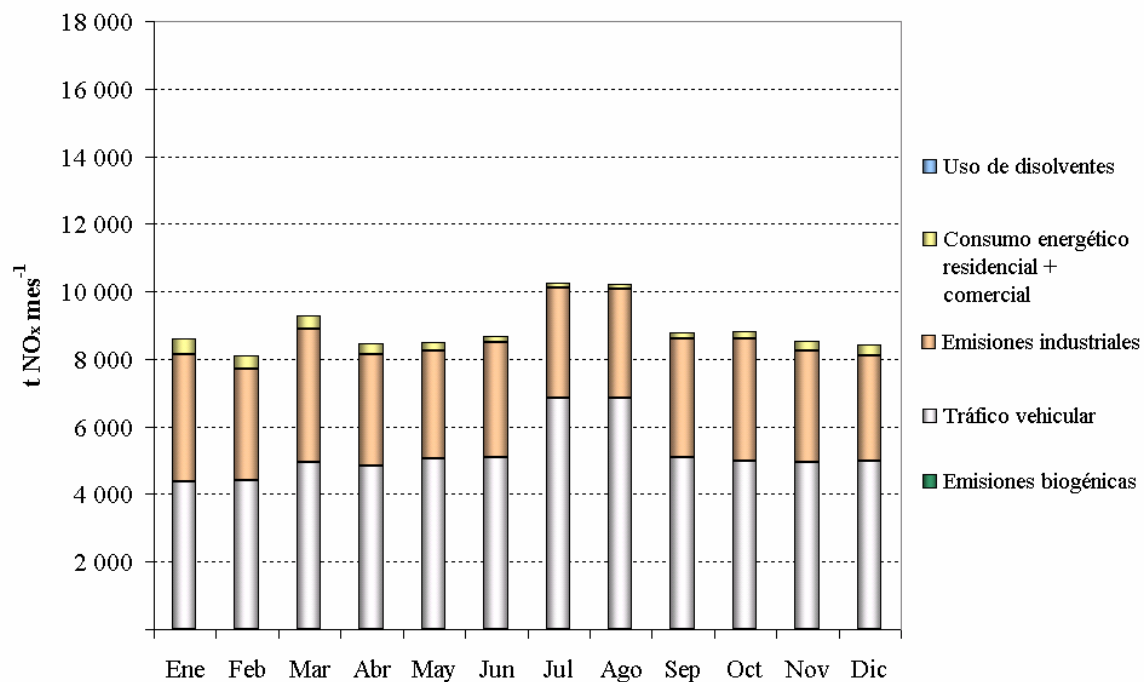


Figura 7.2: Emisiones mensuales de NO_x en Cataluña durante el año 2000 (t mes⁻¹).

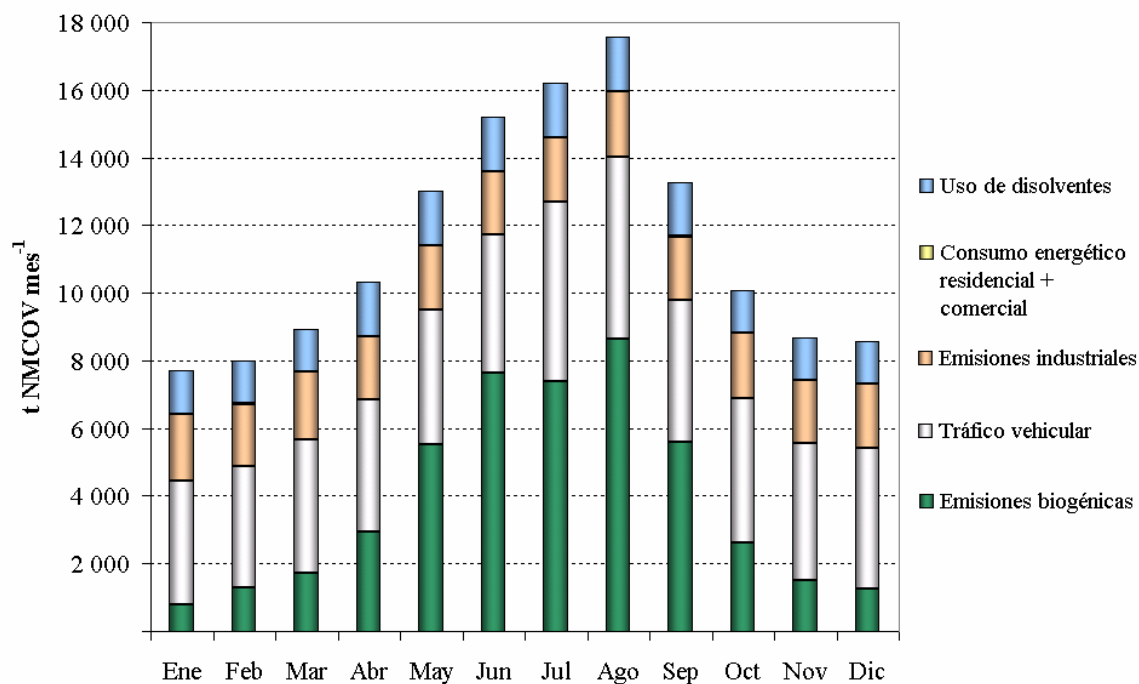


Figura 7.3: Emisiones mensuales de NMCOV en Cataluña durante el año 2000 (t mes⁻¹).

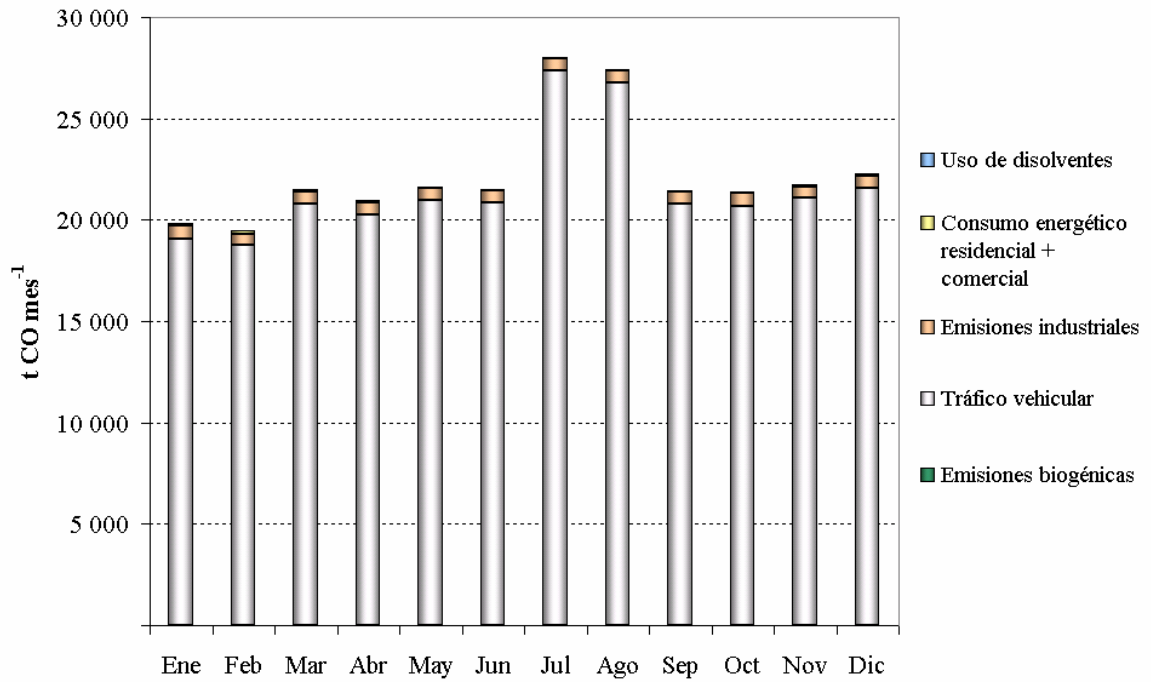


Figura 7.4: Emisiones mensuales de CO en Cataluña durante el año 2000 (t mes⁻¹).

