

Capítulo 3

Emisiones biogénicas de compuestos orgánicos volátiles

3.1 Introducción

La vegetación constituye una fuente muy importante de NMCOV. Las reacciones e interacciones de estos compuestos en la baja troposfera son muy importantes. Su participación en la contaminación por O₃ es un tema de actual investigación en diferentes lugares alrededor del mundo, nombrando como ejemplos: 1) el estudio presentado por Tao *et al.* (2003) para la zona continental de los Estados Unidos, 2) el estudio presentado por Derognat *et al.* (2003) para la zona de Paris, y 3) los resultados presentados por Thunis *and* Cuvilier (2000) para la zona mediterránea.

Los inventarios de emisiones biogénicas de NMCOV, del mismo modo son temas de actual interés, nombrando como ejemplos de los aportes más recientes, los inventarios presentado por: 1) Velasco (2003) para el Valle de México, 2) Wang *et al.*(2003) para Beijing (China), y 3) el inventario desarrollado mediante el uso de observaciones satelitales para la zona este de los Estados Unidos (Xu *et al.*, 2002).

Parte del carbono que asimilan las plantas retorna hacia la atmósfera como NMCOV, que previamente se han producido en los tejidos vegetales mediante diversos procesos fisiológicos. Su emisión se genera principalmente por la difusión, debido a un gradiente de presión de vapor desde los compartimentos celulares con concentraciones relativamente altas hacia el aire circundante de las hojas. Como consecuencia de su alta reactividad y generalmente corto tiempo de vida, las concentraciones en la atmósfera son relativamente bajas.

Incluyen una amplia gama de compuestos: (isopreno, monoterpenos, sesquiterpenos, alcoholes, alcanos, alquenos o carbónilos). En algunas especies vegetales, los NMCOV pueden almacenarse en órganos especializados de las hojas y tallos. En otras, luego de su síntesis se emiten directamente.

Los mecanismos bioquímicos de formación están relacionados con el metabolismo celular de la planta y son bastante complejos (Fall, 1999). La Figura 3.1 indica las principales rutas de emisión foliar: 1) difusión a través de la cutícula de la epidermis de la hoja, 2) conductancia por medio de los estomas, 3) liberación debido a heridas o daño físico, y 4) evaporación desde capas superficiales formadas luego de heridas o daño físico.

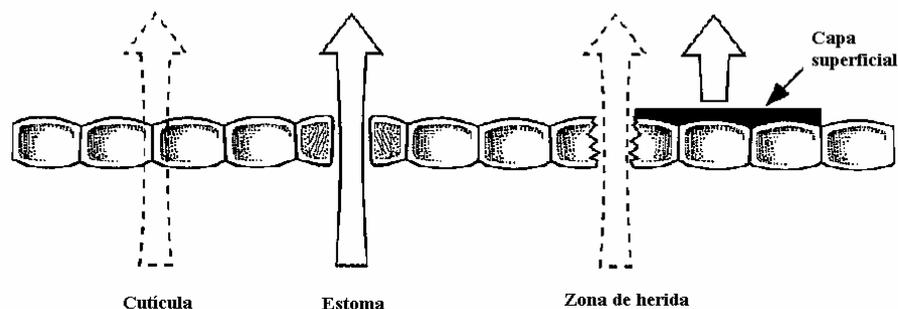


Figura 3.1: Principales rutas de emisión de NMCOV desde la superficie foliar (Fall, 1999).

3.2 Modelo de emisiones

Los NMVOC que provienen de la vegetación, se agrupan en tres categorías, en función de su reactividad (tiempo medio de vida) (Guenther *et al.*, 1995): (1) *isopreno* (1 - 2 h), (2) *monoterpenos* (0.5 - 3 h) y *otros compuestos orgánicos volátiles (OCOV)* (reactivos < 1 d, otros > 1 d).

La Tabla 3.1 presenta una estimación global anual de las emisiones de NMCOV. Un 92, 88 y 77 % de las emisiones de isopreno, monoterpenos y OCOV, respectivamente, se atribuye a la biomasa foliar. Un 8, 10 y 8 % de las emisiones de isopreno, monoterpenos y OCOV, respectivamente, se atribuye al suelo. Un 14 % de las emisiones de OCOV son de origen antropogénico.

Tabla 3.1: Emisión global anual de COV (Tg C) (Guenther, 1999a).

Fuente	Isopreno	Monoterpenos	OCOV
Biomasa foliar	460	115	500
Suelo	40	13	50
Flores	0	2	2
Océanos y cuerpos de agua dulce	1	<0.001	10
Animales, humanos e insectos	0.003	<0.001	0.003
Antropogénicas	0.01	1	93
Total	~ 500	~ 130	~ 650

3.2.1 Isopreno

El isopreno (C₅H₈, ver la Figura 3.2) es sólo uno de los centenares NMCOV biogénicos, emitido por una variedad de plantas tanto de hoja caduca (*deciduous vegetation*) como perenne, cuando están expuestas a la radiación solar. Concretamente la fracción de energía que interviene es la denominada radiación solar fotosintéticamente activa (*Photosynthetically Active Radiation, PAR*). El nivel de las emisiones es mayor cuando aumenta la temperatura, pero sólo hasta cierto valor. Su formación y emisión está directamente relacionada con la fotosíntesis (no hay emisión de isopreno en ausencia de radiación solar), siendo la biomasa foliar con gran diferencia la fuente más importante. Se le atribuye a la emisión de isopreno un potencial rol de protección térmica foliar. La cantidad de isopreno que se almacena en las hojas es despreciable y se considera que su emisión se produce de manera conjunta con su síntesis en los plástidos fotosintéticos (cloroplastos) (Fall, 1999).

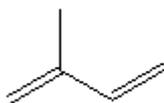


Figura 3.2: Estructura del isopreno

Las emisiones horarias en la celda k se calculan mediante el modelo propuesto por Guenther *et al.* (1993), según la Ecuación 3.1:

$$E_{\text{iso}}(k, \text{horario}) = FE_j^{\text{iso}} \cdot FCA(T, \text{PAR}) \cdot \text{DBF}_j \cdot A \quad 3.1$$

Parámetro:

j: categoría de uso del suelo.

Término:

$E_{\text{iso}}(k, \text{horario})$: emisión horaria de isopreno en la celda k (g h^{-1}).

Datos:

FE_j^{iso} : factor estándar de emisión de isopreno asociado al uso de suelo j asignado a la celda k ($\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$).

$FCA(T, \text{PAR})$: factor de corrección ambiental (adimensional) del factor de emisión, debido a la temperatura T y la PAR.

DBF_j : densidad de biomasa foliar asociada al uso de suelo j (g m^{-2}).

A: área de la celda. Para la resolución adoptada corresponde un único valor de 1 km^2 .

La influencia de la temperatura y de la PAR, se incluye en la Ecuación 3.2:

$$FCA(T, \text{PAR}) = C_T \cdot C_L \quad 3.2$$

Siendo:

C_T : factor de corrección debido a la temperatura T (adimensional).

C_L : factor de corrección debido a la PAR (adimensional).

Estos factores se calculan mediante las ecuaciones 3.3 y 3.4:

$$C_L = \frac{\alpha \cdot C_{L1} \cdot L}{\sqrt{1 + \alpha^2 \cdot L^2}} \quad 3.3$$

$$C_T = \frac{\exp \frac{C_{T1} \cdot (T - T_s)}{R \cdot T_s \cdot T}}{1 + \exp \frac{C_{T2} \cdot (T - T_m)}{R \cdot T_s \cdot T}} \quad 3.4$$

Siendo:

$\alpha =$ 0.002 7 coeficiente empírico.

$C_{L1} =$ 1.066 coeficiente empírico.

$L =$ PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en la celda k.

$C_{T1} =$ 95 000 J mol^{-1} , coeficiente empírico.

$C_{T2} =$ 230 000 J mol^{-1} , coeficiente empírico.

$T_s =$ 303 °K, temperatura de condiciones de referencia.

$T_m =$ 314 °K.

$R =$ 8.314 ($\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$) constante universal de los gases.

$T =$ temperatura en superficie expresada en grados kelvin, registrada en la celda k.

Las emisiones diarias de un día específico se valoran mediante la Ecuación 3.5:

$$\text{Diaria: } E_{\text{iso}}(k, \text{diario}) = \sum_{h=1}^{24} E_{\text{iso}}(k, \text{horario}) \quad 3.5$$

Para el caso de las emisiones mensuales, primeramente se calculan las emisiones de un día medio representativo por mes (ver la sección 3.3), y luego se aplica la Ecuación 3.6:

$$\text{Mensual:} \quad E_{\text{iso}}(\text{k, mensual}) = 30.E_{\text{iso}}(\text{k, diario}) \quad 3.6$$

La emisión anual se obtiene con la Ecuación 3.7:

$$\text{Anual:} \quad E_{\text{iso}}(\text{k, anual}) = \sum_{m=1}^{12} E_{\text{iso}}(\text{k, mensual}) \quad 3.7$$

3.2.1.1 Influencia de la radiación fotosintéticamente activa y de la temperatura

Los factores de emisión se expresan en condiciones de referencia consideradas estándar ($T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ y $\text{PAR} = 1\,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

La Figura 3.3 indica el comportamiento de C_L según la variación de la PAR. Evidentemente, para un valor de $1\,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, C_L es igual a 1. Para valores mayores de la PAR, C_L se vuelve asintótico y no supera 1.1. C_L es igual a cero cuando no hay radiación solar. Para una PAR de $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, C_L es igual a 0.86.

El coeficiente C_T crece hasta un valor máximo de aproximadamente 1.9 para una temperatura de $40 \text{ }^\circ\text{C}$ (ver la Figura 3.4), y luego empieza a descender. Para $0 \text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura, C_T toma un valor muy cercano a cero.

Guenther *et al.* (1993) presentan un análisis de sensibilidad de este modelo. Los valores más altos que considera para la PAR y la temperatura son $2\,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (870 W m^{-2}) y $45 \text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente.

Se han utilizado versiones más desarrolladas de este modelo. Por ejemplo, Geron *et al.* (1994) incluye una atenuación de tipo exponencial de la PAR, a medida que ésta penetra en el dosel. Esta característica se ha incorporado en el programa informático BEIS-3 (*Biogenic Emission Inventory System*), presentado por la EPA como el método preferido del cálculo de las emisiones biogénicas para su uso en modelos de dispersión fotoquímica (USEPA, 2003a).

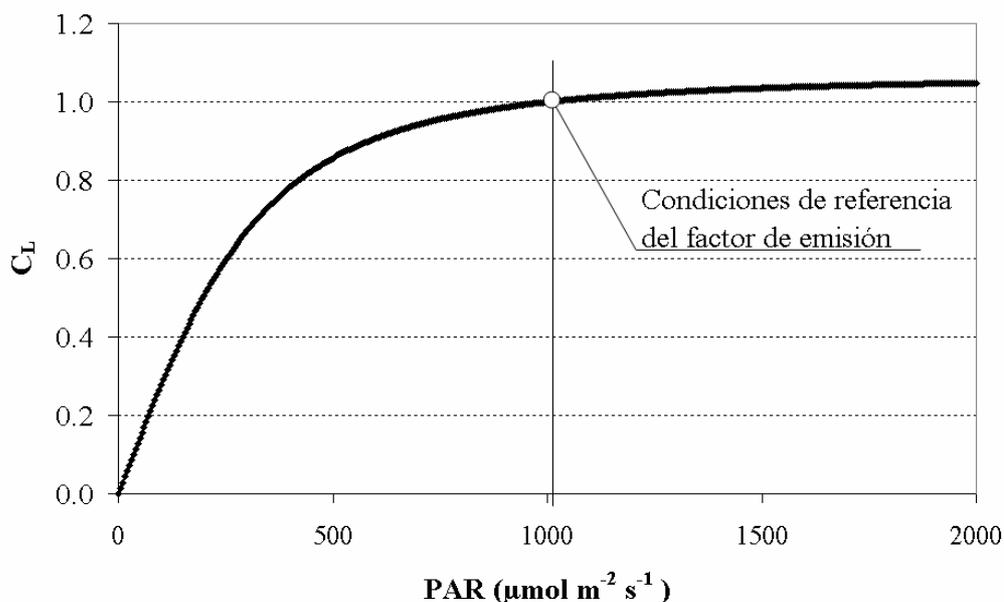


Figura 3.3: Variación del factor de corrección C_L en función de la PAR.

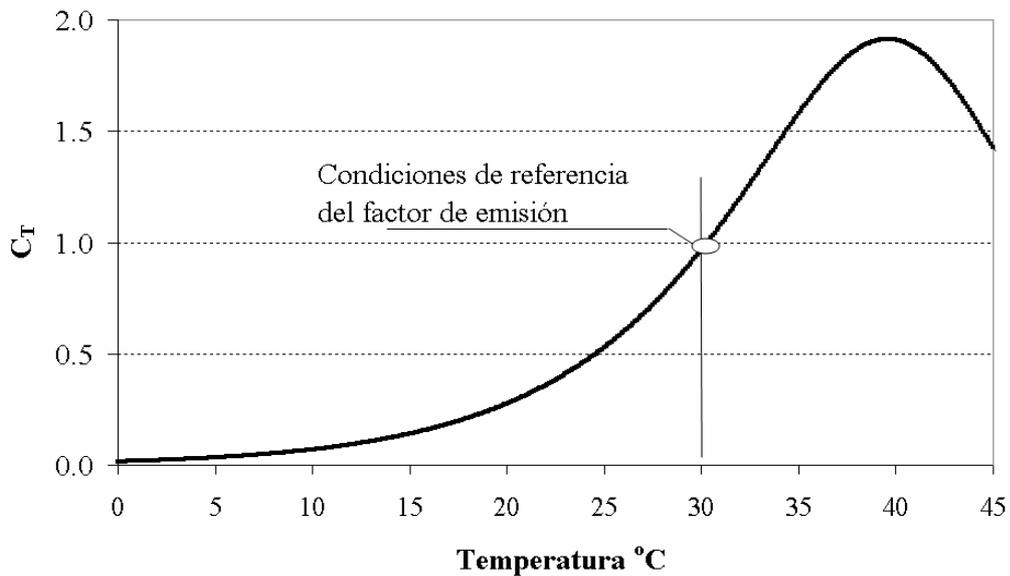


Figura 3.4: Variación del factor de corrección C_T en función de la temperatura

En Guenther *et al.* (1999b, 2000) se utiliza un modelo que incorpora la variación de la densidad de biomasa foliar con el tiempo, la influencia de la edad de las hojas, así como una fracción efectiva de emisión de isopreno hacia la atmósfera y se propone ecuaciones para la valoración de los parámetros α y C_{LI} .

3.2.2 Monoterpenos

Constituye un diverso grupo de compuestos (se conocen más de 1 000 estructuras) formados mediante dos unidades de isopreno. Se le atribuye a su emisión potenciales roles como la protección contra patógenos y herbívoros o la atracción de insectos polinizadores. Su síntesis se produce en plástidos no fotosintéticos, en aquellas plantas capaces de almacenar monoterpenos. Probablemente su síntesis se produce en los cloroplastos en aquellas plantas que no tienen capacidad de almacenar monoterpenos (Fall, 1999). La Figura 3.5 indica la estructura de algunos monoterpenos.

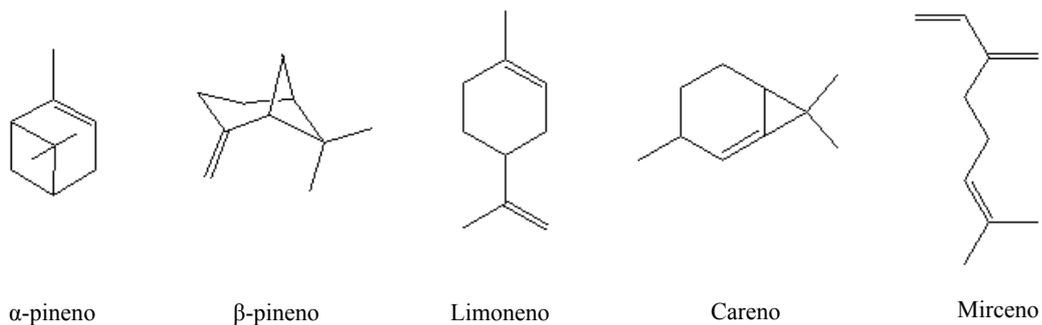


Figura 3.5: Estructura de algunos monoterpenos

Guenther *et al.* (1993), consideran que la emisión de monoterpenos sólo varía con la temperatura. Las emisiones horarias en la celda k se calculan mediante la Ecuación 3.8, que es aplicable para aquellas plantas con capacidad de almacenar monoterpenos:

$$E_{\text{mon}}(k, \text{horario}) = FE_j^{\text{mon}} \cdot M(T) \cdot DBF_j \cdot A \quad 3.8$$

Término:

$E_{\text{mon}}(\text{k, horario})$: emisión horaria de monoterpenos en la celda k (g h^{-1}).

Datos:

FE_j^{mon} : factor estándar de emisión (a 30 °C de temperatura) de monoterpenos asociado al uso de suelo j asignado a la celda k ($\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$).

$M(T)$: factor de corrección ambiental debido a la temperatura.

La mayoría de las especies emisoras disponen de órganos de almacenamiento. Las tasas de emisión se rigen principalmente por la temperatura, y su influencia se describe mediante la Ecuación 3.9:

$$M(T) = \exp(B \cdot (T - T_s)) \quad 3.9$$

Siendo:

$\beta = 0.09$ ($^{\circ}\text{K}^{-1}$), coeficiente empírico.

$T =$ temperatura en superficie expresada en grados kelvin, registrada en la celda k.

$T_s = 303$ °K, temperatura de condiciones de referencia.

Las emisiones diarias, mensuales y anual de monoterpenos se valoran mediante expresiones similares a las adoptadas para el isopreno.

3.2.2.1 Influencia de la temperatura

La Figura 3.6 indica el comportamiento de $M(T)$ en función de la temperatura. Según el modelo utilizado, siempre existe un crecimiento de la capacidad. Cuando la temperatura es igual a cero, M es igual a 0.1; en tanto que hacia los 50 °C, M es igual a 6.

Guenther *et al.* (1993) presentan un análisis de sensibilidad del modelo. El valor más bajo de temperatura que considera es 0 °C, y el más alto 40 °C.

Más adelante se deducirá que la especie vegetal *Quercus ilex* tiene una presencia importante en las categorías de usos del suelo que corresponden al matorral mediterráneo, bosque caducifolio y bosque esclerófilo; en tanto que la especie *Quercus coccifera* es importante en el matorral mediterráneo. Atkinson *and* Arey (1998), y Kesselmeier *et al.* (1998) establecieron que el patrón de emisión de monoterpenos del *Quercus ilex* es análogo al del isopreno; en tanto que Hansen *and* Seufert (1996) determinaron que la emisión de terpenoides del *Quercus coccifera* es cualitativa y cuantitativamente similar a la del *Quercus ilex*. Estas especies, no tienen la capacidad de almacenar monoterpenos y su emisión está relacionada con la fotosíntesis. Por este motivo, para el cálculo de las emisiones de monoterpenos de estas dos especies se utiliza el algoritmo del isopreno.

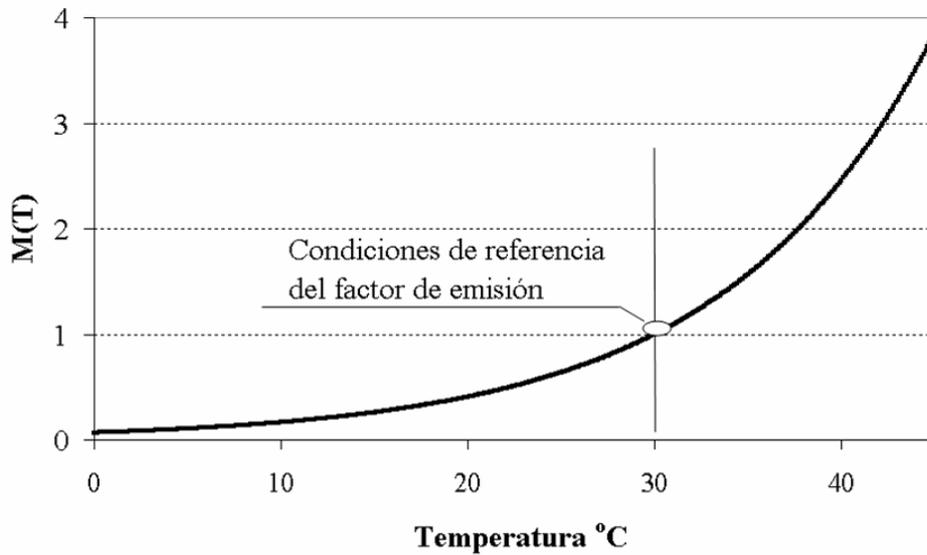


Figura 3.6: Variación del factor de corrección M en función de la temperatura.