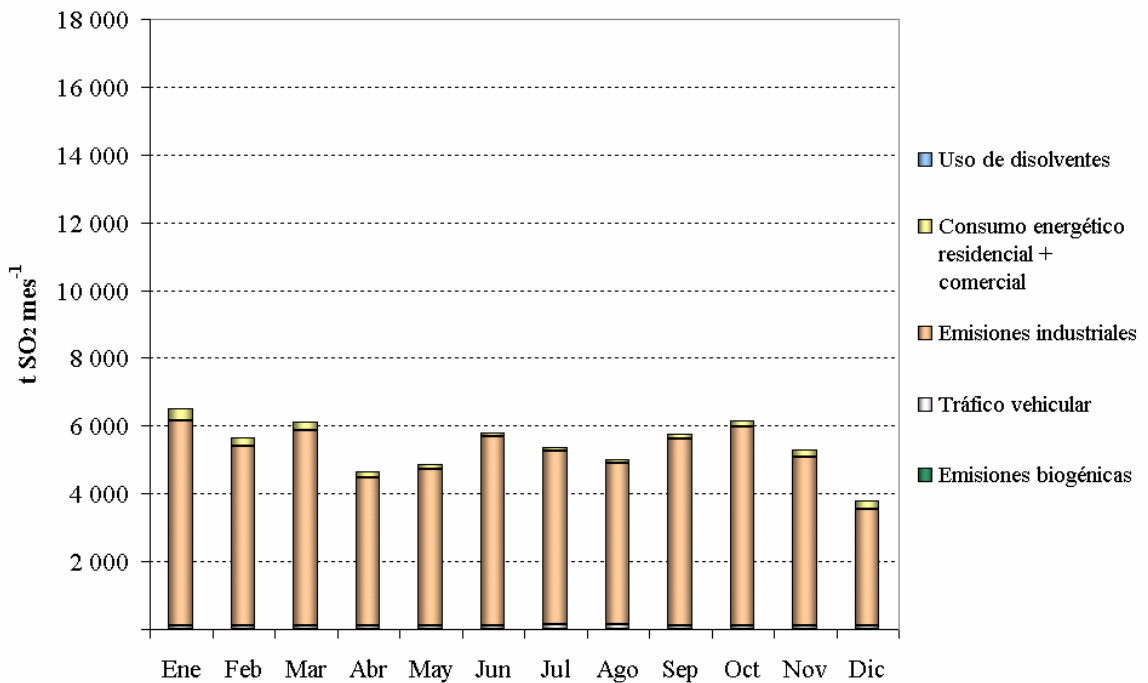


Figura 7.5: Emisiones mensuales de SO₂ en Cataluña durante el año 2000 (t mes⁻¹).

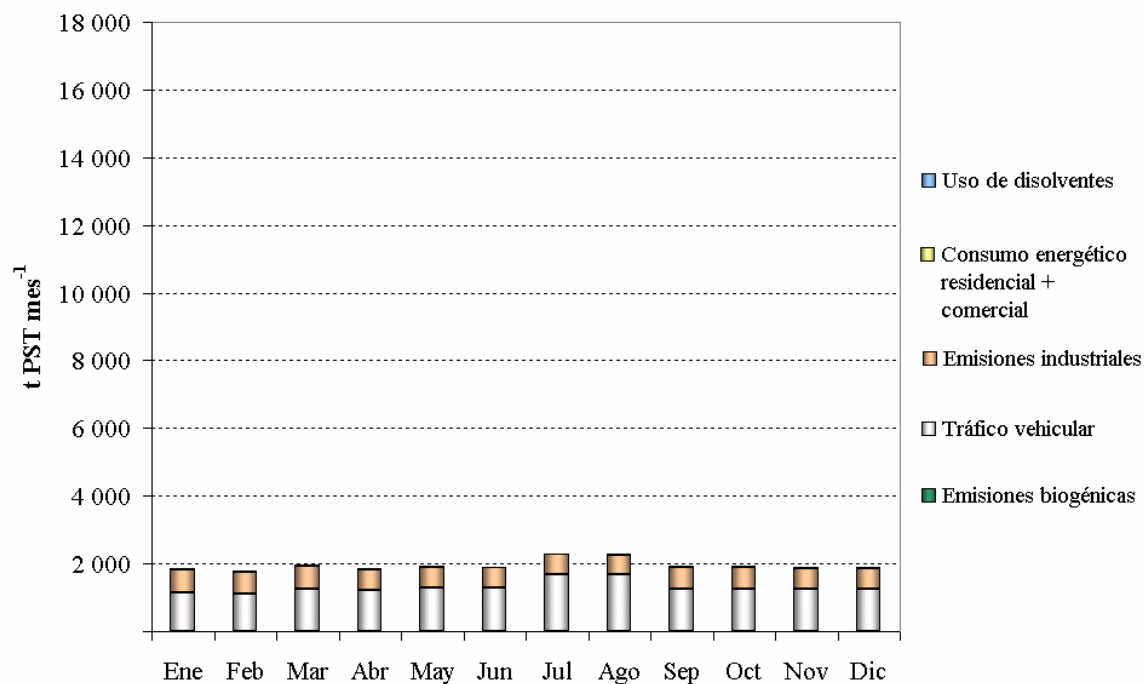


Figura 7.6: Emisiones mensuales de partículas en Cataluña durante el año 2000 (t mes⁻¹).

La Figura 7.5 presenta las emisiones de SO₂, que varían aproximadamente entre 4 y 6 kt mes⁻¹. El sector industrial (refino de petróleo y generación eléctrica) es la principal fuente de emisión.

La Figura 7.6 indica las emisiones mensuales de partículas, que varían alrededor de 2 kt mes⁻¹ y provienen principalmente del tráfico y del sector industrial.

7.3 Emisiones horarias

7.3.1 Reactividad de los NMCOV

La reactividad de los compuestos orgánicos volátiles es diferente. La Tabla 7.5 indica las reacciones con el radical OH de las categorías del mecanismo CB4 dentro del MTQ Models-3 (EPA, 2003c). Tomando como referencia la menos reactiva (PAR), la categoría con mayor constante de reactividad es ISOP (126 veces más que la PAR). Las categorías OLE, XYL y ALD2 son de 20 – 36 veces más reactivas. Las categorías TOL, ETH y FORM son de 8 – 12 veces más reactivas que la categoría PAR.

Tabla 7.5: Reactividad de las categorías del mecanismo Carbon Bond 4 con el radical OH (USEPA, 2003c).

Número de reacción	Reacción	k (20 °C)	Relación de constantes con respecto a la categoría PAR
38	FORM + OH = HO2 + CO	1.00E-11	12
44	ALD2 + OH = C2O3	1.64E-11	20
53	PAR + OH = 0.87XO2 + 0.13XO2N + 0.11HO2 + 0.11ALD2 + 0.76ROR - 0.11PAR	8.10E-13	1
58	OLE + OH = FORM + ALD2 + XO2 + HO2 - PAR	2.90E-11	36
62	ETH + OH = XO2 + 1.56FORM + HO2 + 0.22ALD2	8.10E-12	10
64	TOL + OH = 0.08XO2 + 0.36CRES + 0.44HO2 + 0.56TO2	6.30E-12	8
70	XYL + OH = 0.7HO2 + 0.5XO2 + 0.2CRES + 0.8MGly + 1.1PAR + 0.3TO2	2.50E-11	31
77	ISOP + OH = 0.912ISPD + 0.629FORM + 0.991XO2 + 0.912HO2 + 0.088XO2N	1.02E-10	126

7.3.2 Composición especiada de las emisiones de NMCOV por sectores

En esta sección se sintetizan los perfiles de especiación de las emisiones de NMCOV por sectores, de acuerdo a las categorías del mecanismo CB4.

La Figura 7.7 presenta la composición porcentual de las emisiones biogénicas, tráfico vehicular y uso de disolventes. La Figura 7.8 presenta los perfiles de las emisiones industriales.

El isopreno, como se había indicado, debido a su alta reactividad se trata de manera explícita y aporta en un 100 % a la categoría ISOP. Los monoterpenos aportan en un 75 % a la categoría PAR, 19 % de ALD2 y 6 % de OLE. Los OCOV aportan un 90 % de PAR, 5 % de OLE y 5 % de NR.

Los perfiles asumidos para el tráfico vehicular tienen también un aporte variable. Las emisiones del escape de los vehículos convencionales de gasolina (sin catalizador), camiones de gasolina y motocicletas; aportan con un 52 % de PAR, 21 % de NR, 7 % de TOL, 6 % de XYL y 6 % de OLE, principalmente. Para las emisiones del escape de los vehículos de gasolina con catalizador, la gama es del mismo modo diversa, aunque hay un porcentaje mayor de PAR (68 %) y menor de NR (13 %). Las emisiones evaporativas aportan en su gran mayoría a la categoría PAR (95 %). De la misma manera, las emisiones del escape de los vehículos diesel aportan mayoritariamente a la especie PAR (79 – 85 %).

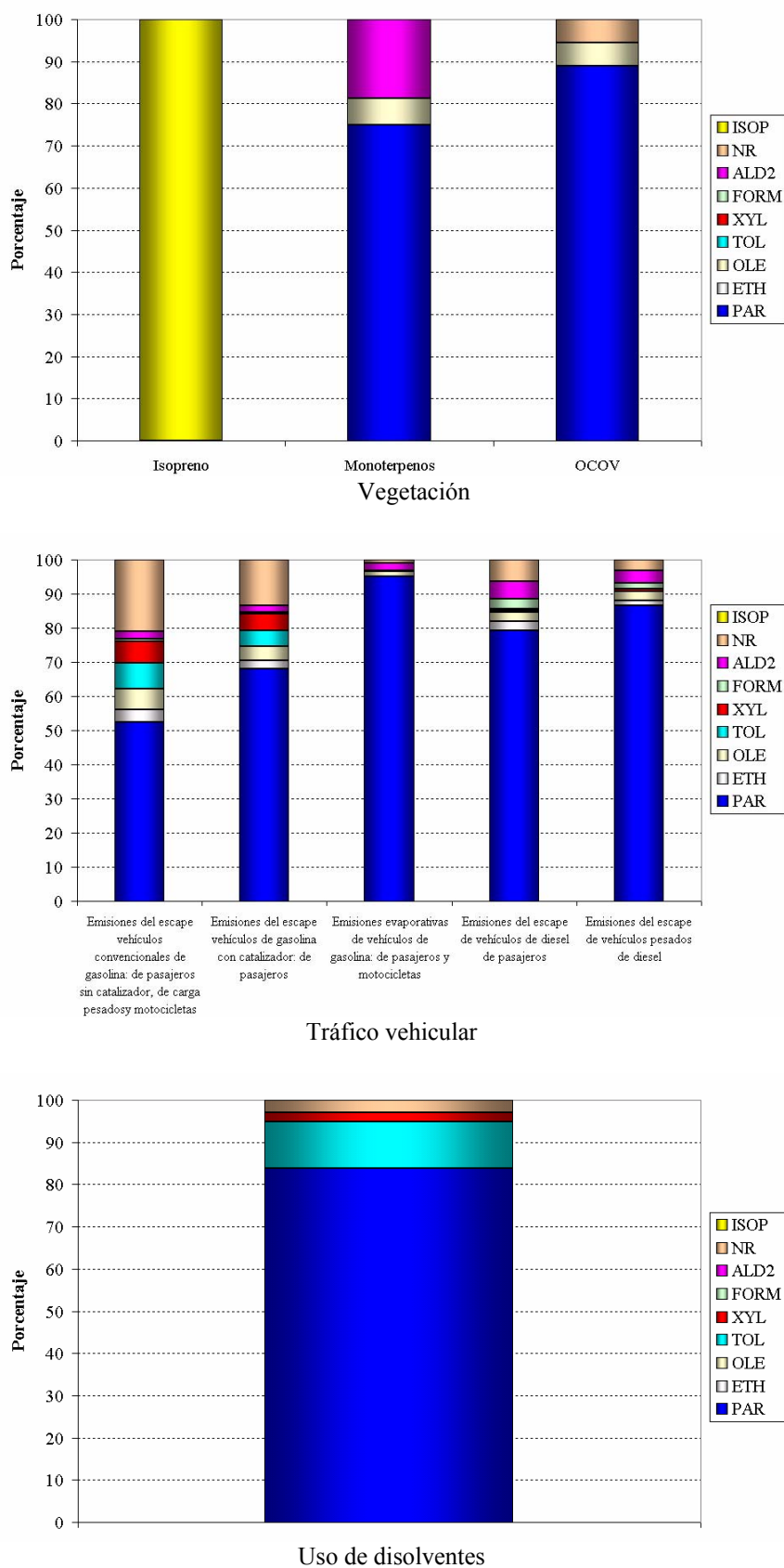


Figura 7.7: Perfiles de especiación de las emisiones de NMCOV de la vegetación, tráfico y vehicular y uso de disolventes, según las categorías del mecanismo CB4 (%).