3.2.3 Otros compuestos orgánicos volátiles biogénicos (OCOV)

La Figura 3.7 indica la estructura de varios compuestos clasificados dentro de esta categoría. Sus emisiones se valoran según la Ecuación 3.10. El significado de las variables es homólogo al indicado para los monoterpenos.

$$E_{\text{ocov}}(\text{k, horario}) = FE_j^{\text{ocov}} \cdot M(T) \cdot \text{DBF}_j \cdot A \quad 3.10$$

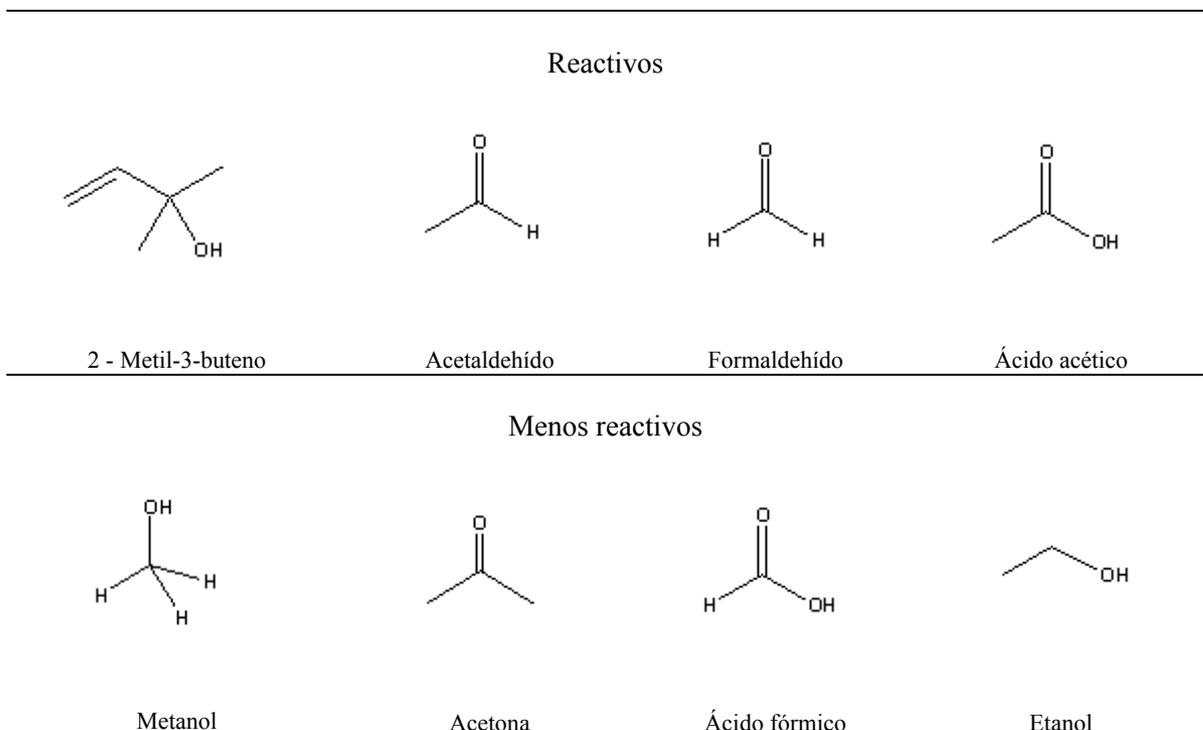


Figura 3.7: Estructura de algunos OCOV.

3.3 Parámetros meteorológicos

3.3.1 Temperatura

EMICAT2000 determina la temperatura horaria para cada celda, partiendo de la información para el año 2000, registrada en 81 estaciones de medida (48 estaciones de la *Xarxa Meteorològica XMET* y 33 de la *Xarxa de Vigilància i Prevenció de la Contaminació Atmosfèrica XVPCA*) que fue facilitada por el *Servei de Meteorologia del Departament de Medi Ambient*.

Todos los registros fueron analizados, a fin de descartar aquellos claramente erróneos. Se asumieron como válidos aquellos registros que variaban dentro del intervalo -10 hasta 50 °C.

Según lo indicado por el *Servei Meteorològic del Departament de Medi Ambient*, los registros de las estaciones XVPCA se almacenaron de acuerdo a la hora peninsular local de España (GMT+1 en invierno, GMT+2 en verano).

Según la Orden del 27 de noviembre de 1997, relativa al cumplimiento de la Directiva 97/44/CE sobre la hora de verano; el 26 de marzo de 2000 se adelantó la hora oficial peninsular en sesenta minutos, y el 29 de octubre de 2000 se retrasó la hora oficial asimismo en sesenta minutos.

A fin de realizar la estimación de las emisiones con referencia a la hora solar, se procedió a modificar los archivos de registro de la temperatura de las estaciones de la red XVPCA, de la siguiente manera:

- ❑ Los registros comprendidos entre el 26 de marzo al 28 de octubre de 2000, se retrasaron dos horas.
- ❑ Los registros comprendidos entre el primero de enero al 25 de marzo de 2000, y entre el 29 de octubre al 31 de diciembre de 2000 se retrasaron una hora.

Las estaciones XMET, de acuerdo a lo indicado por el *Servei Meteorològic de Catalunya*, almacenaron directamente los datos en hora solar.

La Figura 3.8 indica la ubicación de las estaciones. Se considera que tanto para la temperatura y la radiación solar, la cobertura de estaciones es suficiente para la caracterización de estas dos variables meteorológicas.

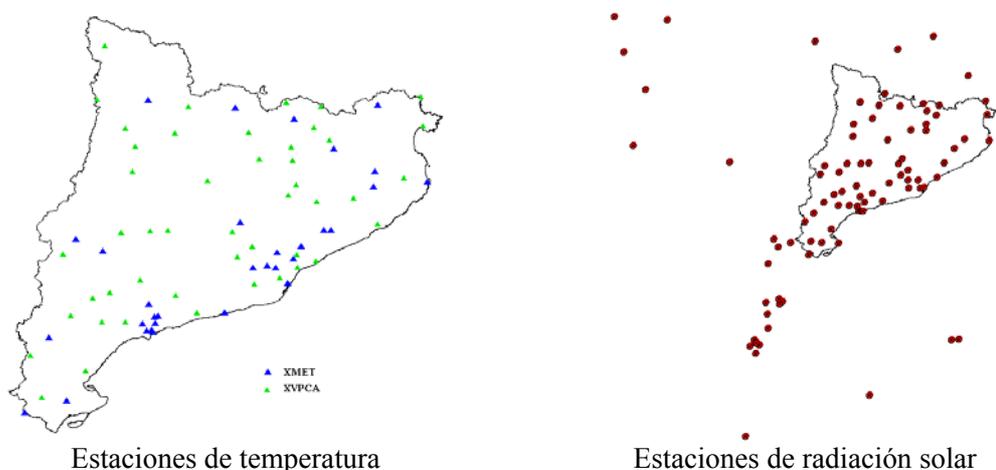


Figura 3.8: Ubicación de las estaciones de temperatura y radiación solar.

La Tabla 3.2 y la Tabla 3.3 indican los porcentajes de disponibilidad de los registros horarios de temperatura validados tanto para las estaciones XVPCA y XMET. De las 33 estaciones XVPCA, 27 tienen coberturas iguales o mayores al 90 %. De las 48 estaciones XMET, 27 tienen coberturas iguales a mayores 98 %. Casi todas las estaciones XMET tienen coberturas mayores al 90 %.

Para analizar el comportamiento de la temperatura durante el año, se procedió a definir un día medio representativo para cada mes, mediante el valor promedio de las lecturas horarias registradas. La Figura 3.9 indica la evolución mensual de la temperatura durante el año 2000. Se aprecia claramente el incremento al pasar desde los meses de invierno hasta verano, y luego el descenso hacia final de año.

Tabla 3.2: Disponibilidad de registros de temperatura horarios validados de las estaciones XVPCA para el año 2000.

	Código	Coordenadas UTM (m)		Comarca	%
		X	Y		
1	A1	352 230	4 561 950	Tarragonès	98
2	A2	349 910	4 561 470	Tarragonès	94
3	A3	350 550	4 557 690	Tarragonès	95
4	A4	344 920	4 553 050	Tarragonès	94
5	A7	348 300	4 553 400	Tarragonès	92
6	A8	402 390	4 620 710	Bages	92
7	A9	410 020	4 592 300	Baix Llobregat	89
8	AA	385 550	4 603 995	Anoia	91
9	AB	301 420	4 610 070	Segrià	85
10	AC	458 130	4 615 580	Vallès Oriental	98
11	AD	425 165	4 601 650	Vallès Occidental	91
12	AE	419 030	4 593 550	Vallès Occidental	94
13	AF	342 340	4 557 430	Baix Camp	93
14	AG	435 220	4 597 850	Vallès Oriental	86
15	AH	485 400	4 651 830	Gironès	82
16	AI	346 550	4 569 635	Alt Camp	94
17	AK	435 340	4 684 930	Ripollès	93
18	AL	487 100	4 693 515	Alt Empordà	97
19	AM	318 080	4 602 500	Garrigues	92
20	AN	431 615	4 582 585	Barcelonès	99
21	AO	346 180	4 696 690	Pallars Sobirà	94
22	AP	295 800	4 509 220	Montsià	98
23	AQ	270 040	4 501 790	Montsià	99
24	AR	453 610	4 615 840	Vallès Oriental	90
25	AS	349 010	4 552 030	Tarragonès	95
26	AT	424 030	4 592 290	Vallès Occidental	93
27	AU	484 155	4 642 240	Gironès	85
28	AV	517 700	4 645 425	Baix Empordà	92
29	AW	392 905	4 564 090	Garraf	94
30	AX	459 740	4 666 140	Garrotxa	85
31	AY	284 950	4 548 580	Terra Alta	98
32	AZ	399 375	4 691 600	Cerdanya	95
33	B1	440 035	4 605 760	Vallès Oriental	90

Los mapas de temperatura se elaboran utilizando como técnica de interpolación, el método *Kriging* con variograma lineal. Este método asume un cambio espacial continuo de las variables, que son descritas matemáticamente con superficies de trazo suave.

En enero, en la mayor parte del territorio se registraron temperaturas medias diarias en el rango 0 – 9 °C. En abril, este rango se incrementó a 9 – 15 °C. Las temperaturas medias más altas se presentan en agosto (rango 21 - 30°C).

Tabla 3.3: Disponibilidad de registros de temperatura horaria validados de las estaciones XMET para el año 2000.

	Código	Coordenadas UTM (m)		Comarca	%
		X	Y		
1	C6	329 550	4 613 900	Pla d'Urgell	93
2	C7	347 160	4 614 670	Urgell	99
3	C8	358 240	4 615 380	Segarra	100
4	C9	280 430	4 510 945	Montsià	99
5	CA	382 830	4 645 815	Solsonès	96
6	CB	433 925	4 667 040	Ripollès	100
7	CC	434 650	4 658 505	Osona	99
8	CD	371 050	4 692 340	Alt Urgell	100
9	CE	400 630	4 598 640	Anoia	95
10	CF	487 020	4 619 290	Selva	96
11	CG	451 920	4 692 045	Ripollès	97
12	CH	317 465	4 557 980	Priorat	97
13	CI	447 670	4 678 875	Ripollès	97
14	CJ	362 365	4 675 345	Alt Urgell	99
15	CK	472 250	4 635 015	Selva	93
16	CL	397 475	4 614 540	Bages	100
17	CM	437 165	4 600 195	Vallès Oriental	66
18	CN	407 400	4 676 020	Berguedà	100
19	CO	293 775	4 600 310	Segrià	95
20	CP	338 040	4 667 310	Pallars Jussà	100
21	CQ	336 560	4 651 360	Noguera	98
22	CR	414 240	4 659 470	Berguedà	98
23	CS	449 295	4 632 955	Osona	96
24	CT	314 400	4 696 605	Alta Ribagorça	99
25	CU	319 415	4 729 940	Val d'Aran	100
26	CV	332 125	4 678 555	Pallars Jussà	97
27	CW	341 175	4 584 350	Conca de Barberà	97
28	CX	436 970	4 643 135	Osona	100
29	CY	431 890	4 636 775	Osona	91
30	CZ	322 550	4 576 550	Priorat	99
31	D1	311 995	4 573 065	Priorat	94
32	D2	409 643	4 605 295	Vallès Occidental	97
33	D3	410 870	4 581 780	Baix Llobregat	97
34	D4	515 145	4 680 035	Alt Empordà	98
35	D5	426 880	4 585 800	Barcelonès	94
36	D6	513 800	4 698 341	Alt Empordà	96
37	D7	298 330	4 562 211	Ribera d'Ebre	98
38	D8	273 617	4 537 378	Terra Alta	99
39	D9	376 056	4 563 930	Baix Penedès	100
40	DA	363 213	4 574 544	Alt Camp	99
41	DB	307 601	4 527 387	Baix Ebre	100
42	DC	457 225	4 671 358	Garrotxa	100
43	DD	448 921	4 595 950	Maresme	99
44	DE	332 088	4 557 993	Baix Camp	98
45	DF	503 023	4 647 475	Baix Empordà	99
46	DG	430 568	4 694 586	Ripollès	95
47	DH	437 623	4 592 059	Barcelonès	98
48	DI	385 148	4 587 906	Alt Penedès	92

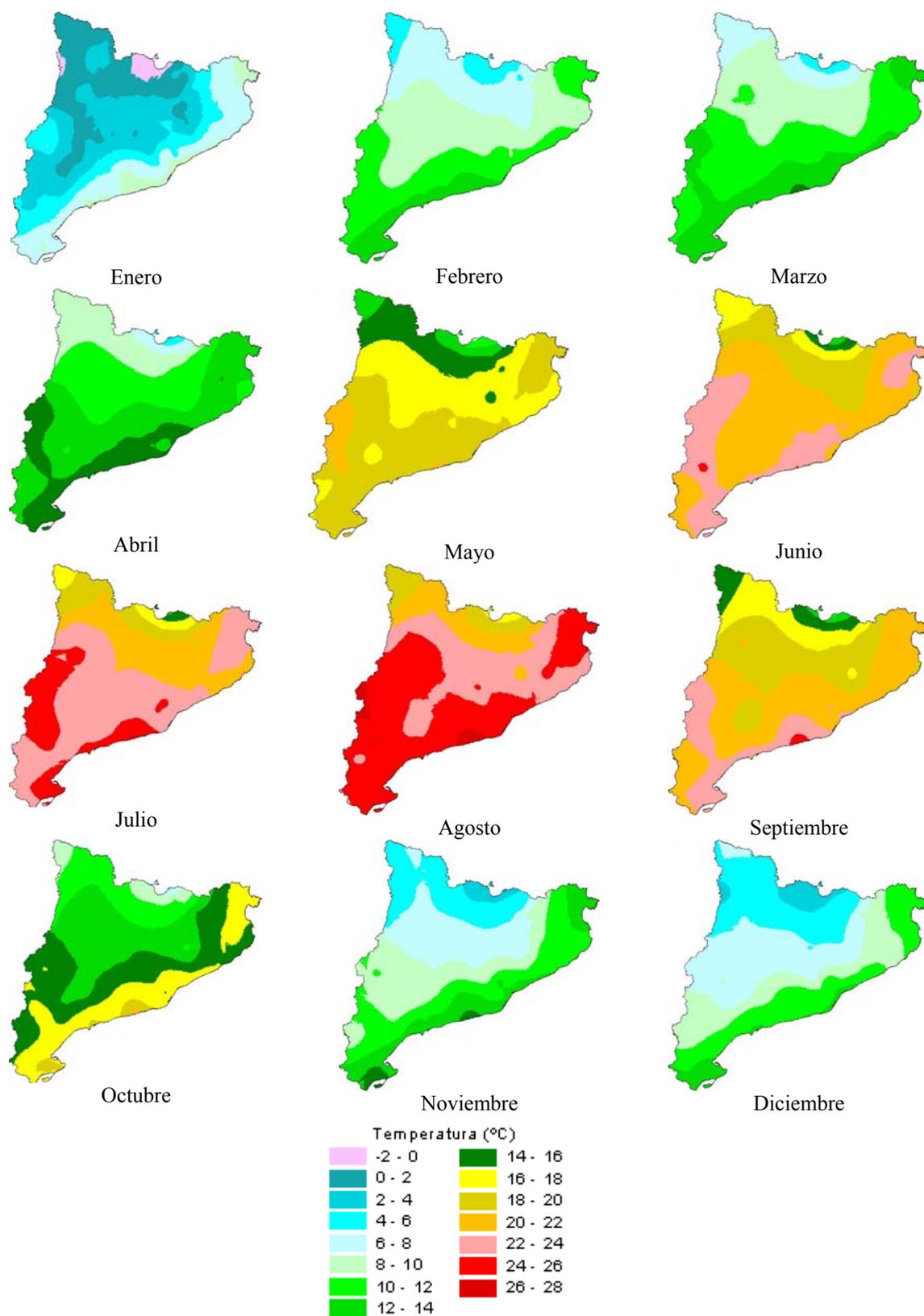


Figura 3.9 : Evolución mensual de la temperatura en Cataluña durante el año 2000.

3.3.2 Radiación solar

La PAR corresponde a la radiación dentro del rango de longitud de onda 400 – 700 nm, y representa entre el 45 – 50 % de la radiación global total registrada en superficie (EEA, 2001).

Normalmente la radiación solar se registra $W m^{-2}$. Para obtener el factor de corrección C_L (ver la Ecuación 3.1), previamente el valor de la PAR deben expresarse en $\mu mol m^{-2} s^{-1}$. Para ello se considera que $1 W m^{-2}$ equivale a $4.6 \mu mol m^{-2} s^{-1}$. Esta equivalencia se utiliza en el algoritmo de cálculo de las emisiones biogénicas del programa informático BIOME3 (USEPA, 2003a). La PAR se obtiene como el 50 % de la radiación solar global.

Los mapas de radiación solar global se deducen en base a la información registrada para el año 2000, en 88 estaciones de las redes XVPCA (15), XMET (36), *Xarxa de Mesura de la Irradiància Solar* del *Institut Català d'Energia (ICAEN, 6)*, Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (*CEAM, 16*), *Ministeri d'Economia - Govern d'Andorra (AND, 1)*, Instituto Nacional de Meteorología (*INM, 10*) y Meteo France (*MF, 4*).

Los registros fueron validados durante la elaboración del nuevo Atlas de radiación solar de Cataluña, que actualmente desarrolla el Laboratorio de Modelización Ambiental de la *Universitat Politècnica de Catalunya*.

La Tabla 3.4 indica los porcentajes de registros disponibles para las estaciones XVPCA y XMET. La Tabla 3.5 indica los porcentajes para las estaciones ICAEN, CEAM, AND, INM y MF. Para el 60 % de las estaciones hay coberturas iguales o mayores al 90 %. El 20 % de las estaciones tienen coberturas entre el 50 y el 90 %.

Para analizar el comportamiento de la radiación solar durante el año, se procedió a definir un día medio representativo por mes, calculando los valores medios de los registros horarios. La Figura 3.10 indica la evolución de la radiación solar durante el año 2000.

Se aprecia claramente el incremento al pasar desde los meses de invierno a verano, y luego el descenso hacia final de año. En enero, para la mayor parte del territorio corresponden valores entre $4 - 10 MJ m^{-2} d^{-1}$ ($46 - 116 W m^{-2}$). En abril, el rango se incrementa a $16 - 19 MJ m^{-2} d^{-1}$ ($186 - 220 W m^{-2}$). Los mayores valores medios de la radiación solar global se registraron en junio (rango $23 - 26 MJ m^{-2} d^{-1}$, $267 - 301 W m^{-2}$).

Tabla 3.4: Disponibilidad de registros de radiación solar global horaria validados para el año 2000 (%) de las estaciones XVPCA y XMET.

	Código	Red	Coordenadas UTM (m)		Comarca	%
			X	Y		
1	DMA_A1	XVPCA	352 230	4 561 950	Tarragonès	98
2	DMA_A4	XVPCA	344 920	4 553 050	Tarragonès	94
3	DMA_A9	XVPCA	410 020	4 592 300	Baix Llobregat	89
4	DMA_AC	XVPCA	458 130	4 615 580	Vallès Oriental	98
5	DMA_AF	XVPCA	342 340	4 557 430	Baix Camp	92
6	DMA_AI	XVPCA	346 550	4 569 635	Alt Camp	94
7	DMA_AK	XVPCA	435 340	4 684 930	Ripollès	93
8	DMA_AM	XVPCA	318 080	4 602 500	Garrigues	93
9	DMA_AN	XVPCA	431 615	4 582 585	Barcelonès	99
10	DMA_AO	XVPCA	346 180	4 696 690	Pallars Sobirà	94
11	DMA_AP	XVPCA	295 800	4 509 220	Montsià	76
12	DMA_AT	XVPCA	424 030	4 592 290	Vallès Occidental	92
13	DMA_AV	XVPCA	517 700	4 645 425	Baix Empordà	92
14	DMA_AY	XVPCA	284 950	4 548 580	Terra Alta	98
15	DMA_AZ	XVPCA	399 375	4 691 600	Cerdanya	95
16	DMA_C6	XMET	329 550	4 613 900	Pla d'Urgell	93
17	DMA_C7	XMET	347 160	4 614 670	Urgell	99
18	DMA_C8	XMET	358 240	4 615 380	Segarra	96
19	DMA_C9	XMET	280 430	4 510 945	Montsià	72
20	DMA_CA	XMET	382 830	4 645 815	Solsonès	95
21	DMA_CB	XMET	433 925	4 667 040	Ripollès	57
22	DMA_CC	XMET	434 650	4 658 505	Osona	96
23	DMA_CD	XMET	371 050	4 692 340	Alt Urgell	65
24	DMA_CE	XMET	400 630	4 598 640	Anoia	90
25	DMA_CG	XMET	451 920	4 692 045	Ripollès	86
26	DMA_CH	XMET	317 465	4 557 980	Priorat	92
27	DMA_CI	XMET	447 670	4 678 875	Ripollès	95
28	DMA_CJ	XMET	362 365	4 675 345	Alt Urgell	93
29	DMA_CK	XMET	472 250	4 635 015	Selva	93
30	DMA_CL	XMET	397 475	4 614 540	Bages	100
31	DMA_CO	XMET	293 775	4 600 310	Segrià	95
32	DMA_CP	XMET	338 040	4 667 310	Pallars Jussà	100
33	DMA_CQ	XMET	336 560	4 651 360	Noguera	42
34	DMA_CR	XMET	414 240	4 659 470	Berguedà	96
35	DMA_CW	XMET	341 175	4 584 350	Conca de Barberà	37
36	DMA_CZ	XMET	322 550	4 576 550	Priorat	99
37	DMA_D1	XMET	311 995	4 573 065	Priorat	94
38	DMA_D2	XMET	409 643	4 605 295	Vallès Occidental	92
39	DMA_D3	XMET	410 870	4 581 780	Baix Llobregat	97
40	DMA_D4	XMET	515 145	4 680 035	Alt Empordà	39
41	DMA_D6	XMET	513 800	4 698 341	Alt Empordà	12
42	DMA_D7	XMET	298 330	4 562 211	Ribera d'Ebre	72
43	DMA_D8	XMET	273 617	4 537 378	Terra Alta	53
44	DMA_D9	XMET	376 056	4 563 930	Baix Penedès	100
45	DMA_DA	XMET	363 213	4 574 544	Alt Camp	48
46	DMA_DB	XMET	307 601	4 527 387	Baix Ebre	72
47	DMA_DD	XMET	448 921	4 595 950	Maresme	72
48	DMA_DE	XMET	332 088	4 557 993	Baix Camp	79

Tabla 3.5: Disponibilidad de registros de radiación solar global horaria validados para el año 2000 (%) de las estaciones XMET, ICAEN, CEAM, AND, INM y MF.

	Código	Red	Coordenadas UTM (m)		Comarca/ Provincia	%
			X	Y		
49	DMA_DG	XMET	430 568	4 694 586	Ripollès	28
50	DMA_DI	XMET	385 148	4 587 906	Alt Penedès	63
51	DMA_DL	XMET	317 142	4 508 730	Montsià	98
52	BARCEL	ICAEN	426 006	4 581 998	Barcelonès	78
53	GIRONA	ICAEN	484 879	4 646 677	Gironès	99
54	LLEIDA	ICAEN	299 376	4 611 036	Segrià	44
55	MANRES	ICAEN	402 654	4 621 261	Bages	64
56	SORT__	ICAEN	346 055	4 696 841	Pallars Sobirà	76
57	TARRAG	ICAEN	350 023	4 551 617	Tarragonès	8
58	CORACH	CEAM	253 620	4 508 651	País Valencià	93
59	MORELL	CEAM	238 528	4 503 186	País Valencià	97
60	VILAFR	CEAM	224 491	4 481 151	País Valencià	93
61	ZORITA	CEAM	232 337	4 514 221	País Valencià	97
62	SJORDI	CEAM	277 642	4 492 848	País Valencià	99
63	ELGRAU	CEAM	244 674	4 430 415	País Valencià	91
64	ERMITA	CEAM	240 634	4 427 627	País Valencià	94
65	PENYET	CEAM	239 088	4 433 886	País Valencià	94
66	ONDA__	CEAM	222 370	4 428 762	País Valencià	99
67	PISTA_	CEAM	208 995	4 360 550	País Valencià	91
68	BURJAS	CEAM	206 712	4 378 595	País Valencià	86
69	TORREN	CEAM	200 357	4 369 959	País Valencià	56
70	ALARNF	CEAM	194 673	4 249 913	País Valencià	98
71	NATZAR	CEAM	213 154	4 372 095	País Valencià	51
72	VDUIXO	CEAM	223 499	4 413 405	País Valencià	26
73	PSAGUN	CEAM	224 511	4 394 768	País Valencià	100
74	ANDORR	AND	379 505	4 707 715	Andorra	100
75	SANSEB	INM	91 287	4 807 450	País Basc	86
76	BILBAO	INM	20 872	4 810 961	País Basc	75
77	SORIA_	INM	45 489	4 638 456	Castella-Lleó	64
78	VALENC	INM	209 176	4 375 578	País Valencià	100
79	VITAER	INM	32 572	4 763 933	País basc	75
80	AGONCI	INM	61 561	4 713 835	La rioja	84
81	ARGUAL	INM	173 926	4 615 961	Aragó	77
82	PALMA_	INM	478 010	4 379 806	Illes Balears	53
83	EIVISS	INM	358 603	4 304 573	Illes Balears	64
84	PALCMT	INM	467 868	4 378 621	Illes Balears	42
85	ARVIGN	MF	396 439	4 767 978	França	96
86	CARCAS	MF	444 087	4 784 822	França	100
87	CAMPIS	MF	286 472	4 778 497	França	98
88	PERPIG	MF	489 768	4 732 035	França	100

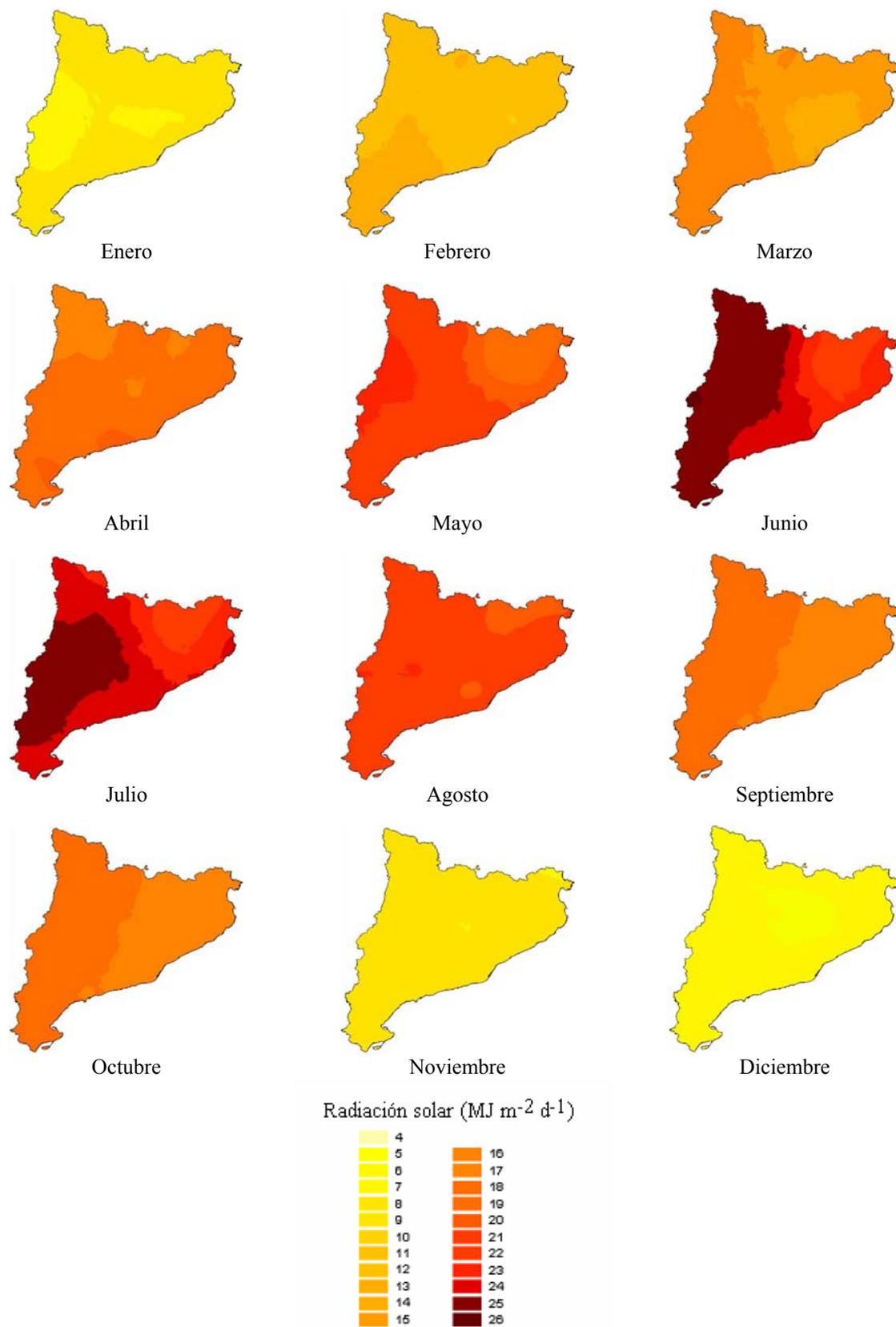


Figura 3.10: Evolución mensual de la radiación solar media diaria en Cataluña durante el año 2000.

3.4 Mapa de usos del suelo

3.4.1 Los mapas de Departament de Medi Ambient

El *Departament de Medi Ambient (DMA)*, dispone de mapas digitales de los usos del suelo para los años 1987, 1992 y 1997. Estos mapas están estructurados en formato raster en celdas de 30 x 30 m, obtenidos mediante el tratamiento de datos multitemporales captados por el sensor Thematic Mapper (TM) del satélite LandSat. Se diferencian 22 categorías (Ver la Figura 3.11).

Para efectos comparativos, mediante un análisis de la información digital, se obtuvo el porcentaje de cobertura de cada uso del suelo durante estos tres años. Los resultados se presentan en la Tabla 3.6.

En el año 1997, las categorías más importantes en cuanto a cobertura corresponden al uso 15 (bosques y prados (matorrales), 26.1%), uso 18 (bosques de coníferas, 19.1%), uso 9 (cosechas herbáceas de secano, 15.1%), uso 11 (frutales de secano, 7.1%), uso 16 (bosque de esclerófilas, 6.5%), uso 10 (cosechas herbáceas de regadío, 5.9%) y uso 17 (bosque de caducifolias, 5.1%).

La Tabla 3.6 también incluye el porcentaje de variación de cobertura al pasar del año 1987 y 1997. De esta información se destaca el incremento en un 250 % para el uso 5 (infraestructura viaria), de un 120 % para el uso 6 (urbanizaciones), de un 34 % para el uso 8 (zonas industriales y comerciales), de un 14 % para el uso 17 (bosque de caducifolias) y de un 9 % para el uso 13 (viñedos). De igual manera, se resalta el descenso en un 60 % para el uso 4 (nieves perpetuas) y de un 20% para los usos 19 (vegetación de zonas húmedas) y 22 (arenas y playas).

Entre estos mapas hay una variación importante de las zonas afectadas por los incendios forestales. En el año 1987, las zonas quemadas representaron el 1% del territorio, que se emplaza principalmente en las comarcas de Anoia, Alt Camp, Alt Penedès y Baix Penedès y Priorat. En el año 1992 este porcentaje representó un 0.2 % (pequeñas zonas principalmente de las comarcas del Priorat y Baix Penedès). En el año 1997 este porcentaje fue igual a un 0.6 % cubriendo zonas especialmente en las comarcas de Solsonès, Segarra y Bagès.

Las zonas quemadas en el mapa de 1987, aparecen como matorrales en el mapa de 1992. Una zona de la parte central de Cataluña en 1992 que aparece como bosque de coníferas, en el mapa de 1997 corresponde a matorrales. Posiblemente en esta zona hubieron incendios forestales entre 1992 y 1997.

El mapa del 1992 fue utilizado por O. Gómez, en la estimación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles de Catalunya (Gómez, 1998).

3.4.2 El mapa de usos del suelo desarrollado por el CREAM

El *Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF)* elaboró el *Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya MCSC* diferenciando 21 categorías, a partir de la fotointerpretación y digitalización en pantalla de ordenador de la información base de los ortomapas de escala 1:25 000 (en color natural) del *l'Institut Cartogràfic de Catalunya*, serie 1993. Se obtuvieron hojas en formato digital, tanto vectorial y raster (resolución planimétrica de 2 m por píxel), que cubren aproximadamente 125 km² cada una.

En la etapa de selección del mapa de usos del suelo, desde la página Web del CREAM se podía obtener los mapas para un 60 % de Cataluña, faltando la información para algunos sectores de Lleida y Tarragona.

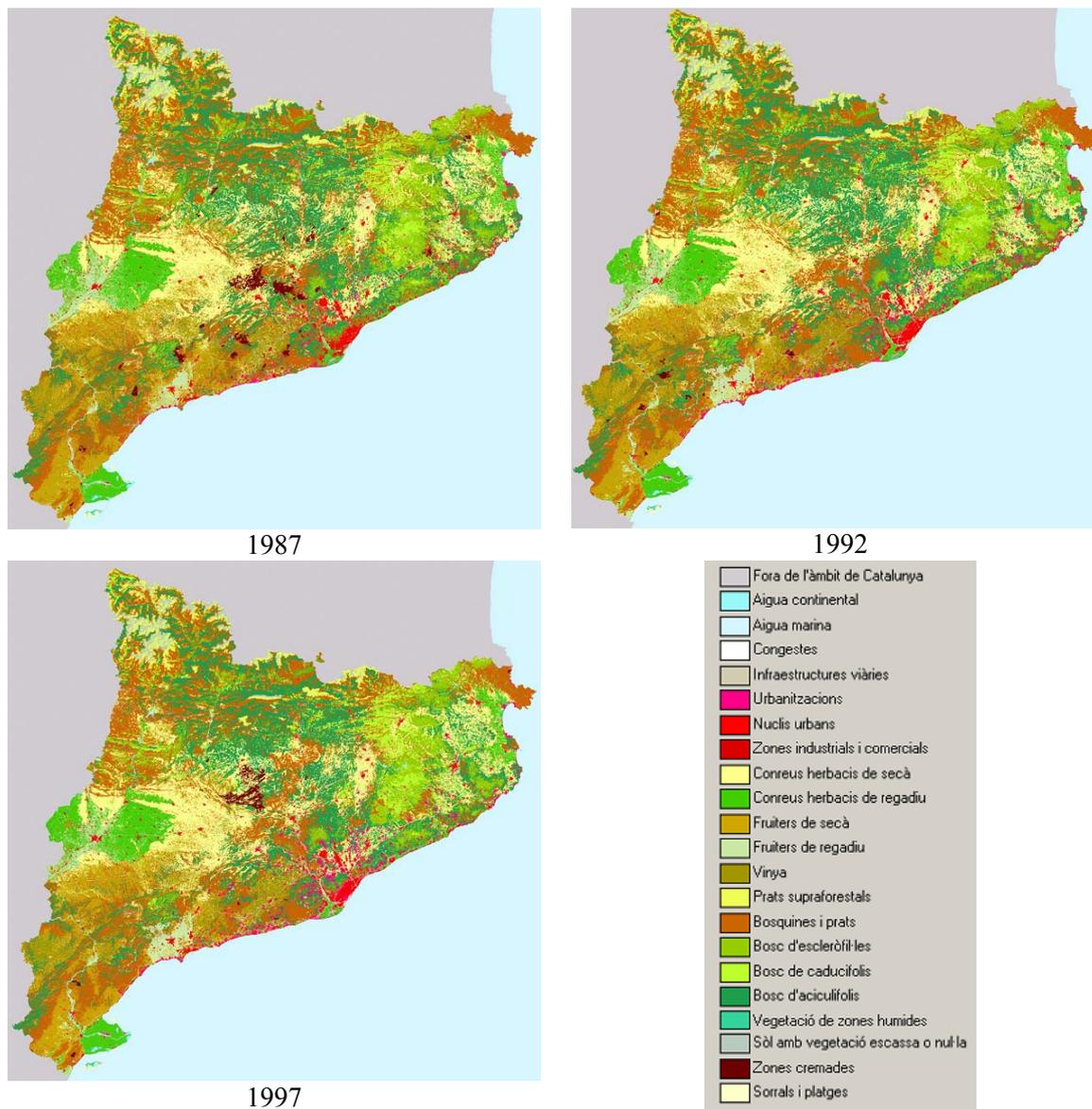


Figura 3.11: Mapas de usos del suelo de Cataluña para los años 1987, 1992 y 1997 (DMA, 2003).

En virtud del nivel de detalle y validación, se debe esperar que este mapa de usos del suelo sea el de mejor calidad. Sin embargo, las imágenes de base llevan un retraso de 10 años. Se conoce que actualmente el CREAM está elaborando un mapa de cubiertas del suelo para el año 2000.

3.4.3 La información de la base de datos NATLAN

La Agencia Europea Ambiental (*European Environment Agency, EEA*) desarrolló la primera versión del paquete de información NATLAN (*NATure/LANd Cover information package*), denominado NATLAN 2000, con el objetivo de difundir y facilitar el uso de información georeferenciada a nivel europeo.

El mapa de usos del suelo de NATLAN 2000 (*CORINE land cover database, Version 6/1999*), utiliza de 44 clases, con una resolución espacial en celdas cuadradas de 250 m de lado, en proyección Lambert Azimutal. Esta información se divulga como información de tipo experimental que requiere un proceso de verificación y validación.

Tabla 3.6: Porcentajes de cobertura por tipo de uso en Cataluña durante los años 1987, 1992 y 1997.

Código	Usos del suelo	1987	1992	1997	Variación porcentual 1987 - 1997
2	<i>Aigua continental</i>	0.55	0.42	0.46	-17
4	<i>Congestes de neu</i>	0.02	0.01	0.01	-58
5	<i>Infraestructures viàries</i>	0.22	0.40	0.76	245
6	<i>Urbanitzacions</i>	0.84	1.24	1.84	118
7	<i>Nuclis urbans</i>	1.18	1.34	1.20	2
8	<i>Zones industrials i comercials</i>	0.49	0.63	0.65	32
9	<i>Conreus herbacis de secà</i>	15.36	15.82	15.04	-2
10	<i>Conreus herbacis de regadiu</i>	5.62	5.73	5.89	5
11	<i>Fruiters de secà</i>	8.39	7.76	7.08	-16
12	<i>Fruiters de regadiu</i>	2.45	2.74	2.26	-8
13	<i>Vinya</i>	2.28	2.40	2.45	7
14	<i>Prats supraforestals</i>	2.24	2.24	2.17	-3
15	<i>Bosquines i prats</i>	26.12	25.30	26.07	0
16	<i>Bosc d'escleròfil·les</i>	6.36	6.58	6.48	2
17	<i>Bosc de caducifolis</i>	4.56	4.53	5.09	12
18	<i>Bosc d'aciculifolis</i>	19.15	19.97	19.04	-1
19	<i>Vegetació de zones humides</i>	0.14	0.12	0.11	-21
20	<i>Sòl amb vegetació escassa o nul·la</i>	2.86	2.49	2.69	-6
21	<i>Zones cremades</i>	0.99	0.15	0.58	-42
22	<i>Sorrals i platges</i>	0.16	0.14	0.13	-22

Al disponer de información para el territorio europeo, la base de datos NATLAN puede proporcionar la información para definir las condiciones de contorno de las emisiones, dentro de un estudio de contaminación fotoquímica mesoescalar. La Figura 3.12 indica una parte del mapa de usos de suelo NATLAN, para una zona rectangular que incluye a Cataluña.

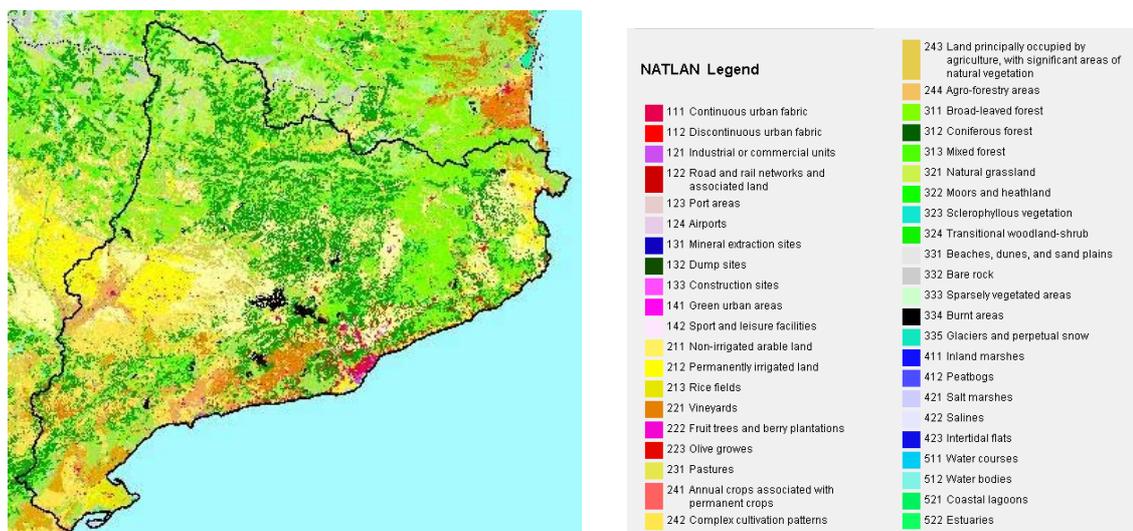


Figura 3.12: Mapa de usos del suelo para Cataluña y zonas adyacentes, obtenido de la base de datos NATLAN 2000. Fuente: EEA, 2000.

Si se compara el mapa de la Figura 3.12 con el mapa de 1987 (ver la Figura 3.11), se observa una correspondencia importante entre las zonas quemadas. Se podría esperar que el mapa obtenido de NATLAN 2000, para el caso de Cataluña, en realidad incluye la información para del año 1987.

Por ser el más reciente y completo, se decidió utilizar el mapa del año 1997 del DMA, y se procedió a su adaptación a una resolución espacial de 1 km (Figura 3.13). Se asignó a cada celda un sólo código de uso, que corresponde al código que más se repite en las celdas de 0.03 km de lado que se agrupan dentro de las celdas de 1 km. También se asumió, que para el año 2000, el área que corresponde a incendios forestales en el año 1997 forma parte del matorral mediterráneo. De esta manera, los usos más importantes por cobertura superficial ($\geq 5\%$), en orden decreciente son:

- ❑ Matorral mediterráneo (*Bosquines i prats*), cobertura del 27 %, código 15.
- ❑ Bosque de coníferas (*Bosc d'aciculifolis*), cobertura del 19 %, código 18.
- ❑ Cultivos herbáceas de secano (*Conreus herbacis de secà*), cobertura del 15 %, código 9.
- ❑ Frutales de secano (*Fruiters de secà*), cobertura del 7 %, código 11.
- ❑ Bosque esclerófilo (*Bosc d'escleròfil·les*), cobertura del 6.5 %, código 16.
- ❑ Bosque caducifolio (*bosc de caducifolis*), cobertura del 5 %, código 17.

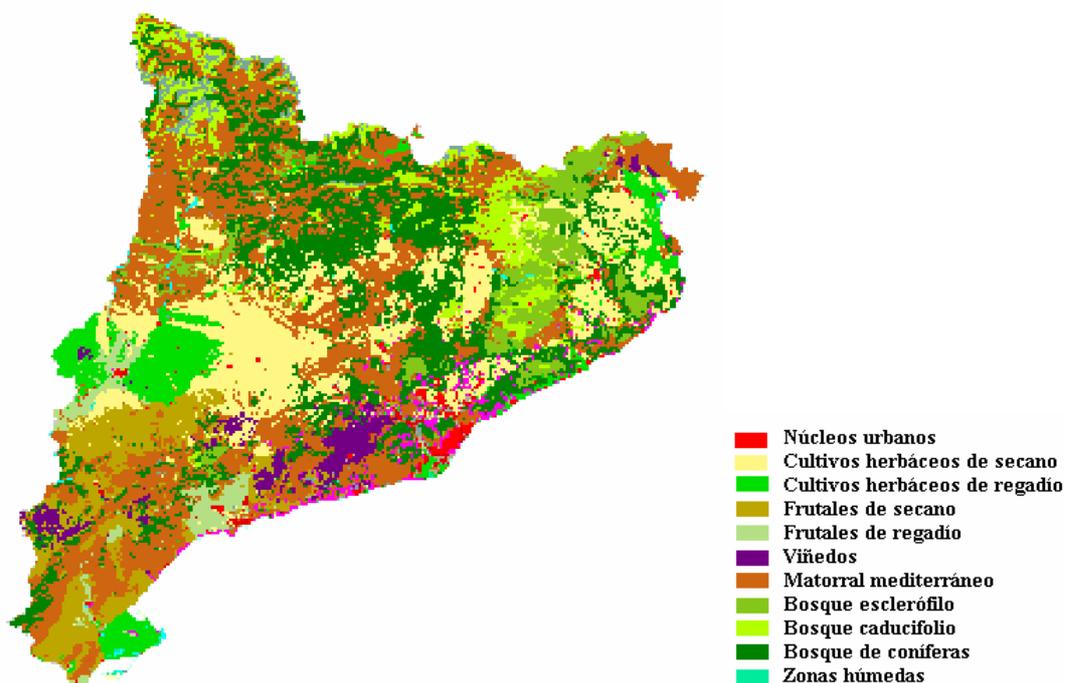


Figura 3.13 : Mapa de usos del suelo de Cataluña del año 1997 con resolución espacial en celdas de 1 km de lado.