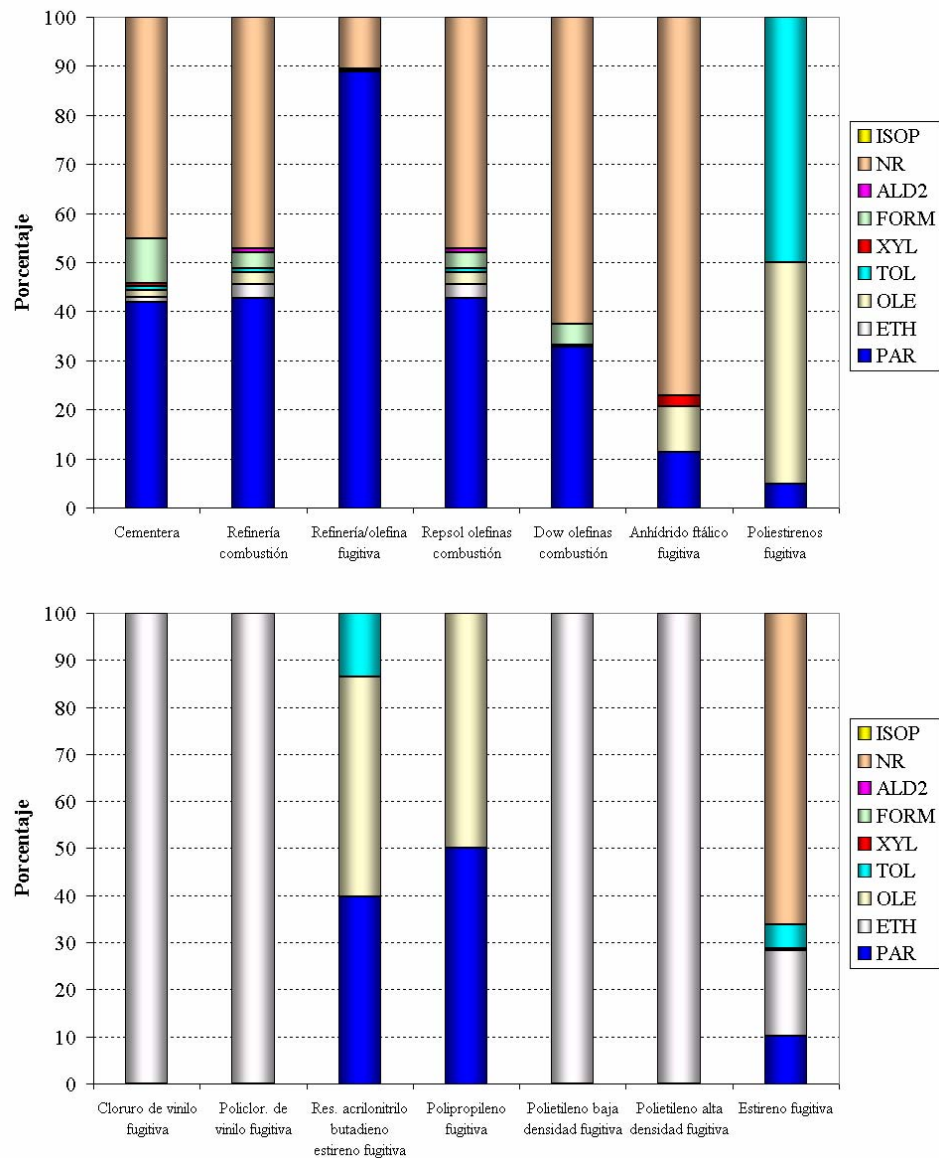


Figura 7.8: Perfiles de especiación de las emisiones de NMCOV industriales, según las categorías del mecanismo CB4 (%).

Considerando que en el tráfico vehicular, las emisiones de NMCOV provienen principalmente de los vehículos a gasolina, se observa claramente el aporte importante de este sector para casi todas las categorías del mecanismo CB4.

Un 84 % de las emisiones debidas al uso de disolventes corresponde a la categoría PAR y un 11 % a la categoría TOL.

Las emisiones industriales presentan una variación más amplia. La categoría PAR del mismo modo tiene aportes significativos, entre el 30 y 90 % de las emisiones que provienen del refino de petróleo, producción de olefinas, polipropileno y resinas de acrilonitrilo butadieno estireno. Las emisiones de la categoría NR aparece de manera importante (hasta un 77 %) en los perfiles de producción anhídrido ftálico, estireno, olefinas, refino de petróleo. Se destaca el perfil de emisiones de la producción de cloruro y policloruro de vinilo, polietileno de baja y alta densidad, que en un 100 % aportan a la categoría ETH. El aporte a la categoría OLE es importante (45 – 50 %) en la producción de poliestireno, polipropileno y resinas de acrilonitrilo butadieno estireno. La producción de poliestireno contribuye en un 50 % a la categoría TOL.

7.3.3 Aporte sectorial de emisiones especiadas

La Tabla 7.6 y la Figura 7.9 indican el aporte especiado de los precursores de ozono por sectores de emisión, para el 14 de agosto de 2000. El 71 % del NO proviene del tráfico vehicular y el restante 29 % del sector industrial.

Con respecto a los NMCOV, la categoría PAR es la de mayor emisión (82 %), no obstante es la categoría menos reactiva. El 65 % de las emisiones de la categoría PAR proviene del tráfico vehicular y 28 % de las emisiones biogénicas. El alto aporte del tráfico vehicular se debe principalmente a las altas emisiones evaporativas estimadas para el mes de agosto, según se indicó en el Capítulo 4. Adicionalmente, las emisiones biogénicas son también las más altas en agosto.

La categoría más reactiva (ISOP) solamente representa el 1 % de las emisiones especiadas de NMCOV. A diferencia de las otras especies, se debe recordar que las emisiones de isopreno están restringidas solamente a las horas con radiación solar, aspecto que contribuye a la baja participación porcentual de esta especie.

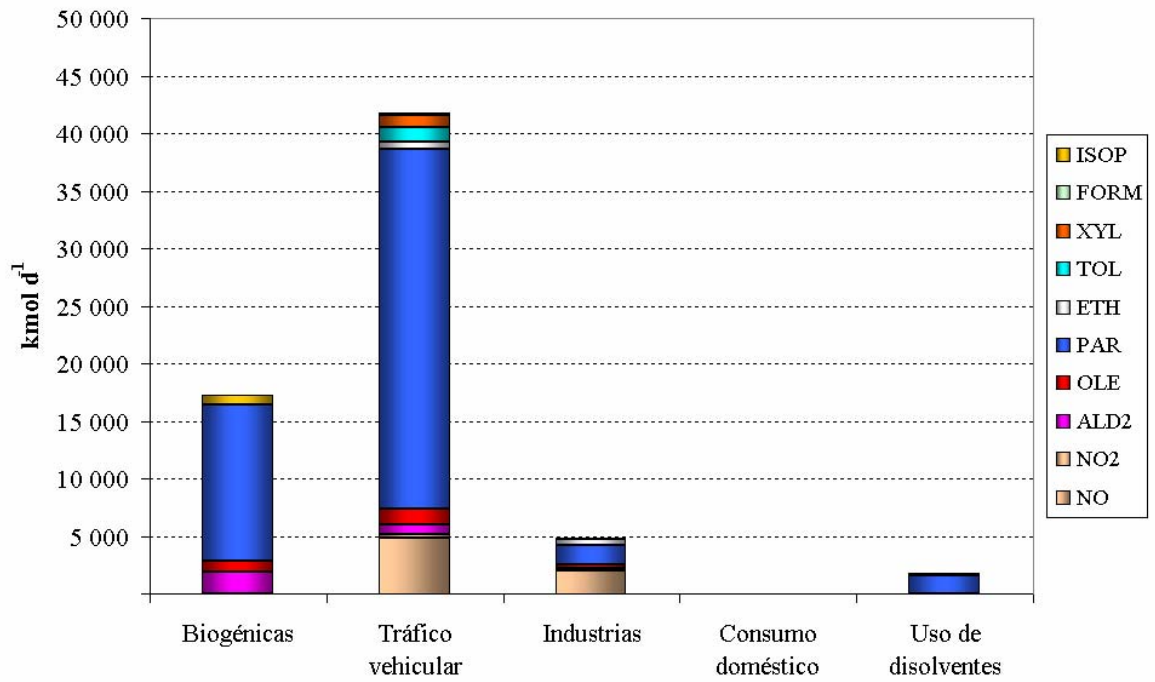
Las categorías OLE, XYL y ALD2, que siguen en reactividad al ISOP, representan el 11 % de las emisiones de NMCOV especiadas. El 52 % de las emisiones de OLE provienen del tráfico, 39 % de las biogénicas y 10 % de las industrias. El 96 % de las emisiones de XYL son atribuibles al tráfico. El 67 % de las emisiones de ALD2 provienen de la vegetación y el restante 23 % del tráfico.