3.5 Asignación de especies vegetales por categoría de uso de suelo

Para caracterizar la capacidad emisora de cada tipo de suelo, previamente se analizó la composición vegetal de cada categoría, según las especies más importantes que las conforman.

3.5.1 Información histórica

La memoria del *Institut Cartogràfic de Catalunya* (ICC) sobre la elaboración del mapa de 1997, con respecto a la composición vegetal incluye la información indicada en la Tabla 3.7 (Fuente: Sra. Diana Agostini, *Subunitat de Sistemes d'Informació Geogràfica*, comunicación personal). Hay solamente una identificación general de especies vegetales por categoría.

Viñas and Baulies (1995) indican el procedimiento seguido por el ICC en la elaboración del mapa del año 1987 del DMA. Las categorías son similares a las del año 1997. La Tabla 3.8 indica la lista de especies vegetales asignadas (el código corresponde al mapa del año 1997), y se observa que solamente para: (1) el bosque de esclerófilas (*Sclerophyllous forest*), (2) bosque de caducifolias (*deciduous forest*) y (3) bosques de coníferas (*Coniferous forest*); se asoció un grupo de especies vegetales según su nombre científico. En las otras categorías, las especies se identificaron de manera general.

La Tabla 3.9 indica la composición considerada por Gómez (1998); quién, como resultado de la consulta en fuentes bibliográficas, incluyó un mayor número de especies. Sin embargo no utilizó información cuantitativa sobre el dominio de especies; y determinó los factores de emisión de cada tipo de suelo, como el promedio de los factores de las especies vegetales que asignó a cada categoría.

Tabla 3.7: Conformación de las categorías del mapa de usos del suelo de Cataluña para el año 1997 (*Departament de Medi Ambient*).

<i>Codi</i>	<i>Categoria</i>	<i>Conformació</i>
5	<i>Infraestructuras viaries</i>	<i>Autopistes, ports, aeroports i grans estacions de ferrocarril</i>
9	<i>Conreus herbacis de secà</i>	<i>Camps de cereals i farratges</i>
10	<i>Conreus herbacis de regadiu</i>	<i>Camps irrigats de cereals i farratges, horta i prats de dall irrigats</i>
11	<i>Fruiters de secà</i>	<i>Oliveres, ametllers, avellaners i garrofers</i>
12	<i>Fruiters de regadiu</i>	<i>Pereres, pomeres, presseguers, avellaners, cirerers i cítrics</i>
15	<i>Bosquines i prats</i>	<i>Màquies, garrigues, brolles, landes, matollars i altres comunitats arbustives, prats i pastures montanes, conreus abandonats i situacions de trànsit entre bosc i matollar</i>
16	<i>Boscós d'esclerofil·les</i>	<i>Alzinars i suredes</i>
17	<i>Boscós de caducifolis</i>	<i>Rouredes, fagedes, bedollars, castanyedes, avellanoses, freixenedes, omedes, albereres, pollancredes, vernedes i salzedes</i>
18	<i>Boscós d'aciculifolis</i>	<i>Pinedes i avetoses</i>
14	<i>Prats supraforestals</i>	<i>Prats alpins i de l'estatge subalpi superior</i>
21	<i>Incendis forestals</i>	<i>Àrees forestals > 50 ha cremades els anys 1997 i 1998</i>
19	<i>Vegetació de zones humides</i>	<i>Canyissars, salicornars i jonqueres</i>
20	<i>Espais oberts amb vegetació escassa o nul·la</i>	<i>Sòls nus, afloraments rocosos, escarpaments, tarteres, xaragalls i àrees amb coberta esclarissada de vegetació</i>

Tabla 3.8: Composición vegetal de las categorías de uso de suelo para el mapa de usos del suelo de Cataluña del año 1987 (Viñas and Baulies, 1995).

Code (*)	Category	Types
9	<i>Non-irrigated herbaceous crops</i>	<i>Cereal, forage</i>
10	<i>Irrigated herbaceous crops</i>	<i>Cereal and forage crops, orchards, grasslands</i>
11	<i>Non-irrigated fruit trees</i>	<i>Olive, almond, hazelnut, carob</i>
12	<i>Irrigated fruit trees</i>	<i>Pear, apple, peach, citrus, cherry trees, irrigated vineyards.</i>
13	<i>Non irrigated vineyards</i>	
15	<i>Shrublands</i>	<i>Maquis bruswoods, mountain grassland, pastures, abandoned crops, areas of transition between forest and secondary vegetation</i>
16	<i>Sclerophyllous forest</i>	<i>Quercus ilex, Quercus suber</i>
17	<i>Deciduous forest</i>	<i>Quercus faginea, Quercus pubescens, Quercus petraea Quercus robur, Fagus sylvatica, Populus pl. sp., Salix pl. sp., Castanea sativa</i>
18	<i>Coniferous Forest</i>	<i>Pinus halepensis, Pinus pinea, Pinus pinaster Pinus nigra, Pinus sylvestris, Pinus uncinata, Abies alba</i>
19	<i>Wetlands</i>	<i>Salt marshes, Inland marshes</i>

(*) El código guarda relación con la numeración utilizada para el mapa del año 1997.

Tabla 3.9: Composición vegetal de las categorías de uso de suelo (Gómez, 1998).

Código uso del suelo	Categoría	Composición vegetal
7	Núcleos urbanos	<i>Platanus sp, Ulmus sp, Acacia sp, Populus nigra Pinus pinaster, Pinus pinea</i>
9	Cultivo herbáceo de secano	Trigo, forraje, sorgo
10	Cultivo herbáceo de regadío	Forraje, hortalizas, trigo, tomate, zanahoria
11	Frutales de secano	<i>Olea europaea, nuez, almendras</i>
12	Frutales de regadío	Naranja, pera, melocotón, limón, cereza, manzana
13	Viñedos	Uva
15	Matorral	<i>Chamaerops humilis, Olea europaea, Pinus Pinea, Pinus pinaster, Quercus suber, Rosmarinus officinalis, Cistus sp, Asphodellus microcarpus, Erica arborea, Juniperus oxycedrus, Juniperus phoenicea, Pistacia lentiscus, Quercus coccifera, Crataegus monogyna, Sorbus sp</i>
16	Bosque esclerófilo	<i>Quercus ilex, Quercus suber, Quercus coccifera, Crataegus monogyna, Juniperus oxycedrus, Juniperus phoenicea, Pinus Pinea, Pistacia lentiscus, Phillyrea angustifolia, Arbustus unedo</i>
17	Bosque caducifolio	<i>Quercus pubescens, Quercus petraea, Quercus robur, Quercus pyrenaica, Quercus suber, Ulmus sp, Fraxinus sp, Crataegus monogyna, Sorbus sp, Tilia sp, Platanus sp, Fagus sp, Salix alba, Betula sp, Alnus sp, Erica arborea, Prunus sp, Cornus sp, Populus nigra, Populus alba, Acer sp, Ilex sp, Castanea sativa, Abies alba</i>
18	Bosque de coníferas	<i>Pinus pinaster, Pinus pinea, Pinus sylvestris, Abies alba, Betula sp, Sorbus sp, Fagus sp, Fraxinus sp, Acer sp</i>
19	Vegetación zonas húmedas	<i>Typha sp, Juncus sp</i>

El CREAM elaboró el *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya (IEFC)* (CREAF, 2003); en base de un muestreo extensivo en campo que incluyó aproximadamente 10 600 estaciones distribuidas en toda Cataluña, según 8 regiones forestales. Se obtuvo una extensa base de datos de los principales parámetros que describen la composición de los bosques catalanes.

La calidad de esta información, permite cuantificar y/o caracterizar con mayor certidumbre la presencia de las especies vegetales más importantes para algunas de las categorías de uso del suelo, y se toma como base para la determinación de su capacidad emisora.

3.5.2 Nueva asignación de especies vegetales

3.5.2.1 Matorral mediterráneo (código 15)

El IEFC incluye información sobre las especies arbustivas más frecuentes y presenta el porcentaje (con respecto al número total de predios analizados durante el desarrollo del inventario forestal) de los predios en los que aparece cada especie arbustiva. La Tabla 3.10 indica aquellas especies para las cuales este porcentaje es superior al 25 %. La Tabla 3.10 recoge la información disponible al momento del desarrollo de esta actividad; información que corresponde a 7 de las 8 regiones forestales del IEFC y abarca mayoritariamente la zona del matorral mediterráneo en Cataluña. La región 8, corresponde a la provincia de Lleida y comprende principalmente el suelo destinado a cultivos herbáceos y frutales.

Para describir la conformación vegetal del matorral mediterráneo, de estas especies se seleccionan aquellas que aparecen en dos o más regiones: (1) *Arbustus unedo*, (2) *Buxus sempervirens*, (3) *Erica arborea*, (4) *Erica multiflora*, (5) *Hedera helix*, (6) *Juniperus communis*, (7) *Pistacia lentiscus*, (8) *Quercus coccifera*, (9) *Quercus ilex*, (10) *Rosmanirus officinalis*, (11) *Rubus ulmifolius*, (12) *Smilax aspera* y (13) *Thymus vulgaris*.

Dentro de esta lista existe un grupo de especies arbóreas (como el *Quercus ilex* y el *Quercus coccifera*), las que sin embargo, por su estado de desarrollo están formando parte del estrato arbustivo.

Al no contar con más información (como cobertura o la densidad de biomasa foliar), los factores de emisión para el matorral mediterráneo se establecieron asignando el mismo peso emisor a cada especie.

Como se indicará más adelante, no se encontró información sobre los factores de emisión para la especie *Smilax aspera*, por lo que finalmente no fue considerada. De este modo, se trabajó con 12 especies, correspondiendo a cada una un peso emisor del 8.3 %.

Tabla 3.10: Porcentaje de predios analizados por región forestal en los que aparece cada especie.

Especie	Región Forestal						
	1 (a)	2 (b)	3 (c)	4 (d)	5 (e)	6 (f)	7 (g)
<i>Arbutus unedo</i>			46.87		37.15		
<i>Buxus sempervirens</i>	45.86	45.61		40.34			
<i>Cistus salviifolius</i>			34.88				
<i>Crataegus monogyna</i>		32.83					
<i>Erica arborea</i>			56.4		37.55		
<i>Erica multiflora</i>						31.58	52.24
<i>Genista scorpius</i>				30.47			
<i>Hedera helix</i>		36.84	28.61		32.41		
<i>Juniperus communis</i>	42.27	40.1		35.19			
<i>Juniperus oxycedrus</i>							70.15
<i>Lonicera implexa</i>					28.46		
<i>Pinus halepensis</i>							39.55
<i>Pinus nigra</i>				25.11			
<i>Pistacia lentiscus</i>					39.13	34.21	50.75
<i>Quercus coccifera</i>						55.26	53.73
<i>Quercus humilis</i>		43.11					
<i>Quercus ilex</i>		44.86	61.04	37.98	68.77	47.37	25.37
<i>Quercus suber</i>			25.61				
<i>Rosmarinus officinalis</i>				37.77	39.92	57.89	75.37
<i>Rubus ulmifolius</i>		45.61	33.79	29.4	35.18		
<i>Smilax aspera</i>			28.61		28.85	30.26	
<i>Thymus vulgaris</i>				28.33		26.32	
<i>Ulex parviflorus</i>						27.63	

Fuente: (a) CREAM (2002a) , (b) CREAM (2001a), (c) CREAM (2001b), (d) CREAM (2000a), (e) CREAM (2000b), (f) CREAM (2000c), (g) CREAM (2002b).

3.5.2.2 Bosque de coníferas (código 18)

La Figura 3.14 indica la distribución del bosque de coníferas según el mapa de 1997, y de las especies: *Pinus halepensis*, *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra*, *Pinus uncinata*, *Pinus pinea*, *Pinus pinaster*, *Abies alba* y *Quercus humilis* (según los mapas del IEFEC).

En los mapas del IEFEC, los puntos negros indican aquellas estaciones en donde la especie es dominante, y los puntos rojos indican las estaciones en donde sólo hay cierta presencia de la misma. Las especies más importantes son el *Pinus sylvestris* y el *Pinus halepensis*.

Mediante la información digital del mapa de 1997, se identificaron las comarcas con las mayores coberturas (superiores al 15 %) de bosque de coníferas (con respecto a sus respectivas coberturas de bosque), que fueron: Solsonès (51 %), Berguedà (49 %), Alt Urgell (45 %), Vallès Oriental (37 %), Maresme (37 %), Cerdanya (37 %), Bages (33 %), Vallès Occidental (33 %), Ripollès (31 %), Pla de l'Estany (30 %), Baix Empordà (28 %), Pallars Sobirà (28 %), Osona (27 %), Anoia (26 %), Gironès (26 %), Baix Llobregat (24 %) , Vall d'Aran (20 %), Terra Alta (20 %), Alta Ribagorça (19 %) y Priorat (19 %). Se asumió que la presencia de las especies de la Figura 3.14 en estas comarcas es representativa del bosque de coníferas en Cataluña. La Tabla 3.11 indica la cobertura superficial de las especies vegetales en estas comarcas.

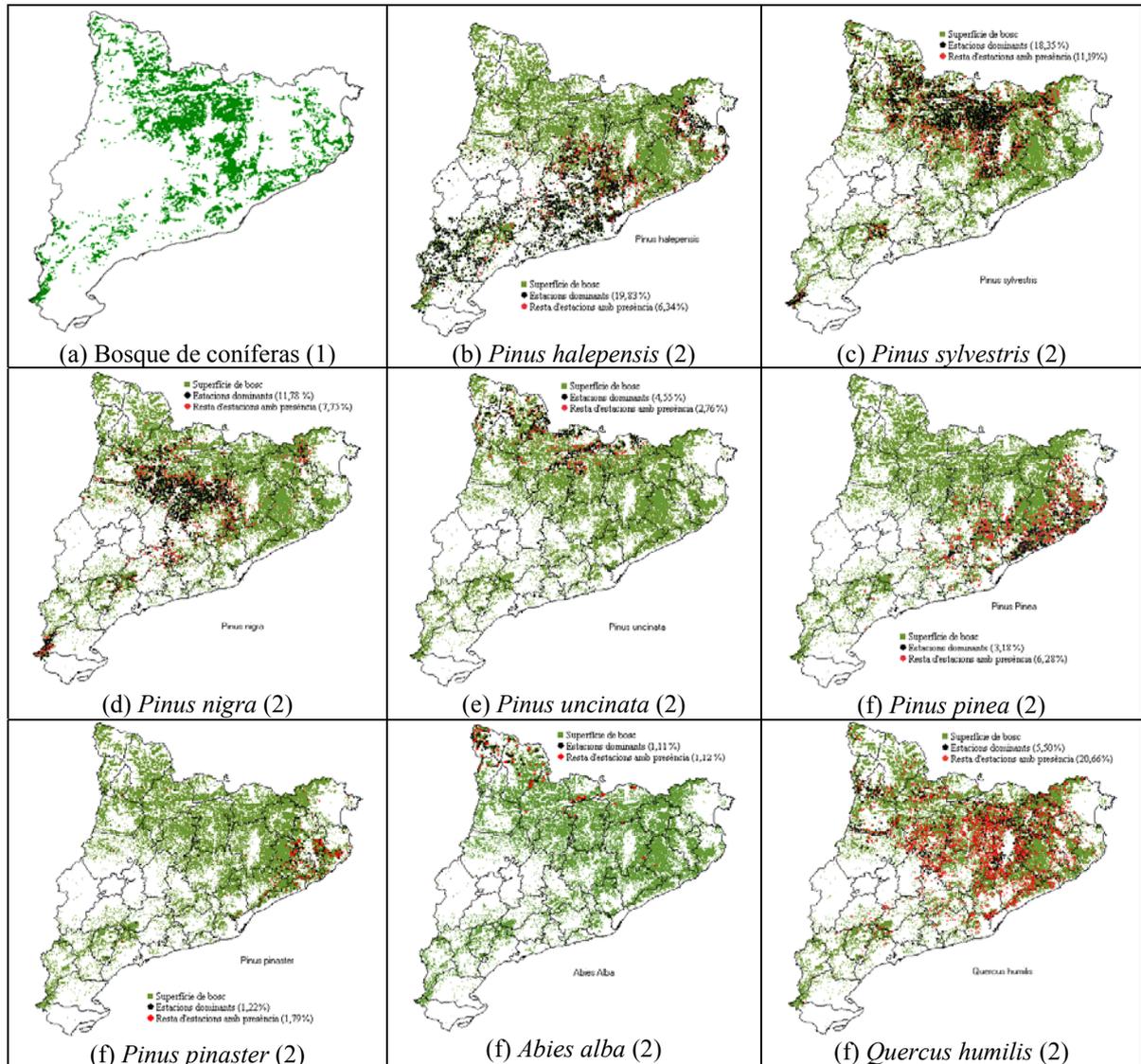


Figura 3.14: Cobertura de bosque de coníferas en Cataluña y especies asociadas. Fuente: (1) DMA (2003), (2) CREAM (2003).

Para determinar la biomasa foliar de estas especies por comarcas, se utilizó la base de datos de densidades de biomasa foliar estructurado como parte del IEF. Previamente, se construyeron sus histogramas y se encontró que en la mayoría de casos éstos presentaban marcados sesgos positivos. Por este motivo se decidió utilizar la mediana en lugar del promedio, como medida de tendencia central. La Tabla 3.12 indica los valores de la mediana de las densidades de biomasa foliar por comarca. La Figura 3.15 indica los histogramas de las densidades de biomasa foliar para cuatro de las especies vegetales más importantes en Cataluña.

Con estos datos se obtuvo la biomasa foliar por comarca y por especie. La columna (1) de la Tabla 3.13 totaliza la biomasa foliar por especie (en decatoneladas, dat). La columna (2) indica los pesos obtenidos para la caracterización de los factores de emisión del bosque de coníferas.

Tabla 3.11: Cobertura superficial de las especies que conforman el bosque de coníferas, por comarcas (miles de ha).

Especie	Comarca																			
	a ³	b ³	c ³	d ³	e ⁴	f ⁴	g ⁴	h ⁵	i ⁵	j ⁵	k ⁶	l ⁶	m ⁶	n ⁶	o ⁷	p ⁷	q ⁷	r ⁷	s ⁸	t ⁸
<i>P. halepensis</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	2.9	5.9	18.1	25.9	1.3	2.8	10.7	0.5	15.8	6.9	11.7	20.4
<i>P. sylvestris</i>	39.3	5.0	21.0	2.3	7.8	23.0	25.9	0.0	0.0	0.8	0.0	3.1	41.7	14.7	0.0	0.0	0.0	4.6	0.6	0.0
<i>P. nigra</i>	18.8	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	3.7	17.7	19.9	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	3.1
<i>P. uncinata</i>	8.3	4.2	15.8	2.2	10.8	0.0	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>P. pinea</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	3.2	0.3	1.9	1.6	0.3	0.0	0.5	6.6	1.0	6.1	0.0	0.0
<i>Q. humilis</i>	4.4	2.7	1.1	0.4	0.2	14.0	4.6	0.0	0.0	0.0	1.2	2.6	3.9	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>P. pinaster</i>	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>A. alba</i>	0.7	0.7	4.0	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

a Alt Urgell, b Alta Ribagorça, c Pallars Sobirà, d Vall d'Aran, e Cerdanya, f Osona, g Ripollès, h Baix Empordà, i Gironès, j Pla de l'Estany, k Anoya, l Bages, m Berguedà, n Solsonès, o Baix Llobregat, p Maresme, q Vallès Occidental, r Vallès Oriental, s Priorat, t Terra Alta

Fuente de información: ³ (CREAF, 2002a); ⁴ (CREAF, 2001a); ⁵ (CREAF, 2001b); ⁶ (CREAF, 2000a); ⁷ (CREAF, 2000b); ⁸ (CREAF, 2002b).

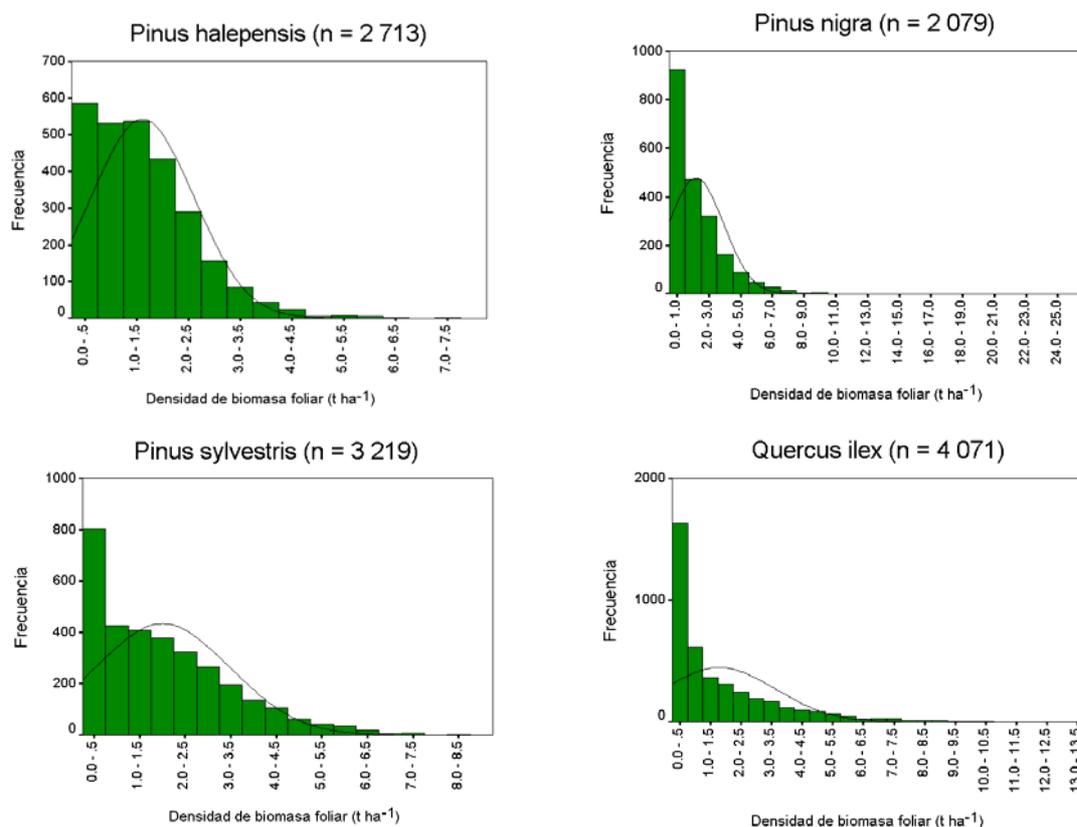


Figura 3.15: Distribución en frecuencia de los valores de la densidad de biomasa foliar de las especies *Pinus halepensis*, *Pinus nigra*, *Pinus sylvestris* y *Quercus ilex* en Cataluña.

Capítulo 3: Emisiones biogénicas de compuestos orgánicos volátiles

Tabla 3.12: Densidad de biomasa foliar por comarca de las especies que conforman el bosque de coníferas (mediana, g m⁻²).

Especie	Comarca																			
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
<i>P. halep.</i>								94	69	113	125	105	38	49	222	56	222	222	124	160
<i>P. sylv.</i>	150	257	228	255	226	111	191			126		57	171	133		47	47	51		
<i>P. nigra</i>	96		60						263	79	62	215	180	168				138	201	
<i>P. unci.</i>	135	257	271	496	257		123						129	338						
<i>P. pinea</i>								40	76	18	123	40	37		100	158	100	100		
<i>Q. hum.</i>	26	56	27	187	5	34	27				19	14	11	19						
<i>P. pina.</i>								34	69	70										
<i>A. alba</i>	65	134	184	565																

a Alt Urgell, b Alta Ribagorça, c Pallars Sobirà, d Vall d'Aran, e Cerdanya, f Osona, g Ripollès, h Baix Empordà, i Gironès, j Pla de l'Estany, k Anoia, l Bages, m Berguedà, n Solsonès, o Baix Llobregat, p Maresme, q Vallès Occidental, r Vallès Oriental, s Priorat, t Terra Alta

Fuente de información: Obtenidos de la base de datos de las densidades de biomasa foliar facilitados por el CREAM.

Tabla 3.13: Biomasa foliar por comarca de las especies (dat) y pesos para la caracterización de los factores de emisión del bosque de coníferas.

Especie	Comarca																			(1)	(2)	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	Suma	Pesos
<i>P. halep.</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.2	0.7	2.3	2.7	0.0	0.1	2.4	0.0	3.5	1.5	1.5	3.3	18.8	21
<i>P. sylv.</i>	5.9	1.3	4.8	0.6	1.8	2.6	4.9	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	7.1	2.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	31.4	36
<i>P. nigra</i>	1.8	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	3.8	3.6	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	16.3	19
<i>P. unci.</i>	1.1	1.1	4.3	1.1	2.8	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.1	14
<i>P. pinea</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	1.0	0.1	0.6	0.0	0.0	2.5	3
<i>Q. hum.</i>	0.1	0.2	0.0	0.1	0.0	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	1
<i>P. pina.</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0
<i>A. alba</i>	0.0	0.1	0.7	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	6
																					87.4	100

a Alt Urgell, b Alta Ribagorça, c Pallars Sobirà, d Vall d'Aran, e Cerdanya, f Osona, g Ripollès, h Baix Empordà, i Gironès, j Pla de l'Estany, k Anoia, l Bages, m Berguedà, n Solsonès, o Baix Llobregat, p Maresme, q Vallès Occidental, r Vallès Oriental, s Priorat, t Terra Alta

3.5.2.3 Bosque esclerófilo (código 16)

La Figura 3.16 presenta la distribución de bosque esclerófilo según el mapa de 1997, y de las especies: *Quercus ilex*, *Quercus humilis*, *Quercus suber*, *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra*. Las más importantes son el *Quercus ilex* y el *Quercus suber*.

Mediante la información digital del mapa de 1997, se identificaron las comarcas con mayores coberturas (superiores al 15 %) de bosque esclerófilo (con respecto a sus respectivas coberturas de bosque), que fueron: Garrotxa (42 %), Selva (30 %), Alt Empordà (22 %), Gironès (21 %) y Vallès Oriental (16 %). Se asumió que la presencia de las especies de la Figura 3.16 en estas comarcas es representativa del bosque esclerófilo en Cataluña.

La Tabla 3.14 presenta la cobertura superficial por comarca de estas especies, información obtenida de los documentos de síntesis del IEF. La Tabla 3.15 indica los valores de las densidades de biomasa foliar por comarca.

Con estos datos se obtuvo la biomasa foliar por comarca y por especie. La columna (1) de la Tabla 3.16 totaliza la biomasa foliar por especie (en decatoneladas, dat). La columna (2) indica los pesos obtenidos para la caracterización de los factores de emisión del bosque esclerófilo.

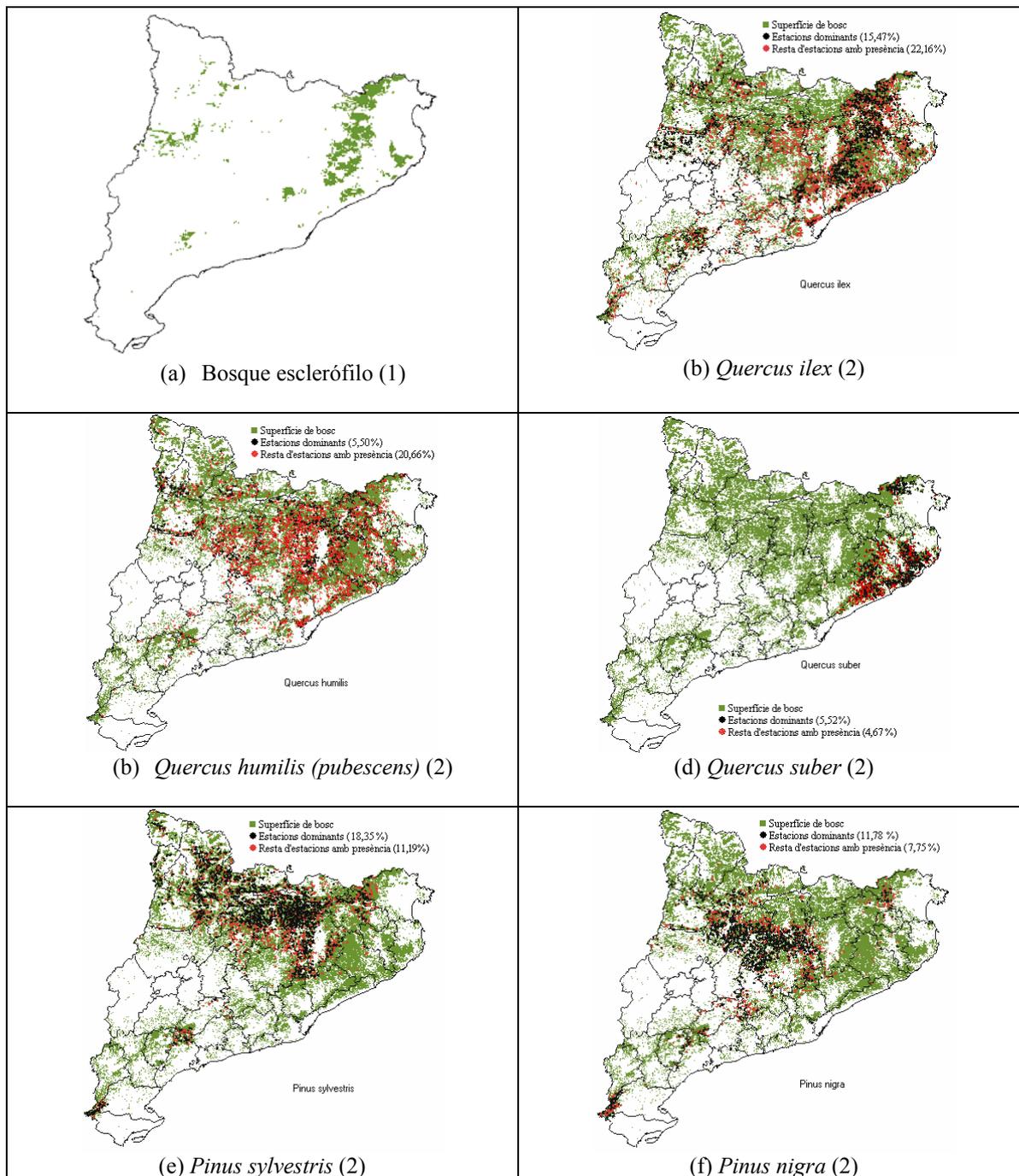


Figura 3.16: Cobertura de bosque esclerófilo en Cataluña y especies asociadas. Fuente: (1) DMA (2003), (2) CREAM (2003).

Tabla 3.14: Cobertura superficial de las especies que conforman el bosque esclerófilo, por comarcas (miles de ha).

Especie	Comarca				
	Garrotxa ¹	Selva ²	Alt Empordà ²	Gironès ²	Vallès Oriental ³
<i>Quercus ilex</i>	24.9	13.9	13.5	7.4	17.5
<i>Quercus suber</i>	0.0	20.5	11.8	9.4	2.5
<i>Pinus sylvestris</i>	6.6	0.2	2.8	0	4.6
<i>Quercus humilis</i>	4.9	0.0	0.0	0	0.0
<i>Pinus nigra</i>	0.0	0.5	2.3	0.3	0.0

Fuente de información: ¹ (CREAF, 2001a); ² (CREAF, 2001b); ³ (CREAF, 2000b).

Tabla 3.15: Densidad de biomasa foliar por comarca de las especies que conforman el bosque esclerófilo (mediana, g m⁻²).

Especie	Comarca				
	Garrotxa	Selva	Alt Empordà	Gironès	Vallès Oriental
<i>Quercus ilex</i>	193.8	85.3	144.7	117.3	36.1
<i>Quercus suber</i>		21.5	47.8	24.0	43.7
<i>Pinus sylvestris</i>	86.5	29.1	54.4		47.0
<i>Quercus humilis</i>	22.6				
<i>Pinus nigra</i>		31.8	36.0	263.0	

Fuente de información: Obtenidos de la base de datos de las densidades de biomasa foliar facilitados por el CREAF.

Tabla 3.16: Biomasa foliar por comarca de las especies (dat) y pesos para la caracterización de los factores de emisión del bosque esclerófilo.

Especie	Comarca					(1) Suma	(2) Pesos
	Garrotxa	Selva	Alt Empordà	Gironès	Vallès Oriental		
<i>Quercus ilex</i>	4.8	1.2	2.0	0.9	0.6	9.5	79
<i>Quercus suber</i>	0.0	0.4	0.6	0.2	0.1	1.3	11
<i>Pinus sylvestris</i>	0.6	0.0	0.2	0.0	0.2	0.9	8
<i>Quercus humilis</i>	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1
<i>Pinus nigra</i>	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2	1
						12.0	100

3.5.2.4 Bosque caducifolio (código 17)

La Figura 3.17 indica la distribución de bosque caducifolio, y de las especies: *Castanea sativa*, *Quercus petraea*, *Quercus humilis*, *Fagus sylvatica*, *Pinus sylvestris* y *Quercus ilex*. Las más importantes son el *Quercus ilex* y el *Pinus sylvestris*.

Se identificaron las comarcas con mayores coberturas (superiores al 15 %) de bosque caducifolio: Garrotxa (26 %), Ripollès (21 %), Osona (17 %) y Selva (16 %). Se asumió que la presencia de las especies de la Figura 3.17 en estas comarcas es representativa del bosque caducifolio en Cataluña.

La Tabla 3.17 presenta la cobertura superficial por comarca de estas especies. La Tabla 3.18 indica los valores de la densidad de biomasa foliar por comarca.

Con estos datos se obtuvo la biomasa foliar por comarca y por especie. La columna (1) de la Tabla 3.19 totaliza la biomasa foliar por especie. La columna (2) indica los pesos para la caracterización de los factores de emisión del bosque caducifolio.

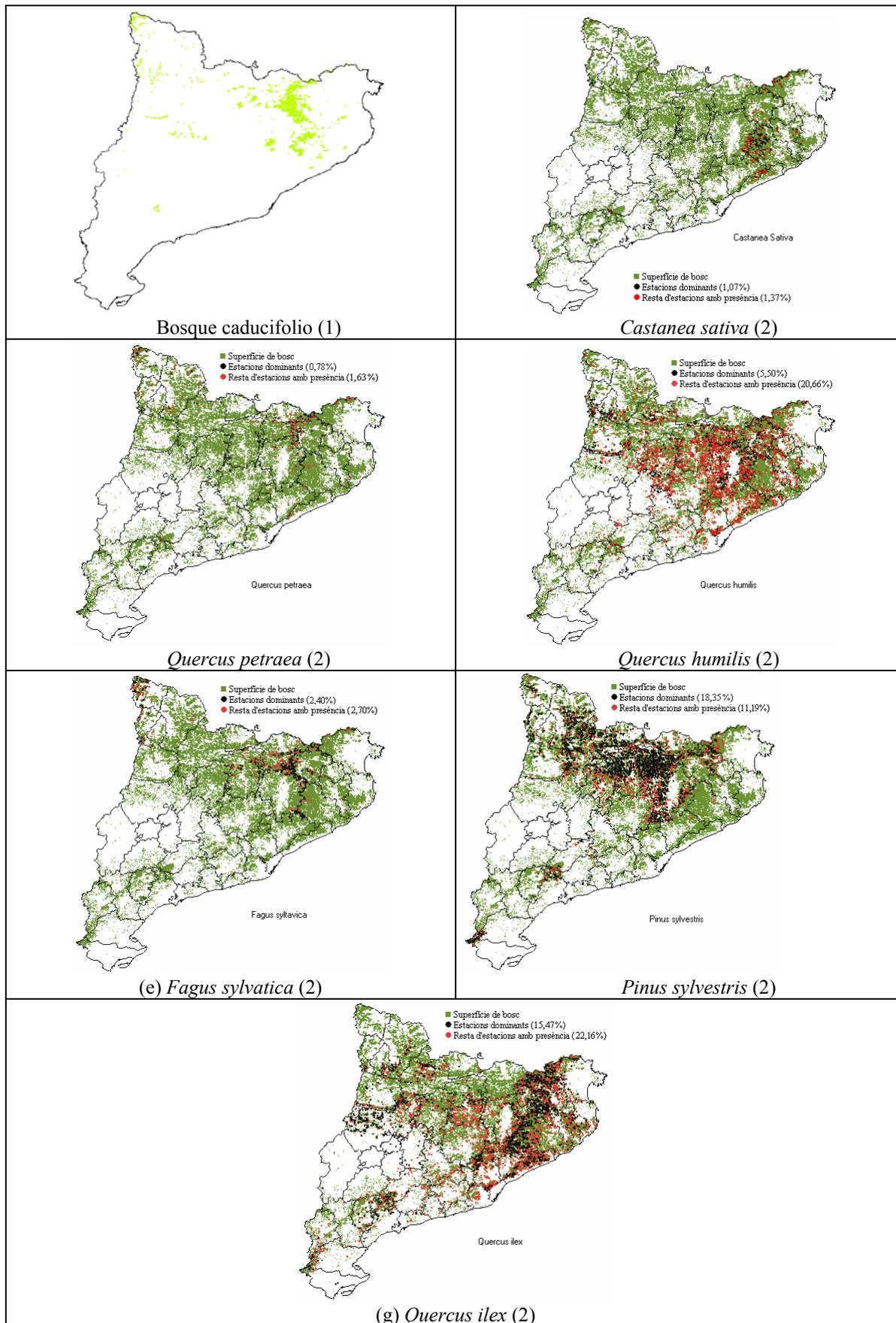


Figura 3.17: Cobertura de bosque caducifolio en Cataluña y especies asociadas. Fuente: (1) DMA(2003), (2) CREAM(2003).

Tabla 3.17: Cobertura superficial de las especies que conforman el bosque caducifolio, por comarcas (miles de ha).

Especie	Comarca			
	Garrotxa ¹	Ripollès ¹	Osona ¹	Selva ²
<i>Pinus sylvestris</i>	6.6	25.9	23.0	0.2
<i>Quercus ilex</i>	24.9	1.6	14.8	13.9
<i>Quercus humilis</i>	4.9	4.6	14.0	0.0
<i>Fagus sylvatica</i>	5.1	6.7	5.4	1.7
<i>Castanea sativa</i>	0.0	0.0	0.0	8.9
<i>Quercus petraea</i>	2.3	2.8	0.7	0.0

Fuente de información: ¹ CREAM (2001a); ² CREAM (2001b).

Tabla 3.18: Densidad de biomasa foliar por comarca de las especies que conforman el bosque caducifolio (mediana, g m⁻²).

Especie	Comarca			
	Garrotxa	Ripollès	Osona	Selva
<i>Pinus sylvestris</i>	86.5	191.0	110.9	29.1
<i>Quercus ilex</i>	193.8	297.2	95.0	85.3
<i>Quercus humilis</i>	22.6	27.0	33.9	
<i>Fagus sylvatica</i>	67.5	54.9	92.8	97.0
<i>Castanea sativa</i>				114.2
<i>Quercus petraea</i>	58.8	50.4	51.6	

Fuente de información: Obtenidos de la base de datos de las densidades de biomasa foliar facilitados por el CREAM.

Tabla 3.19: Biomasa foliar por comarca de las especies (kt) y pesos para la caracterización de los factores de emisión del bosque caducifolio.

Especie	Comarca				(1) Suma	(2) Pesos
	Garrotxa	Ripollès	Osona	Selva		
<i>Pinus sylvestris</i>	0.6	4.9	2.6	0.0	8.1	42
<i>Quercus ilex</i>	4.8	0.5	1.4	1.2	7.9	41
<i>Quercus humilis</i>	0.1	0.1	0.5	0.0	0.7	4
<i>Fagus sylvatica</i>	0.3	0.4	0.5	0.2	1.4	7
<i>Castanea sativa</i>	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	5
<i>Quercus petraea</i>	0.1	0.1	0.0	0.0	0.3	2
					19.4	100

3.5.2.5 Categorías relacionadas con cultivos y frutales

El mapa adoptado diferencia cuatro categorías:

- ❑ Cultivos herbáceos de secano (código 9).
- ❑ Cultivos herbáceos de regadío (código 10).
- ❑ Frutales de secano (código 11).
- ❑ Frutales de regadío (código 12).

A partir de la información estadística del *Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca*, sobre la superficie agrícola de Cataluña al año 1999 (IDESCAT, 2003); se clasificaron los productos

agrarios según estas categorías. La Tabla 3.20 presenta la cobertura de cada especie por categoría. Para la caracterización se considera sólo las especies con coberturas mayores al 5 %.

Las especies representativas para estas categorías finalmente se definen según los pesos de la columna (1) de la Tabla 3.20.

3.5.2.6 Otras categorías

Debido a su baja cobertura (< 2 %) no se realizó un nuevo análisis y se asumió la misma composición vegetal establecida en Gómez (1998).

La Tabla 3.21 resume la composición vegetal por uso de suelo y los pesos obtenidos por especie para el cálculo de los factores de emisión.

Como resumen comparativo, a continuación se identifican las principales diferencias con la asignación utilizada por Gómez (1998):

- ❑ Para el matorral mediterráneo, si bien Gómez (1998) utilizó un mayor número de especies, la presente asignación se sustenta en información de campo sobre la presencia de las especies más importantes. Solamente el *Erica arborea*, *Pistacia lentiscus*, *Quercus coccifera* y *Rosmanirus officinalis* son comunes en esta asignación y la de Gómez (1998). Durante el desarrollo del IEFC, y en relación con los bosques, se estudió con menor detalle la composición de los matorrales, por lo que no fue posible establecer pesos propios por especie.
- ❑ Para el bosque de coníferas, en esta asignación el *Pinus sylvestris* es la especie más abundante (peso del 36 %), seguida del *Pinus halepensis* (peso del 21 %). Gómez (1998) no incluye al *Pinus halepensis* y asigna pesos iguales a todas las especies, inclusive a aquellas (como *Abies alba*, *Acer sp* y *Betula sp*) cuya presencia, según la información presentada, no es importante.
- ❑ Para el bosque esclerófilo, se obtuvieron pesos del 79 % y 11 % para el *Quercus ilex* y el *Quercus suber*, en tanto que Gómez (1998) trabaja con pesos iguales del 10 %, tanto para éstas como para otras especies con mucho menos presencia (como el *Arbustus unedo*, *Crataegus monogyna*, *Juniperus oxycedrus* y *Juniperus phoenicea*).
- ❑ Para el bosque caducifolio, se han deducido pesos del 42 % y 41 % para el *Pinus sylvestris* y *Quercus ilex*, especies que no aparecen en la lista considerada por Gómez (1998).

Capítulo 3: Emisiones biogénicas de compuestos orgánicos volátiles

Tabla 3.20: Cobertura de los productos agrícolas por tipo de uso de suelo para Cataluña en el año 1999 (IDESCAT, 2003).

Especie	Cobertura (ha)	%	% (1)
Cultivo herbáceo de secano			
Trigo	63 839	33	35
Cebada	94 041	49	51
Alfalfa	26 543	14	14
Arveja	8 644	4	
	193 067	100	100
Cultivo herbáceo de regadío			
Trigo	63 839	27	31
Cebada	94 041	40	46
Avena	10 265	4	
Arroz	21 595	9	10
Haba	1 247	1	
Frijol	2 017	1	
Alfalfa	26 543	11	13
Patata	6 137	3	
Alcachofa	1 764	1	
Cebolla	1 765	1	
Col	1 033	0	
Lechuga	2 666	1	
Pimiento	551	0	
Tomate	3 027	1	
	236 490	100	100
Frutales de secano			
Almendra	59 762	31	31
Avellana	20 140	10	10
Oliva	115 161	59	59
	195 063	100	100
Frutales de regadío			
Mandarina	4 008	7	7
Naranja	3 253	6	6
Limón	69	0	0
Pera	17 428	32	32
Manzana	16 080	29	29
Melocotón	14 444	26	26
	55 282	100	100

Tabla 3.21: Pesos por especies vegetales para el cálculo de los factores de emisión por uso de suelo.