Las categorías TOL, ETH y FORM representan el 5 % de las emisiones de NMCOV especiadas. El 83 % de las emisiones de TOL se atribuyen al tráfico y el 13 % al uso de disolventes. El 89 % de las emisiones de FORM provienen de tráfico y el restante 11 % de las industrias. El 58 % de las emisiones de ETH provienen del tráfico y el restante 42 % del sector industrial.

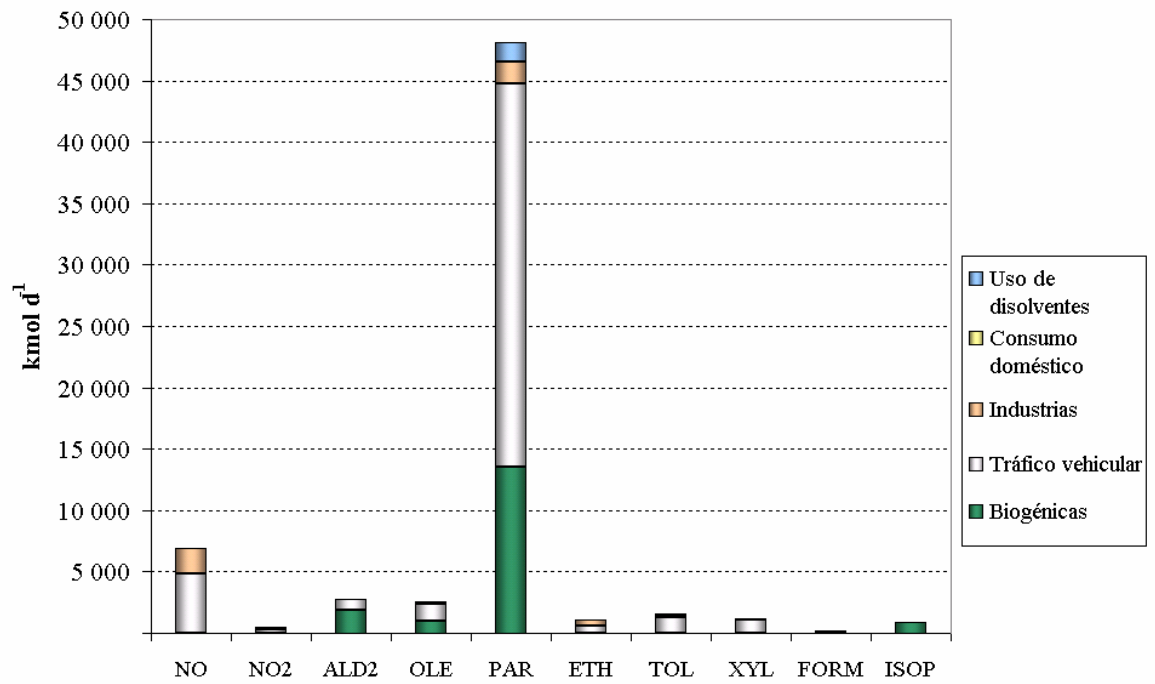
La Figura 7.10 presenta la distribución de las emisiones de las categorías ALD2, OLE, PAR y XYL. Se aprecia claramente que las tres primeras provienen esencialmente de la vegetación y del tráfico. El grupo XYL proviene principalmente del tráfico. La Figura 7.11 presenta la evolución horaria de las emisiones del grupo ALD2.

Tabla 7.6: Aporte de los precursores de ozono en Cataluña durante el 14 de agosto de 2000.

Sector	Categoría CB4 (kmol d ⁻¹)									
	NO	NO2	ALD2	OLE	PAR	ETH	TOL	XYL	FORM	ISOP
Emisiones biogénicas			1 862	1 003	13 558					865
Tráfico vehicular	4 870	256	896	1 342	31 220	630	1 292	1 104	178	
Industrias	2 010	220	2	254	1 766	464	67	4	22	
Consumo doméstico	10	1			1					
Uso de disolventes					1 542		202	38		
Total:	6 890	477	2 760	2 599	48 087	1 094	1 561	1 146	200	865
Sector	Especie (%)									
	NO	NO2	ALD2	OLE	PAR	ETH	TOL	XYL	FORM	ISOP
Biogénicas			67.46	38.59	28.19					100.00
Tráfico vehicular	70.68	53.67	32.46	51.64	64.92	57.59	82.77	96.34	89.00	
Industrias	29.17	46.12	0.07	9.77	3.67	42.41	4.29	0.35	11.00	
Consumo doméstico	0.15	0.21			0.00					
Uso de disolventes					3.21		12.94	3.32		
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100



(a) Sectores de emisión



(b) Por precursores especiados

Figura 7.9: Aporte de los precursores de ozono en Cataluña durante el 14 de agosto de 2000 (kmol d⁻¹).