Código	Descripción	Cobertura (%)	Especies asignadas	Hoja	Peso (%)
15	Matorral mediterráneo	27.0	<i>Arbustus unedo</i>	Perenne	8.3
			<i>Buxus sempervirens</i>	Perenne	8.3
			<i>Erica arborea</i>	Perenne	8.3
			<i>Erica multiflora</i>	Perenne	8.3
			<i>Hedera helix</i>	Perenne	8.3
			<i>Juniperus communis</i>	Perenne	8.3
			<i>Pistacia lentiscus</i>	Perenne	8.3
			<i>Quercus coccifera</i>	Perenne	8.3
			<i>Quercus ilex</i> (encina)	Perenne	8.3
			<i>Rosmanirus officinalis</i>	Perenne	8.3
			<i>Rubus ulmifolius</i>	Perenne	8.3
<i>Thymus vulgaris</i>	Perenne	8.3			
18	Bosque de coníferas	19.0	<i>Pinus sylvestris</i> (pino silvestre)	Perenne	36
			<i>Pinus halepensis</i> (pino carrasco)	Perenne	21
			<i>Pinus nigra</i> (pino laricio)	Perenne	19
			<i>Pinus uncinata</i>	Perenne	14
			<i>Abies alba</i> (abeto común)	Perenne	6
			<i>Pinus pinea</i>	Perenne	3
			<i>Quercus humilis</i>	Caduca	1
9	Cultivos herbáceos de secano	15.0	<i>Pinus pinaster</i> (pino negral)	Perenne	0
			<i>Hordeum vulgari</i> (cebada)		51
			<i>Triticum aestivum</i> (trigo)		35
11	Frutales de secano	7.1	<i>Medicago sativa</i> (alfalfa)		14
			<i>Olea europaea</i> (oliva)	Perenne	59
			<i>Prunus dulcis v. Dulcis</i> (almendras)	Caduca	31
10	Cultivos herbáceos de regadío	6.5	<i>Corylus avellana</i> (avellana)	Caduca	10
			<i>Hordeum vulgari</i> (cebada)		46
			<i>Triticum aestivum</i> (trigo)		31
			<i>Medicago sativa</i> (alfalfa)		13
			<i>Oriza sativa</i> (arroz)		10
16	Bosque de esclerófilas	6.2	<i>Quercus ilex</i> (encina)	Perenne	79
			<i>Quercus suber</i> (alcornoque)	Perenne	11
			<i>Pinus sylvestris</i> (pino silvestre)	Perenne	8
			<i>Quercus humilis</i> (pubescens)	Caduca	1
			<i>Pinus nigra</i> (pino laricio)	Perenne	1
17	Bosque de caducifolias	5.1	<i>Pinus sylvestris</i>	Perenne	42
			<i>Quercus ilex</i> (encina)	Perenne	41
			<i>Quercus humilis</i>	Caduca	4
			<i>Fagus sylvatica</i> (haya)	Caduca	7
			<i>Castanea sativa</i>	Caduca	5
			<i>Quercus petraea</i> (roble albar)	Caduca	1
13	Viñedo	2.5	<i>Vitis vinifera</i> (uva)	Caduca	100
			<i>Pyrus communis</i> (pera)	Caduca	32
12	Frutales de regadío	2.3	<i>Malus domestica</i> (manzana)	Caduca	29
			<i>Prunus persica</i> (melocotón)	Caduca	26
			<i>Citrus reticulata</i> (mandarina)	Perenne	7
			<i>Citrus sinensis</i> (naranja)	Perenne	6
			<i>Acacia sp</i>	Caduca	20
7	Núcleos urbanos	1.2	<i>Platanus sp</i>	Caduca	20
			<i>Pinus pinaster</i>	Perenne	20
			<i>Pinus pinea</i>	Perenne	20
			<i>Populus nigra</i>	Caduca	20
19	Vegetación de zonas húmedas	0.1	<i>Typha sp</i> (<i>Typha latifolia</i>)	Perenne	50
			<i>Juncus sp</i>		50

3.6 Factores de emisión

Para cada especie de la Tabla 3.21, se recopilaron factores de emisión en diferentes fuentes de consulta, siendo por su aplicabilidad las más importantes:

- ❑ Varias publicaciones del CREAM, que incluyen factores de emisión de algunas especies vegetales propias de la región catalana y mediterránea.
- ❑ Factores de emisión establecidos dentro del proyecto *Biogenic Emission of the Mediterranean Area (BEMA)*, en base de campañas de medida realizadas en localidades de Italia, Francia y España.
- ❑ Bases de datos de factores de emisión de la Universidad de Lancaster.

Se partió del principio de la mejor representatividad de los factores de emisión del CREAM establecidos con medidas en campo (y en localidades catalanas) y en menor grado de los determinados en laboratorio. Como se indica más adelante, estos factores de emisión corresponden principalmente a los monoterpenos, y en menor número, a los OCOV. Durante la selección de los factores de emisión, no se localizaron factores de emisión locales de isopreno.

El proyecto BEMA tuvo como principal objetivo la caracterización de las emisiones biogénicas y el rol que ellas desempeñan en la formación del ozono troposférico en la zona mediterránea. Los factores de emisión establecidos en este proyecto aparecen en varios artículos. En Owen *et al.* (2001) se recopilan las tasas de emisión (resultados de las campañas de medida durante los años 1993 – 1996) de isopreno y monoterpenos más OCOV para 40 especies típicas mediterráneas. Se consideró que la representatividad de estos factores de emisión es buena, pero en menor grado que las establecidas por el CREAM.

El *Institute of Environmental and Natural Sciences* de la Universidad de Lancaster (Reino Unido), presenta en su página Web, dos bases de datos con factores de emisión de isopreno y monoterpenos. Una de ellas se refiere a las especies típicas del Reino Unido, y la otra presenta información para un ámbito más general. Su principal utilidad consiste en la lista larga de especies vegetales (según su nombre científico) que incorpora, lo cuál permite conocer; a más de las magnitudes de los factores de emisión, la respectiva fuente de consulta; por lo que fue utilizada principalmente con este fin.

Debido a la importancia del comportamiento químico en la baja troposfera, los compuestos cuyos factores de emisión han recibido más atención son el isopreno y los monoterpenos, y en menor grado, los OCOV. Este aspecto se manifiesta inclusive en recientes estimaciones de las emisiones biogénicas (Simpson *et al.*, 1999; Guenther *et al.*, 2000; Simon *et al.*, 2001), en las que a falta de información específica para los OCOV se asume un factor de emisión por defecto de $1.5 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$.

Luego de un proceso exhaustivo de búsqueda de factores de emisión por especie vegetal, finalmente se seleccionaron los valores que se indican en la Tabla 3.22. Para un determinado grupo de especies fue posible asignar factores de emisión estacionales de monoterpenos y OCOV. Todo el proceso seguido se indica en forma detallada en Parra (2002).

Todos los factores de emisión de la Tabla 3.22 se presentan en condiciones estándar:

- ❑ Isopreno, temperatura de 30 °C y PAR de $1\,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.
- ❑ Monoterpenos, temperatura de 30 °C.
- ❑ OCOV, temperatura de 30 °C.

Tabla 3.22: Factores de emisión seleccionados por especie vegetal ($\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$).

Categoría	Especies vegetales asociada	Isopreno		Monoterpenos		OVOC	
		Factor de emisión (*)		Factor de emisión (**)		Factor de emisión (**)	
Matorral	<i>Arbustus unedo</i>	0	+	2.2 i, 2.2 p, 2.2 v, 0 o	(8)	0	+
	<i>Buxus sempervirens</i>	11.5	+	0	(1)	0	(1)
	<i>Erica arborea</i>	12.7	+	7 i, 17.7 p, 6.6 v, 3.2 o	(8)	0 i, 8.13 p, 0 v, 0 o	(11)
	<i>Erica multiflora</i>	2	(1)	0.01	(9)	0	+
	<i>Hedera helix</i>	0	(2)	0.1	(2)	0	+
	<i>Juniperus communis</i>	0.1	(2)	0.1	(2)	1.5	(6)
	<i>Pistacia lentiscus</i>	0	(3)	0.6	(1)	0	+
	<i>Quercus coccifera</i>	0	(1)	2.4 i, 1 p, 4.3 v, 5.5 o	(8)¶	0 i, 2.6 p, 0 v, 0 o	(11)
	<i>Quercus ilex</i>	0	+	4.5 i, 11.3 p, 7.5 v, 1.7 o	+¶	0 i, 5.59 p, 5.87 v, 0.35 o	(11)
	<i>Rosmanirus officinalis</i>	0	(3)	2.2	(3)	1.26	(12)
	<i>Rubus ulmifolius</i>	0	(4)	0.35	(4)	0	+
	<i>Thymus vulgaris</i>	0	(1)	0.25	(5)	3.37	(12)
Bosque de coníferas	<i>Pinus halepensis</i>	0	(1)	2.3 i, 9.6 p, 6.4 v, 11.4 o	(8)	0 i, 0.81 p, 1.36 v, 4.49 o	(11)
	<i>Pinus sylvestris</i>	0	(2)	7.9	+	1.5	(6)
	<i>Pinus pinea</i>	0	(1)	6.5	(1)	0.22	(12)
	<i>Pinus nigra</i>	0	(2)	7.64	(2)	1.5	+
	<i>Pinus uncinata</i>	0	+	0.9	(5)	0	+
	<i>Quercus humilis</i>	75	(1)	0	(1)	0	(1)
	<i>Abies Alba</i>	0	(5)	9.3	+	1.5	(6)
	<i>Pinus pinaster</i>	0	(6)	0.2	(6)	1.5	(6)
Cultivos herbáceos secano	<i>Hordeum vulgari</i>	0	(2)	0	(2)	1.5	(6)
	<i>Triticum aestivum</i>	0	(7)	0	(7)	0.01	(7)
	<i>Medicago sativa</i>	0	(6)	0.21	(10)	0.59	(10)
Frutales de regadío	<i>Olea europaea</i>	0	(1)	0.04	(1)	1.04	(10)
	<i>Prunus dulcis v. dulcis</i>	0	(4)	0	(10)	2.3	(10)
	<i>Corylus avellana</i>	0.1	(2)	0.1	(2)	0	+
Cultivos herbáceos regadío	<i>Hordeum vulgari</i>	0	(2)	0	(2)	1.5	(6)
	<i>Triticum aestivum</i>	0	(7)	0	(7)	0.01	(7)
	<i>Medicago sativa</i>	0	(6)	0.21	(5)	0.59	(10)
	<i>Oriza sativa</i>	0.1	(6)	0.24	(6)	1.5	(6)
Bosque esclerófilo	<i>Quercus ilex</i>	0	+	4.5 i, 11.3 p, 7.5 v, 1.7 o	+¶	0 i, 5.59 p, 5.87 v, 0.35 o	(11)
	<i>Quercus suber</i>	0	(6)	0.2	(6)	1.5	(6)
	<i>Pinus sylvestris</i>	0	(2)	7.9	(5)	1.5	(6)
	<i>Quercus humilis</i>	75	(1)	0	(1)	0	(1)
	<i>Pinus nigra</i>	0	(2)	7.64	(2)	1.5	+
Bosque caducifolio	<i>Pinus sylvestris</i>	0	(2)	7.9	(5)	1.5	(6)
	<i>Quercus ilex</i>	0	+	4.5 i, 11.3 p, 7.5 v, 1.7 o	+¶	0 i, 5.59 p, 5.87 v, 0.35 o	(11)
	<i>Quercus humilis</i>	75	(1)	0	(1)	0	(1)
	<i>Fagus sylvatica</i>	0	(6)	0.40	+	0.01	(7)
	<i>Castanea sativa</i>	0	(4)	11.18	+	1.5	+
	<i>Quercus petraea</i>	57.4	+	0.35	+	1.5	(6)

(*) Expresados en condiciones estándar: temperatura 30 °C, PAR 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

(**)Expresados en condiciones estándar: temperatura 30 °C.

¶ Factores de emisión de monoterpenos expresados en condiciones estándar: temperatura 30 °C, PAR 1 000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Factores de emisión estacionales: i = invierno, p = primavera, v = verano, o = otoño.

+ : Este factor de emisión ha sido definido luego de analizar el grupo de factores recopilados. Los demás factores de emisión fueron seleccionados directamente de las fuentes abajo indicadas.

Fuente: (1) Owen *et al.* (2001), (2) Lancaster University (2002b), (3) Seufert *et al.* (1997), (4) Lancaster University (2002a), (5) Simon *et al.* (2001), (6) EEA (2001), (7) König *et al.* (1995), (8) Llusia *and* Peñuelas (2000), (9) Owen *et al.* (1997), (10) Winer *et al.* (1992), (11) Peñuelas *and* Llusia (2001a), (12) Owen *et al.* (2002).

Con los pesos emisores de la Tabla 3.21 y los factores de emisión de la Tabla 3.22, se obtuvieron los factores de emisión por categorías de uso de suelo para el isopreno, monoterpenos y OCOV, que se indican en la Tabla 3.23.

Para las especies vegetales caducifolias (ver la Tabla 3.21) se asumió que el período de emisión se inicia en el mes de mayo y termina en noviembre. El período de emisión adoptado para los frutales de secano y regadío, inicia en marzo y termina en noviembre (Gómez, 1998).

Tabla 3.23: Factores de emisión por categorías de uso del suelo ($\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$).

Descripción	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Isopreno												
Núcleos urbanos	0.00	0.00	0.00	0.00	22.20	22.20	22.20	22.20	22.20	22.20	22.20	0.00
Cultivos herbáceos de secano	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cultivos herbáceos de regadío	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Frutales de secano	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
Frutales de regadío	0.00	0.00	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.00
Viñedos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00
Matorral mediterráneo	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19
Bosque esclerófilo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.00
Bosque caducifolio	0.00	0.00	0.00	0.00	3.57	3.57	3.57	3.57	3.57	3.57	3.57	0.00
Bosque de coníferas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.00
Vegetación zonas húmedas	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Monoterpenos												
Núcleos urbanos	1.34	1.34	1.34	1.34	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.34
Cultivos herbáceos de secano	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Cultivos herbáceos de regadío	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Frutales de secano	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.00
Frutales de regadío	0.00	0.00	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.00
Viñedos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.00
Matorrales (Q. ilex + Q. coccifera)(*)	0.58	0.58	0.58	1.03	1.03	1.03	0.98	0.98	0.98	0.60	0.60	0.60
Matorrales (las otras especies)	1.07	1.07	1.07	1.94	1.94	1.94	1.03	1.03	1.03	0.57	0.57	0.57
Bosque esclerófilo (Q. ilex)(*)	3.56	3.56	3.56	8.93	8.93	8.93	5.93	5.93	5.93	1.34	1.34	1.34
Bosques esclerófilo (las otras especies)	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
Bosque caducifolio (Q. ilex)(*)	1.85	1.85	1.85	4.63	4.63	4.63	3.08	3.08	3.08	0.70	0.70	0.70
Bosques caducifolio (las otras especies)	3.32	3.32	3.32	3.32	3.91	3.91	3.91	3.91	3.91	3.91	3.91	3.32
Bosque de coníferas	5.65	5.65	5.65	7.18	7.18	7.18	6.51	6.51	6.51	7.56	7.56	7.56
Vegetación zonas húmedas	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
OCOV												
Núcleos urbanos	0.34	0.34	0.34	0.34	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.34
Cultivos herbáceos de secano	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Cultivos herbáceos de regadío	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
Frutales de secano	0.00	0.00	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	0.00
Frutales de regadío	0.00	0.00	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	0.00
Viñedos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.00
Matorral mediterráneo	0.51	0.51	0.51	1.87	1.87	1.87	1.00	1.00	1.00	0.54	0.54	0.54
Bosque esclerófilo	0.30	0.30	0.30	4.72	4.72	4.72	4.93	4.93	4.93	0.58	0.58	0.58
Bosque caducifolio	0.63	0.63	0.63	2.92	3.01	3.01	3.13	3.13	3.13	0.86	0.86	0.77
Bosque de coníferas	0.92	0.92	0.92	1.09	1.09	1.09	1.21	1.21	1.21	1.87	1.87	1.87
Vegetación zonas húmedas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

(*) Factores de emisión de monoterpenos para los cuales se aplica el algoritmo del isopreno.

Tabla 3.24: Densidad de biomasa foliar por comarcas (g m⁻²).

	Comarca	Bosque de coníferas	Bosque esclerófilo	Bosque caducifolio
1	Alt Camp	123.2	70.1	70.4
2	Alt Emporda	69.9	129.1	101.9
3	Alt Penedes	128.3	18.5	0.0
4	Alt Urgell	87.1	41.2	76.2
5	Alta Ribagorça	248.2	70.8	121.5
6	Anoia	83.0	26.2	32.4
7	Bages	103.3	22.5	32.1
8	Baix Camp	121.4	79.7	109.6
9	Baix Ebre	150.3	148.6	146.6
10	Baix Emporda	61.5	40.1	41.2
11	Baix Llobregat	153.9	35.7	34.8
12	Baix Penedes	162.6	17.4	17.4
13	Barcelones	166.7	137.8	137.8
14	Bergueda	113.5	28.2	69.5
15	Cerdanya	175.0	172.4	207.6
16	Conca de Barbera	130.4	76.1	93.9
17	Garraf	191.8	0.0	0.0
18	Garrigues	123.5	14.5	14.5
19	Garrotxa	61.3	169.4	138.7
20	Girones	94.7	105.9	86.4
21	Maresme	60.4	168.5	166.3
22	Montsia	149.6	177.9	162.2
23	Noguera	66.3	45.6	48.8
24	Osona	80.9	94.7	96.2
25	Pallars Jussa	218.7	96.6	106.1
26	Pallars Sobria	193.0	187.9	180.0
27	Pla d'Urgell	0.0	0.0	0.0
28	Pla de l'Estany	112.0	108.5	114.5
29	Priorat	86.8	67.0	60.9
30	Ribera d'Ebre	117.4	43.3	43.3
31	Ripolles	243.0	289.5	226.4
32	Segarra	123.7	134.5	129.8
33	Segria	110.4	0.0	0.0
34	Selva	26.8	75.5	65.6
35	Solsones	138.6	45.0	0.0
36	Tarragones	152.5	13.2	13.2
37	Terra Alta	90.5	32.8	27.0
38	Urgell	492.2	225.8	225.8
39	Vall d'Aran	256.4	244.9	244.5
40	Valles Occidental	135.1	88.6	88.3
41	Valles Oriental	135.1	88.6	88.3

3.7 Densidad de biomasa foliar

Para los bosques de coníferas, caducifolias y esclerófilas se determinaron los valores de la densidad de biomasa foliar por comarca (ver la Tabla 3.24), utilizando la base de datos que se estructuró como parte del IEFEC y los correspondientes pesos de las especies vegetales respectivas.

Para los demás categorías, se utilizaron las densidades de biomasa foliar que se indican en la Tabla 3.25 (Gómez, 1998).

Tabla 3.25: Densidad de biomasa para otros usos del suelo (g m^{-2}) (Gómez, 1998).

Usos del suelo	Densidad de biomasa foliar
Matorral	200
Zona urbana	15
Viñedos	100
Cultivos herbáceos de regadío	198.34
Cultivos herbáceos de secano	210.52
Frutales de regadío	300
Frutales de secano	200
Vegetación de zonas húmedas	198.34

3.8 Resultados

3.8.1 Emisiones horarias del día 15 de agosto de 2000

El 15 de agosto de 2000, se registró la máxima concentración anual de ozono ($273 \mu\text{g m}^{-3}$) en Cataluña (estación de Alcover en la comarca de Alt Camp, Tarragona) para dicho año. La Tabla 3.26 indica los valores y porcentajes de las emisiones horarias durante este día. El valor diario de las emisiones totales se estima en 368 t, de las cuales, 65 t (18 %) corresponden al isopreno, 184 t (50 %) a los monoterpenos y 120 t (32 %) a los OCOV.

Tabla 3.26: Emisiones biogénicas de compuestos orgánicos volátiles en Cataluña durante el día 15 de agosto de 2000.

Hora	Isopreno		Monoterpenos		OCOV		Total	
	t h ⁻¹	%	t h ⁻¹	%	t h ⁻¹	%	t h ⁻¹	%
00 - 01	0.0	0.00	3.3	1.80	2.9	2.42	6.2	1.68
01 - 02	0.0	0.00	3.2	1.74	2.7	2.26	5.9	1.60
02 - 03	0.0	0.00	3.1	1.69	2.7	2.26	5.8	1.58
03 - 04	0.0	0.00	3.0	1.63	2.6	2.17	5.6	1.52
04 - 05	0.1	0.15	2.9	1.58	2.5	2.09	5.5	1.49
05 - 06	0.3	0.46	3.1	1.69	2.5	2.09	5.9	1.60
06 - 07	1.3	2.01	4.5	2.45	3.1	2.59	8.9	2.42
07 - 08	2.6	4.01	6.5	3.54	4.1	3.43	13.2	3.59
08 - 09	3.8	5.86	8.7	4.74	5.2	4.34	17.7	4.81
09 - 10	4.9	7.56	10.7	5.83	6.2	5.18	21.8	5.92
10 - 11	5.9	9.10	12.4	6.75	7.1	5.93	25.4	6.90
11 - 12	6.6	10.19	13.5	7.35	7.6	6.35	27.7	7.53
12 - 13	7.1	10.96	14.6	7.95	8.3	6.93	30.0	8.15
13 - 14	7.3	11.27	15.0	8.17	8.6	7.18	30.9	8.39
14 - 15	7.2	11.11	14.8	8.06	8.6	7.18	30.6	8.31
15 - 16	6.8	10.49	14.0	7.63	8.2	6.85	29.0	7.88
16 - 17	5.8	8.95	12.6	6.86	7.5	6.27	25.9	7.04
17 - 18	3.8	5.86	10.0	5.45	6.5	5.43	20.3	5.51
18 - 19	1.1	1.70	6.9	3.76	5.3	4.43	13.3	3.61
19 - 20	0.2	0.31	5.2	2.83	4.3	3.59	9.7	2.64
20 - 21	0.0	0.00	4.5	2.45	3.8	3.17	8.3	2.25
21 - 22	0.0	0.00	4.0	2.18	3.4	2.84	7.4	2.01
22 - 23	0.0	0.00	3.7	2.02	3.1	2.59	6.8	1.85
23 - 24	0.0	0.00	3.4	1.85	2.9	2.42	6.3	1.71
Total	64.8	100	183.6	100	119.7	100	368.1	100

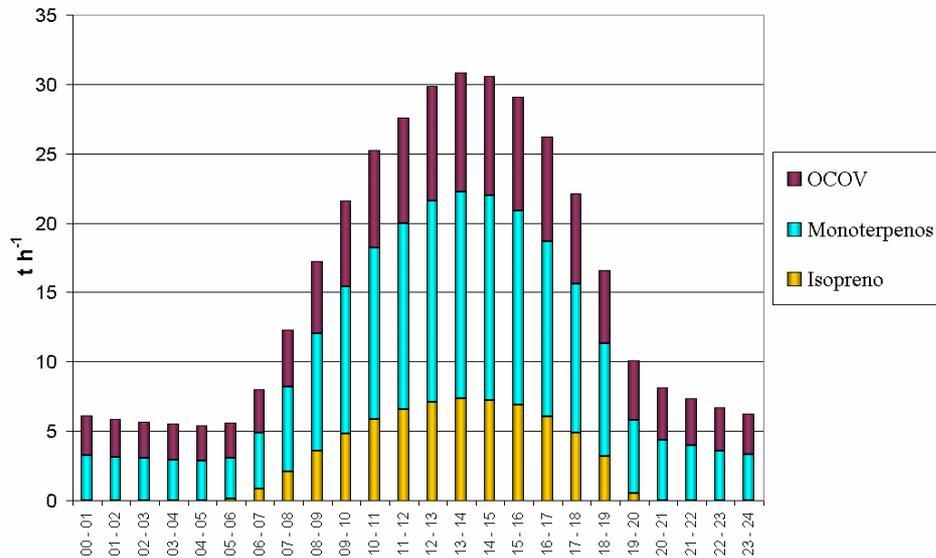


Figura 3.18: Emisiones biogénicas de compuestos orgánicos volátiles en Cataluña durante el día 15 de agosto de 2000.

La Figura 3.18 indica la evolución horaria de las emisiones durante el día 15 de agosto de 2000. Las emisiones de isopreno se presentan en las horas con radiación solar (desde las 06 – 07 hasta las 19 – 20 horas), y sus mayores tasas ocurren entre las 11 y 16 horas (del orden de las 7 t h⁻¹).

Las emisiones de monoterpenos y OCOV se presentan durante las 24 horas, siendo sus tasas de emisión menores en las primeras horas del día (cuando la temperatura ambiente es baja) y mayores durante las horas del mediodía. La emisión de los monoterpenos varían entre 2.9 y 3.3 t h⁻¹ durante las primeras horas del día, y sube hasta 15 t h⁻¹ hacia el mediodía. Durante las primeras horas de la noche, sus tasas de emisión descienden a valores entre 4 t h⁻¹.

Las tasas de emisión de OCOV varían entre 2.5 y 2.9 t h⁻¹ durante las primeras horas del día, y luego se incrementan hasta 8.6 t h⁻¹ hacia el mediodía. Durante las primeras horas de la noche, sus tasas descienden a valores entre 3.4 t h⁻¹.

El 40 % del total diario de las emisiones biogénicas ocurren entre las 11 y las 16 horas, horas en las que tanto la temperatura como la radiación solar son las más altas, y corresponden a condiciones críticas para la formación del O₃ troposférico.

3.8.2 Emisiones biogénicas de los días medios mensuales

Las Figuras 3.19, 3.20, 3.21 y 3.22 indican los perfiles de emisión medios diarios mensuales. Se aprecia claramente el incremento progresivo de las emisiones desde los meses de invierno hasta verano para luego volver a descender en los meses de otoño. En un día típico del mes de enero a las 12 horas, las emisiones totales ascienden a 1.9 t h⁻¹, en tanto que para el día tipo del mes de agosto asciende a 21.6 t h⁻¹ (aproximadamente 11 veces el valor del día medio de enero).

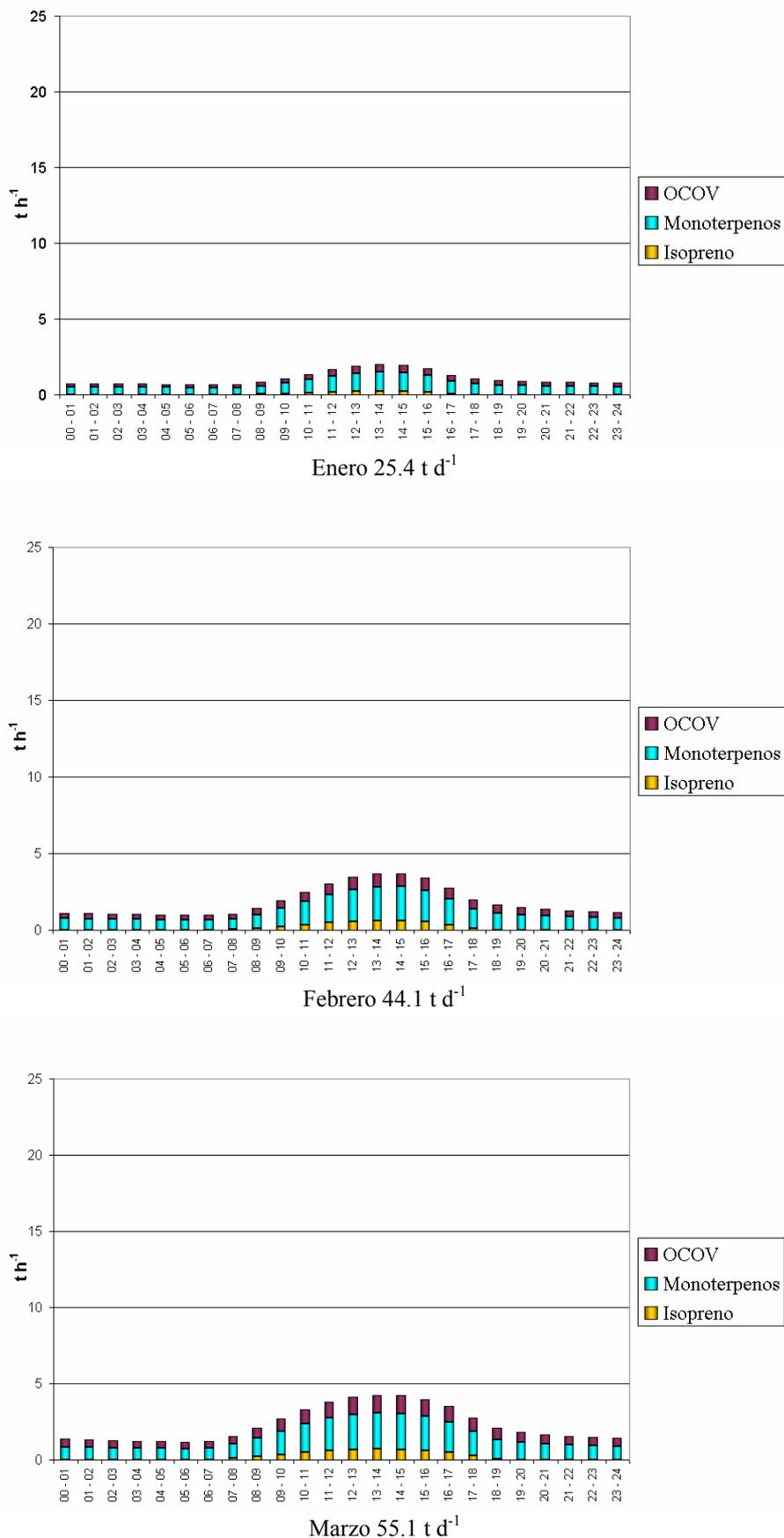


Figura 3.19: Perfiles medios de las emisiones biogénicas diarias de enero - marzo de 2000.

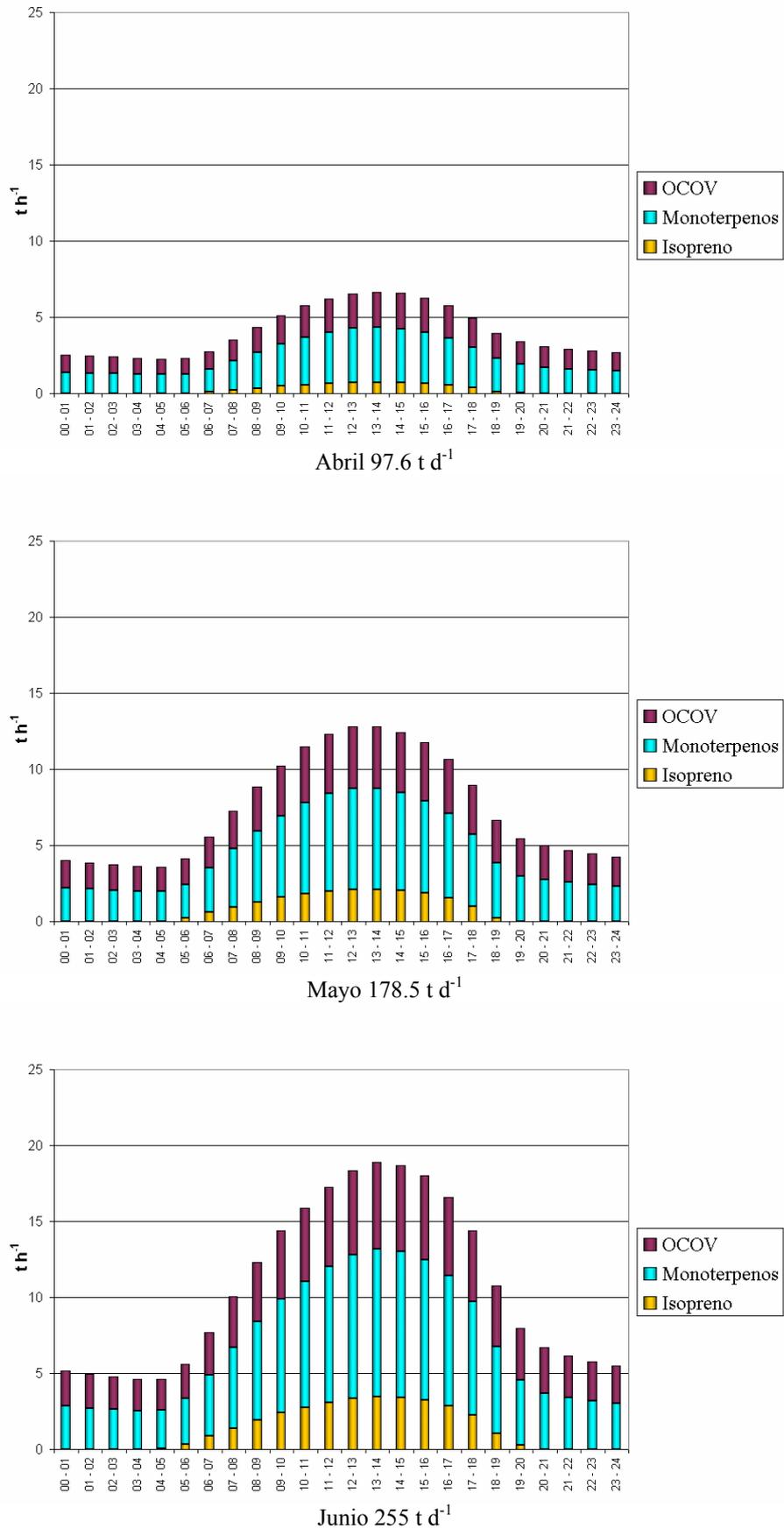


Figura 3.20: Perfiles medios de las emisiones biogénicas diarias de abril - junio de 2000.

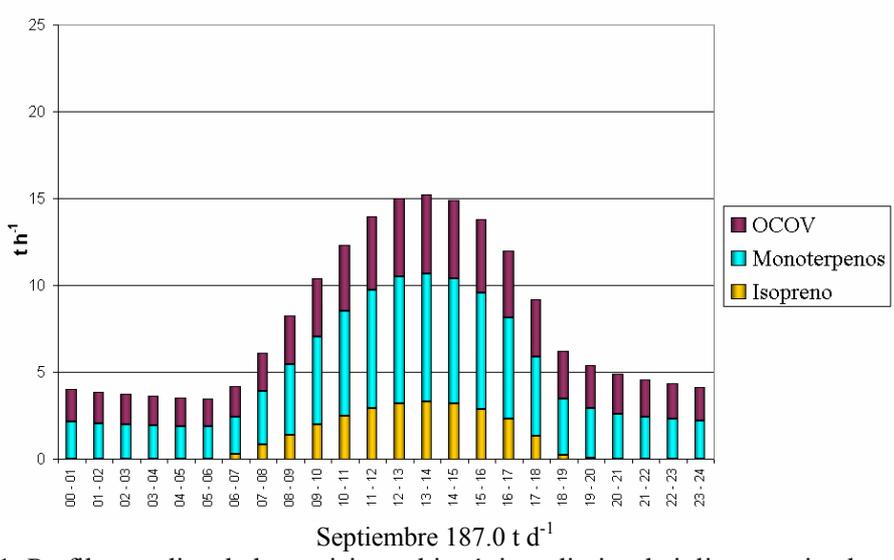
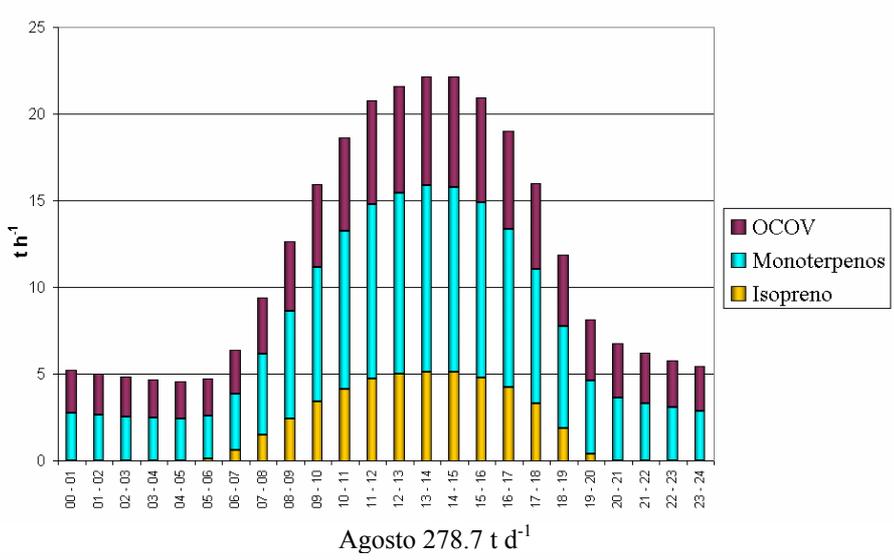
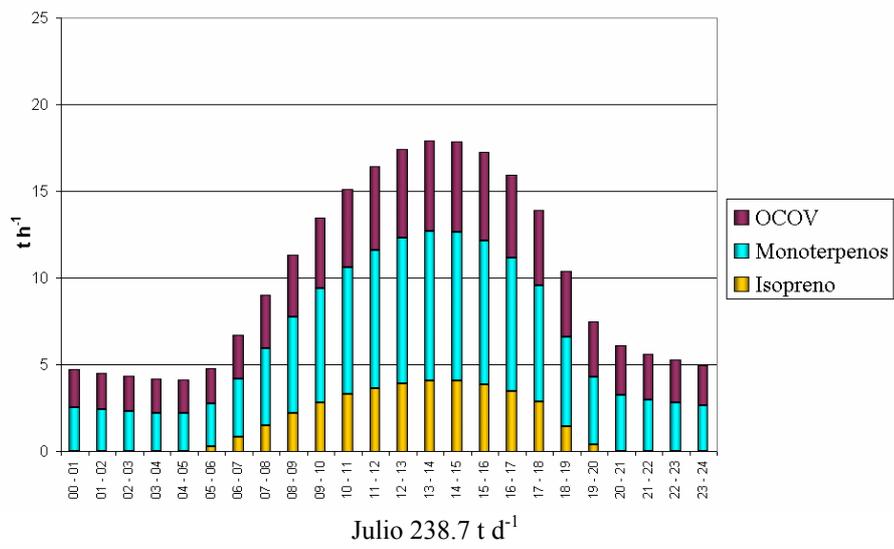


Figura 3.21: Perfiles medios de las emisiones biogénicas diarias de julio – septiembre de 2000.

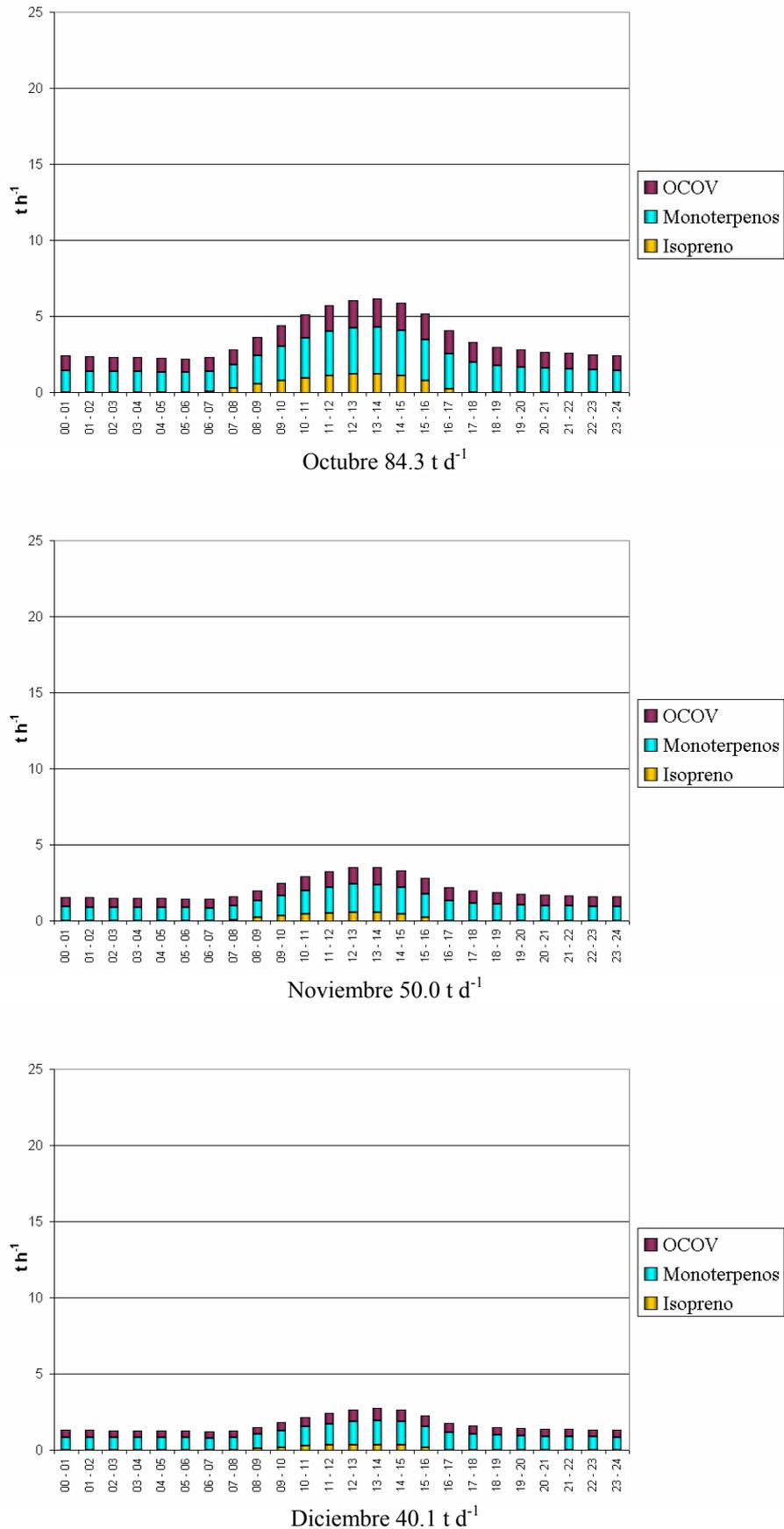


Figura 3.22: Perfiles medios de las emisiones biogénicas diarias de octubre - diciembre de 2000.

3.8.3 Emisiones mensuales y anual

La Tabla 3.27 y la Figura 3.23 presentan la evolución de las emisiones mensuales. En el ciclo anual, las emisiones totales fueron del orden de 46.9 kt; de las cuales, 5.9 kt (13 %) corresponden al isopreno, 24.7 kt (52 %) a los monoterpenos y 16.3 kt (35 %) a los OCOV.

Tabla 3.27: Emisiones biogénicas de compuestos orgánicos volátiles en Cataluña durante el año 2000.

Mes	Isopreno		Monoterpenos		OCOV		Total	
	kt mes ⁻¹	%						
Ene	0.0	0.69	0.5	2.10	0.2	1.39	0.8	1.68
Feb	0.1	1.96	0.8	3.30	0.3	2.15	1.3	2.73
Mar	0.2	2.72	1.0	4.05	0.5	3.36	1.7	3.64
Abr	0.2	3.10	1.6	6.46	1.2	7.07	2.9	6.25
May	0.6	10.10	2.9	11.84	2.0	12.35	5.5	11.80
Jun	1.0	16.56	4.0	16.30	2.6	16.25	7.7	16.32
Jul	1.2	20.14	3.7	14.86	2.5	15.60	7.4	15.78
Ago	1.4	24.38	4.3	17.36	2.9	17.87	8.6	18.42
Sep	0.8	13.30	2.8	11.38	2.0	12.35	5.6	11.96
Oct	0.3	4.26	1.4	5.81	0.9	5.68	2.6	5.57
Nov	0.1	1.70	0.8	3.41	0.6	3.41	1.5	3.20
Dic	0.1	1.09	0.8	3.12	0.4	2.51	1.2	2.65
Total:	5.9	100	24.7	100	16.3	100	46.9	100

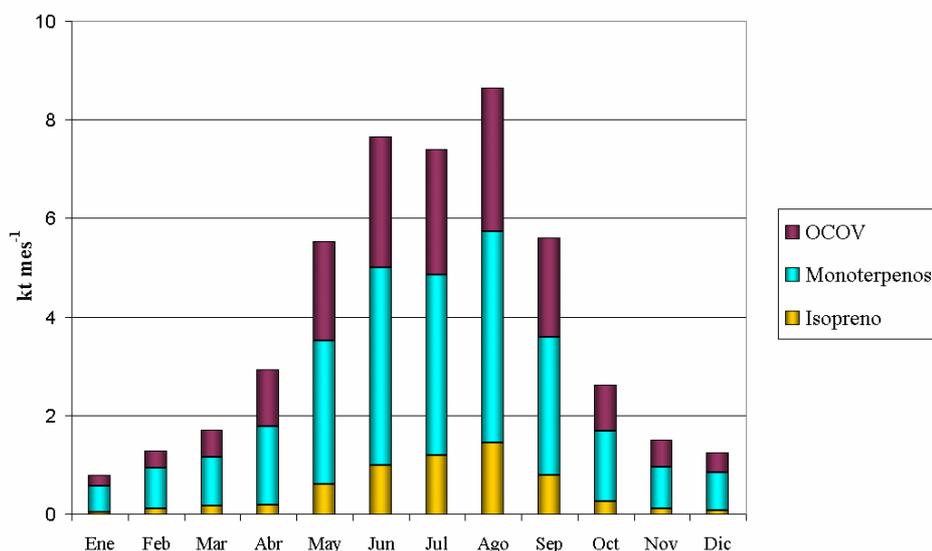


Figura 3.23: Emisiones biogénicas de compuestos orgánicos volátiles en Cataluña durante el año 2000.