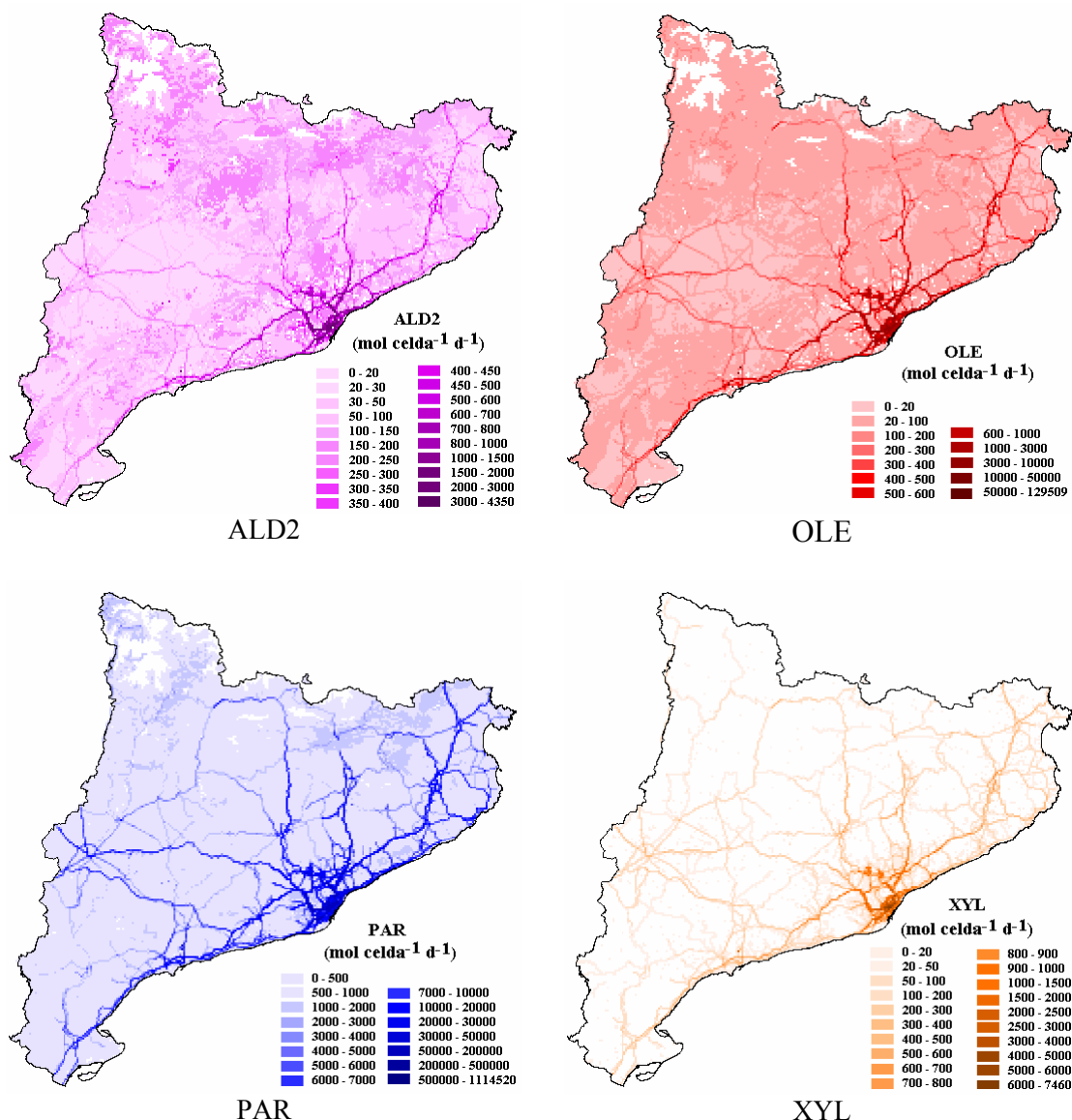


Figura 7.10: Distribución de las emisiones de las categorías ALD2, OLE, PAR y XYL en Cataluña durante el 14 de agosto de 2000.

De toda esta información se verifica la complejidad de la composición de las emisiones de contaminantes del aire en la zona de estudio. La composición es diversa, tanto en cantidad, distribución espacial y reactividad. Es difícil identificar las especies más importantes en la formación del ozono troposférico. Hay comparativamente bajas emisiones de una categoría muy reactiva (ISOP) y altas emisiones de una categoría poco reactiva (PAR). Posiblemente el uso de un MTQ sea la única alternativa práctica para dilucidar este complejo fenómeno.

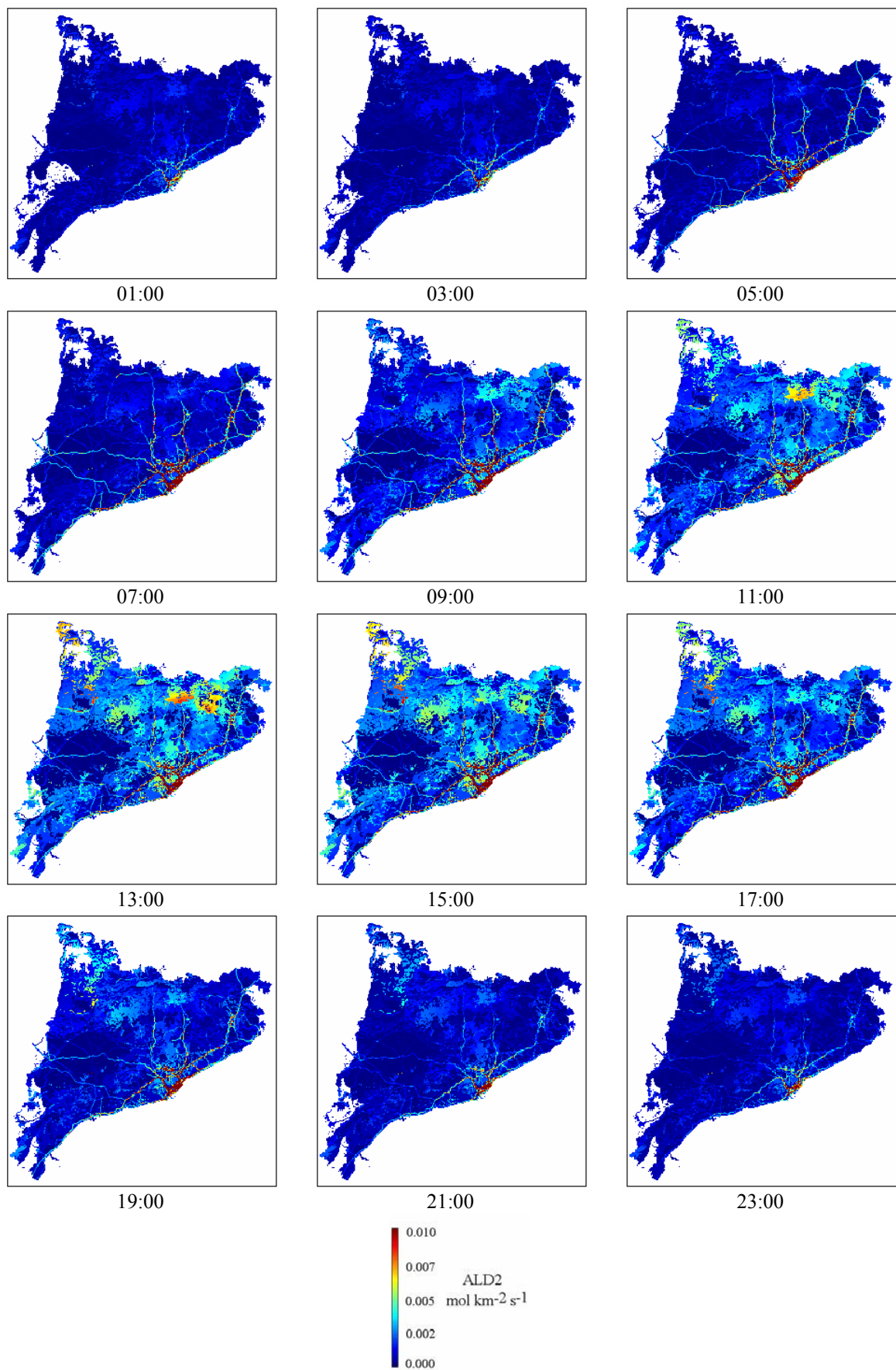


Figura 7.11: Evolución horaria de emisiones de la categoría ALD2 durante el 14 de agosto de 2000.

7.3.4 Ejemplo de evaluación de la incertidumbre mediante simulación fotoquímica

Como se había indicado en el Capítulo 2, los resultados de la modelización fotoquímica es un criterio de tipo externo para evaluar la incertidumbre de los inventarios de emisiones. En sentido estricto, para determinar la bondad de las emisiones proporcionadas por EMICAT2000 se debería evaluar los resultados para varios eventos de contaminación fotoquímica. Sin embargo, esta actividad se encuentra fuera del alcance de esta tesis doctoral y forma parte de la explotación propiamente dicha del modelo de emisiones. Esta última actividad se incluye en otra tesis doctoral que se está desarrollando actualmente en el Laboratorio de Modelización Ambiental.

Sin embargo, se incluye como ejemplo de evaluación mediante modelización fotoquímica, los resultados para el día 13 de agosto de 2000. La Figura 7.12 presenta los mapas de la concentración de O₃ en superficie (en colaboración con Pedro Jiménez). Los campos de vientos provienen de Jorba *et al.* (2003). Las condiciones meteorológicas son anticiclónicas y corresponden a un pantano barométrico.

En la madrugada las concentraciones de O₃ son bajas, no hay actividad fotoquímica y los precursores son transportados por la brisa de tierra en dirección SE. Hacia las 8:00 empieza a formarse la brisa de mar, que actúa de manera definida durante las horas de radiación, devolviendo los precursores previamente transportados hacia el mar en la madrugada y arrastrando las nuevas emisiones hacia el interior en dirección N-NE, al tiempo que se producen las reacciones fotoquímicas que incrementan la formación de O₃. Las máximas concentraciones se producen hacia las 16:00 horas al norte del Área Metropolitana de Barcelona (Vic, comarca de Osona). Hacia las 19:00 empieza la declinación de la brisa de mar y la aparición paulatina de una nueva brisa de tierra. La irregular topografía es la principal causa del complejo comportamiento de los vientos y de la dinámica de los contaminantes en el aire.

La Figura 7.13 indica las concentraciones de O₃ simuladas y observadas entre las 8:00 y 21:00 horas en las estaciones de Vic, Barcelona, Alcover y Manlleu. Los valores obtenidos por modelización describen aceptablemente la tendencia horaria de las concentraciones reales.

La Figura 7.14 indica la posición de las estaciones en el mapa de concentración de O₃ de las 16:00 horas. Alcover se ubica cerca del polígono industrial de Tarragona y presenta los niveles más altos entre las 10:00 y 15:00 horas (111 – 127 µg m⁻³). La concentración punta corresponde a las 14:00 horas (observada 127 µg m⁻³, simulada 117 µg m⁻³). Las estaciones de VIC y Manlleu están relativamente próximas y presentan los niveles más altos de O₃ a las 16:00 horas (observadas 141 y 119 µg m⁻³, respectivamente; simuladas 125 y 134 µg m⁻³). En la estación de Barcelona es valor real más alto corresponde a las 10:00 horas (observado 104 µg m⁻³, simulada 100 µg m⁻³), sin embargo, la máxima concentración del modelo ocurre a las 12:00 horas (139 µg m⁻³) y es 36 % mayor que el valor observado.

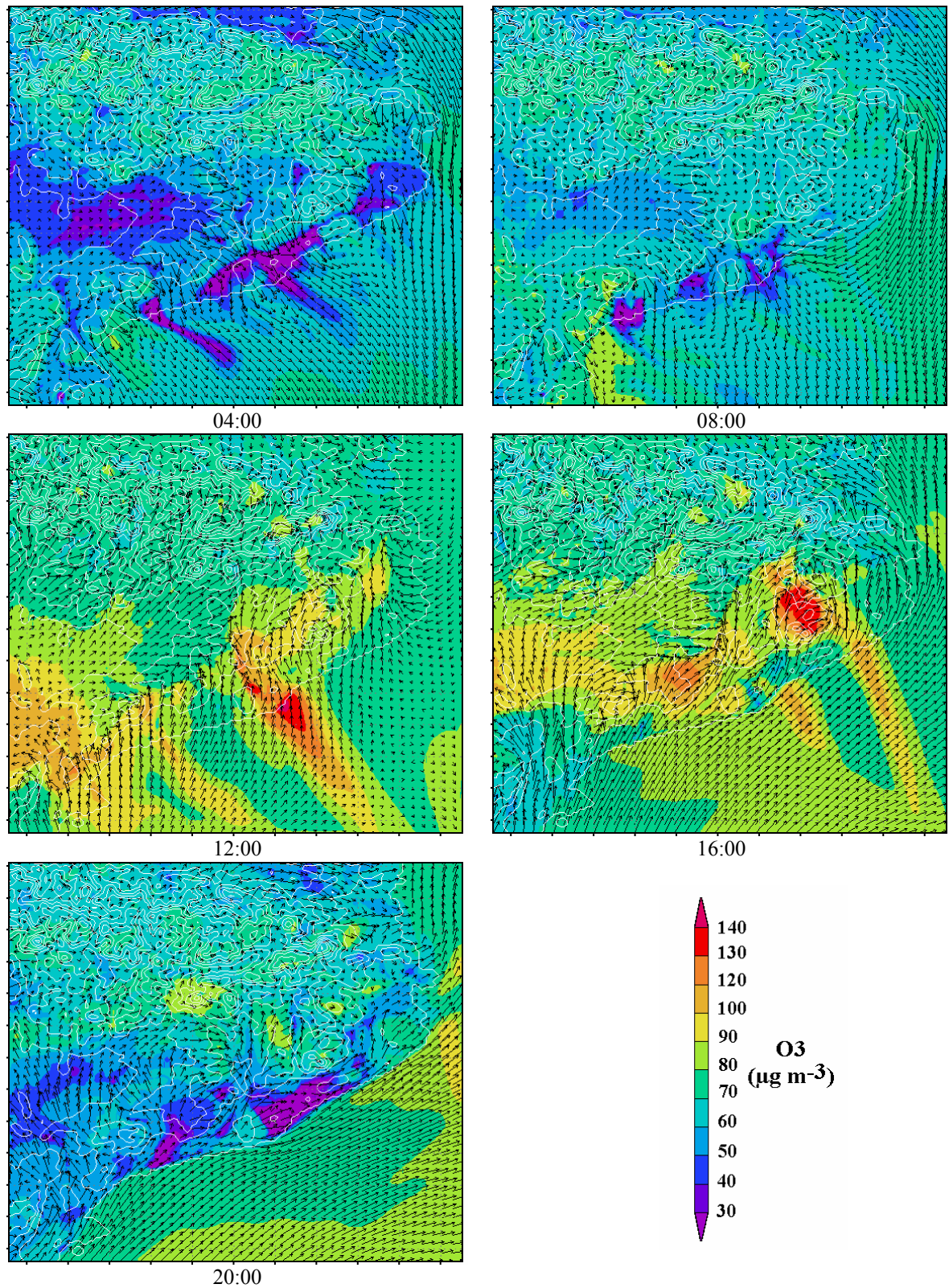


Figura 7.12: Mapas de la concentración de ozono en superficie obtenidos con Models-3 con las emisiones de EMICAT2000 (13 de agosto de 2000).

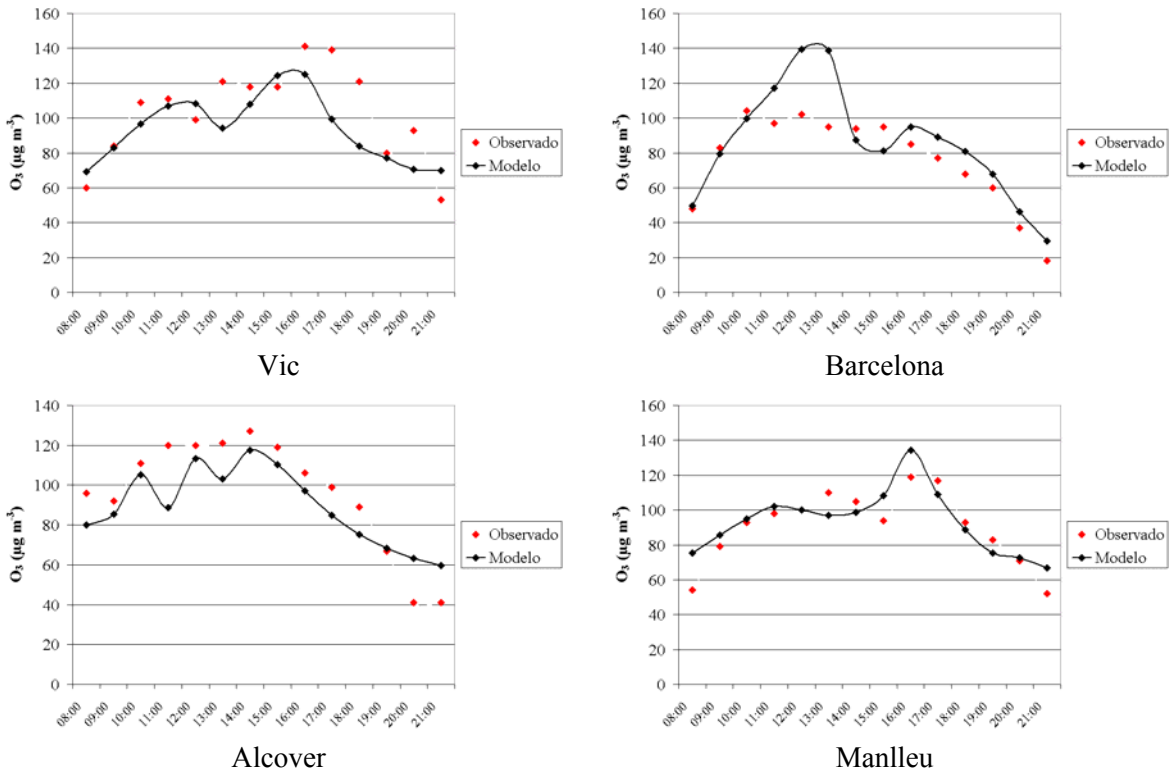


Figura 7.13: Concentraciones de ozono en superficie observados vs. simulados, en las estaciones de Vic, Barcelona, Alcover y Manlleu, durante el 13 de agosto de 2000.

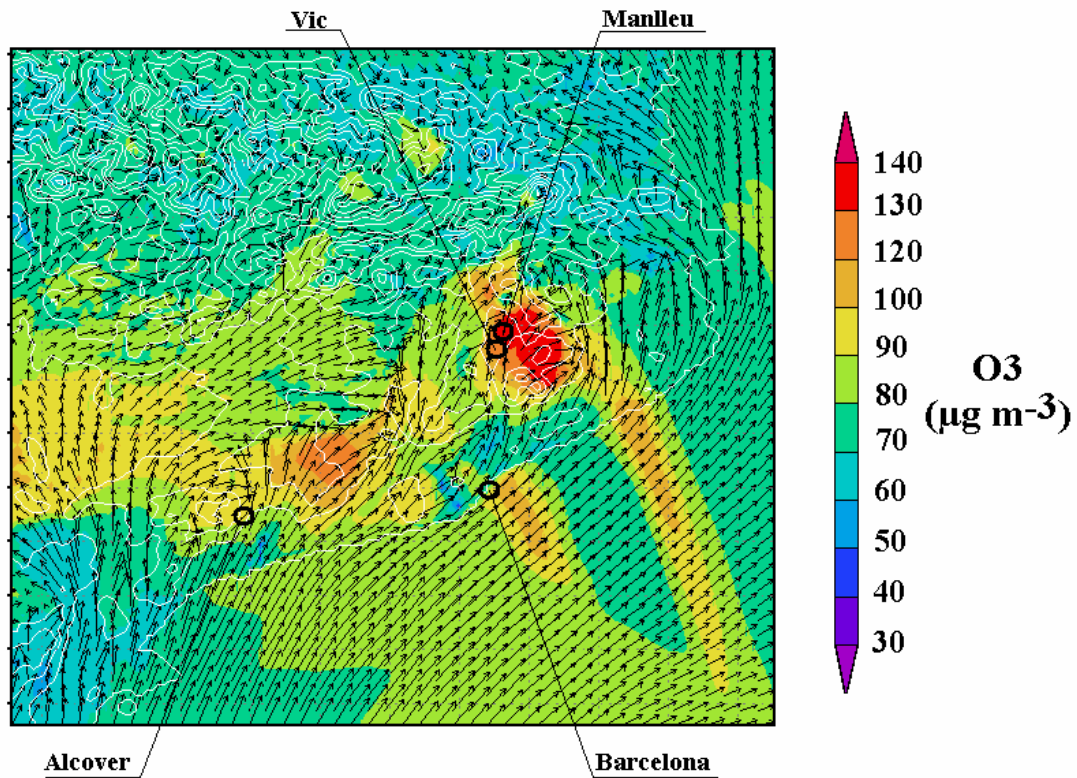


Figura 7.14: Mapa de ozono en superficie a las 16:00 horas del 13 de agosto de 2000 .

La USEPA define ciertos parámetros estadísticos para determinar la bondad de la modelización, incluyendo al *bias* normalizado (B_n), al error relativo normalizado sobre un determinado umbral (E_u) y la exactitud en la predicción punta (E_p) (USEPA, 1991). Estos parámetros se definen mediante las ecuaciones 7.1, 7.2 y 7.3:

$$B_n = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_{m_i} - C_{o_i}}{C_{o_i}} \right] \cdot 100 \quad 7.1$$

$$E_u = \left[\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{|C_{m_i} - C_{o_i}|}{C_{o_i}} \right] \cdot 100 \quad 7.2$$

$$E_p = \frac{C_m - C_{o_{\max}}}{C_{o_{\max}}} \cdot 100 \quad 7.3$$

Siendo:

C_{m_i} : concentración de O_3 del modelo de orden i .

C_{o_i} : concentración observada de orden i .

n : número total de registros en consideración.

m : número total de registros por encima de un determinado umbral (normalmente $120 \mu\text{g m}^{-3}$).

$C_{o_{\max}}$: concentración máxima observada en una determinada estación.

C_m : concentración del modelo que corresponde a $C_{o_{\max}}$.

La USEPA considera aceptable simulaciones que presenten valores de B_n entre 5 – 15 %, 30 – 35 % para E_u y 15 – 20 % para E_p (Hogrefe *et al.*, 2001). Aplicando las ecuaciones a las estaciones de la Figura 7.21, se obtuvieron los siguientes porcentajes:

- $B_n = 0.4 \%$, considerando los pares de valores entre las 8:00 y 21:00 horas en las 4 estaciones.
- $E_u = 19 \%$, para un umbral de $120 \mu\text{g m}^{-3}$.
- $E_p = 11 \%$ para Vic, 8 % para Alcover, 13 % para Manlleu y 4 % para Barcelona.

Con estos criterios de evaluación, la simulación es aceptable. No obstante, se debe indicar la simulación fotoquímica integra la incertidumbre del inventario de emisiones, la meteorología y del modelo de transporte propiamente dicho. Por lo tanto, no puede considerarse como un criterio absoluto para calificar la bondad de las emisiones, aunque dentro de los elementos que participan en un estudio de simulación fotoquímica (modelo meteorológico, modelo de emisiones, modelo de transporte químico), se suele atribuir a las emisiones el mayor nivel de incertidumbre (Russell *and* Dennis, 2000). En el caso de EMICAT2000, este criterio de evaluación de la incertidumbre complementa los procesos de cálculo de las emisiones por sectores, de la integración de resultados y de especiación; presentados en los correspondientes capítulos.