La disminución de la emisión en julio se debe a las tasas de emisión más bajas de monoterpenos (con respecto a los factores de emisión de primavera) asignadas a las especies vegetales *Quercus ilex*, *Erica arborea* y *Pinus halepensis*; con el objeto de considerar el efecto del estrés del verano seco en Cataluña, en sus capacidades emisoras (Llusià and Peñuelas, 1998, 2000).

En los meses de otoño e invierno, las emisiones de isopreno varían entre 40 y 252 t mes⁻¹, y durante el período mayo – septiembre suben a valores entre 600 y 1 445 t mes⁻¹. Durante los meses de junio hasta agosto se produce el 60 % de las emisiones anuales de isopreno. La Figura 3.24 presenta la distribución geográfica del ciclo anual de incremento y descenso de las emisiones de isopreno para los días medios mensuales.

En los meses de otoño e invierno, las emisiones de monoterpenos varían entre 518 y 1 435 t mes⁻¹, y durante el período mayo – septiembre suben a valores entre 2 923 y 4 284 t mes⁻¹. Durante los meses de junio hasta agosto se produce el 49 % de las emisiones anuales de monoterpenos. La Figura 3.25 presenta la distribución geográfica del ciclo anual de incremento y descenso de las emisiones de monoterpenos para los días medios mensuales.

En los meses de otoño e invierno, las emisiones de OCOV varían entre 227 y 926 t mes⁻¹, y durante el período mayo – septiembre suben a valores entre 2 011 y 2 910 t mes⁻¹. Durante los meses de junio hasta agosto se produce el 50 % de las emisiones anuales de OCOV. La Figura 3.26 presenta la distribución geográfica del ciclo anual de incremento y descenso de las emisiones de OCOV para los días medios mensuales.

Globalmente, en los meses de junio hasta agosto se produce el 50 % de la emisión anual. Los mayores porcentajes mensuales por especie se presentan en el mes de agosto (24 % isopreno, 17 % monoterpenos, 17 % OCOV).

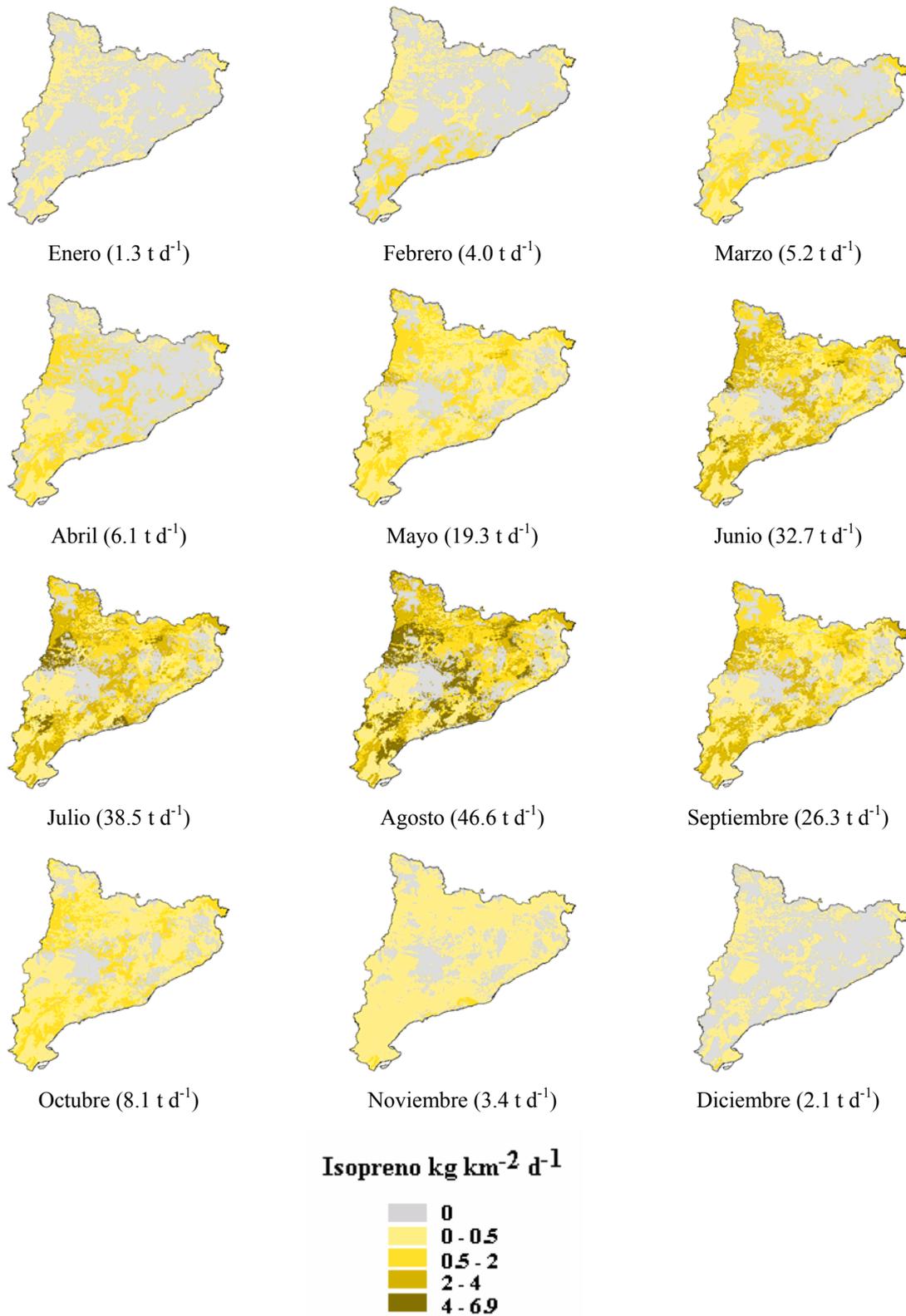


Figura 3.24: Evolución de las emisiones medias diarias de isopreno en Cataluña durante el año 2000.

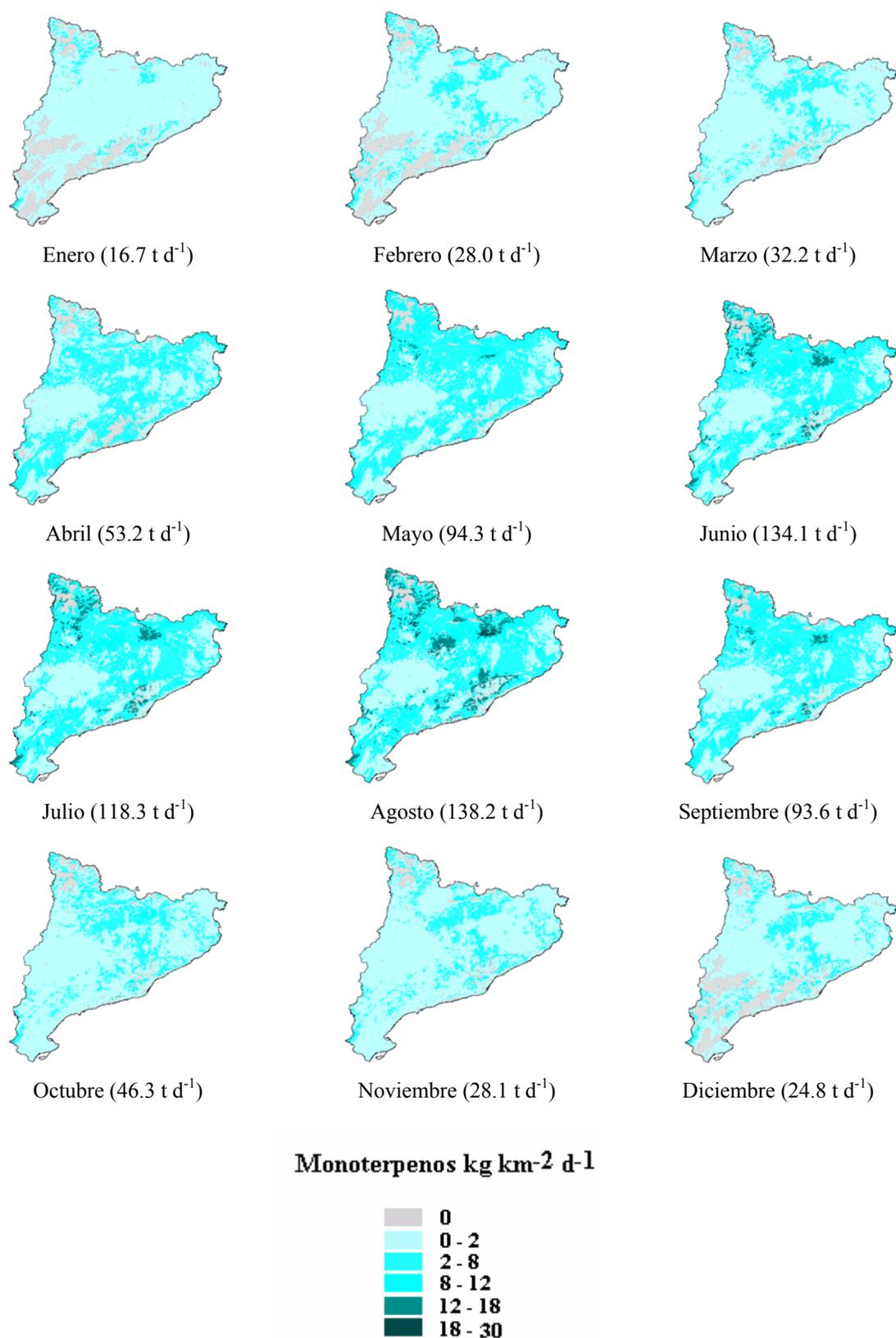


Figura 3.25: Evolución de las emisiones medias diarias de monoterpenos en Cataluña durante el año 2000.

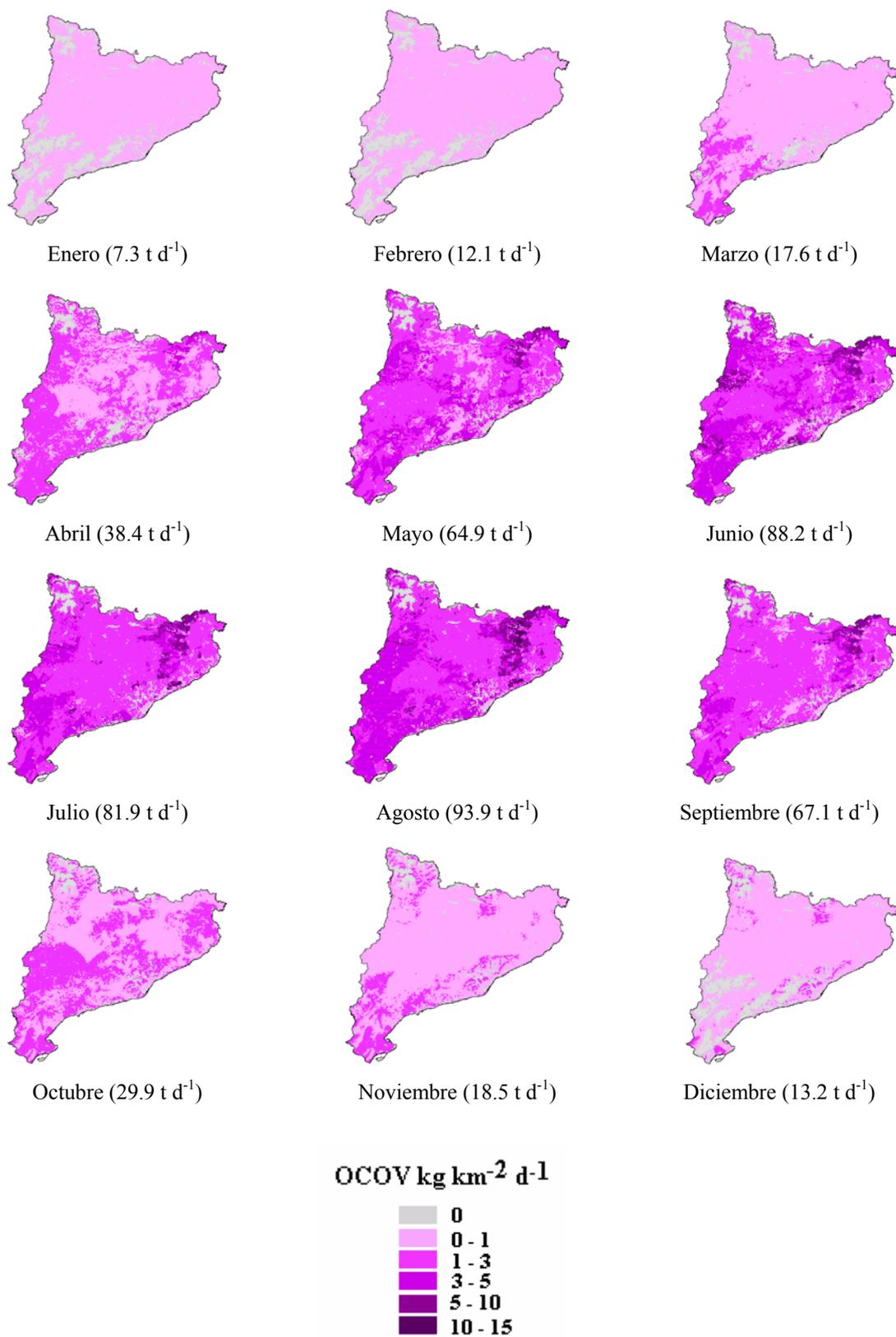


Figura 3.26: Evolución de las emisiones medias diarias de OCOV en Cataluña durante el año 2000.

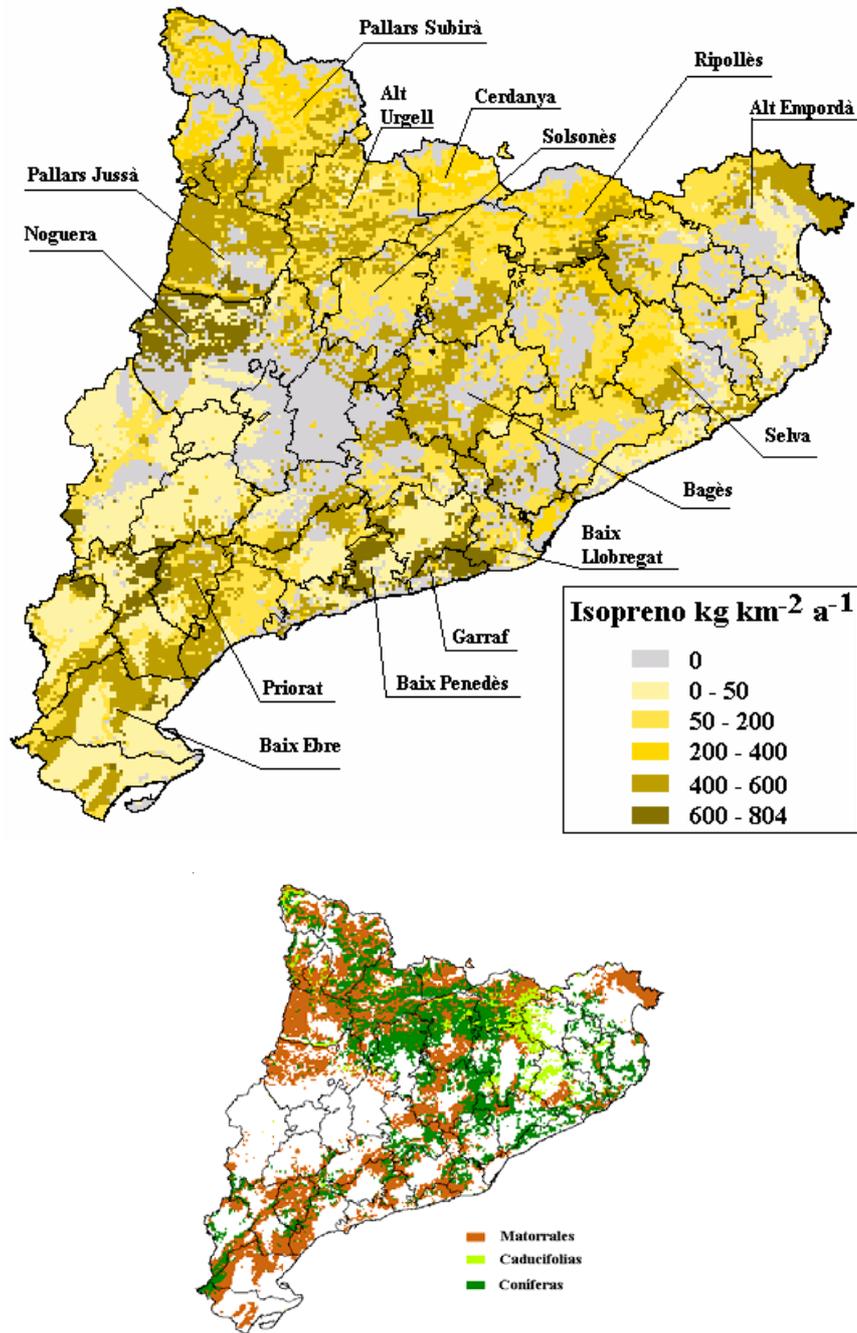


Figura 3.27: Distribución de la emisión de isopreno en Cataluña durante el año 2000

La Figura 3.27 indica la distribución geográfica de la emisión anual de isopreno. Entre las comarcas que presentan tanto las mayores zonas y tasas emisión se encuentran Noguera, Pallars Jussà, Garraf, Baix Penedès, Ripollès, Alt Empordà y Priorat. Las zonas de mayor emisión de isopreno corresponden a las categorías de uso de suelo de matorrales y bosque de coníferas, y en menor grado al bosque de caducifolias.

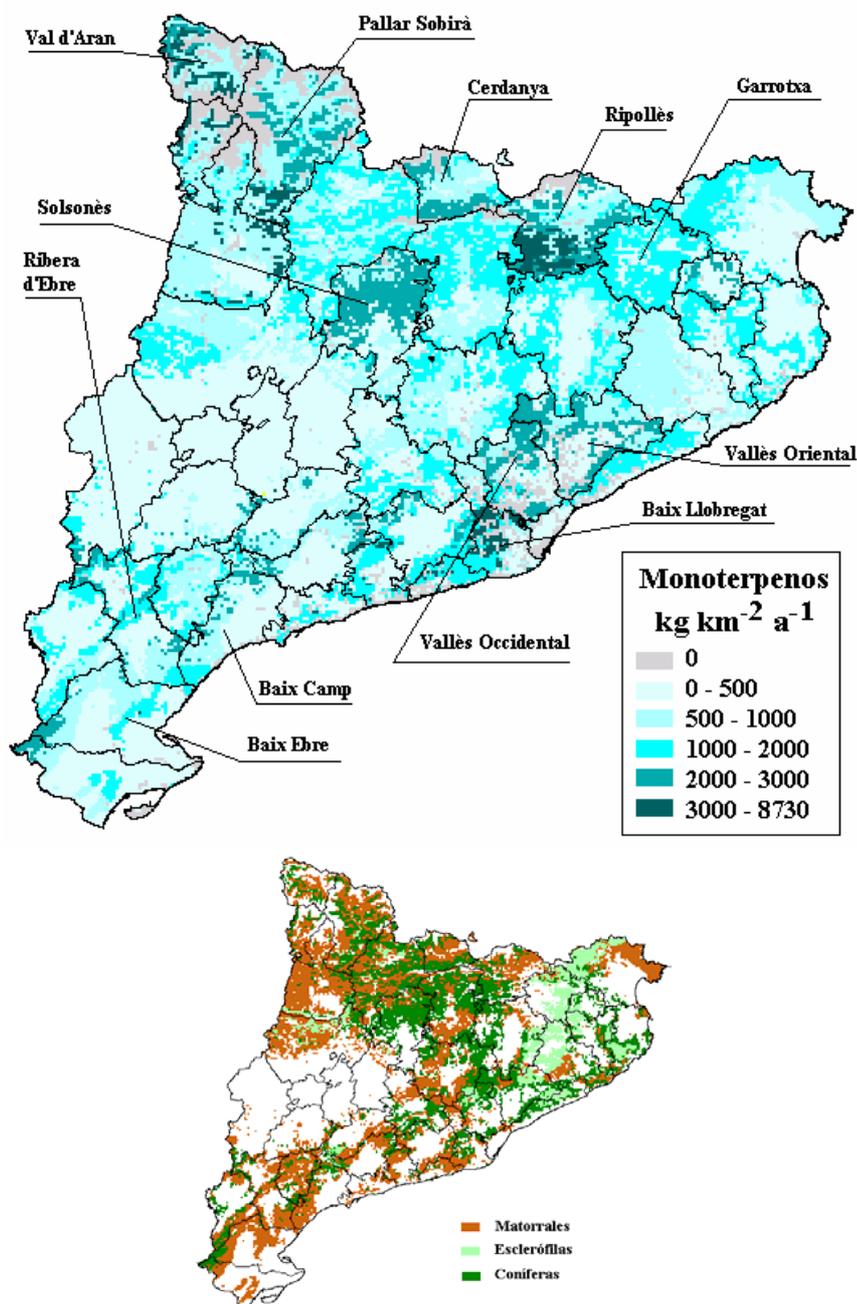


Figura 3.28: Distribución de la emisión de monoterpenos en Cataluña durante el año 2000.

La Figura 3.28 indica la distribución geográfica de la emisión anual de monoterpenos. Entre las comarcas que presentan tanto las mayores zonas y tasas emisión se encuentran Ripollès, Baix Llobregat, Solsonès, Pallars Subirà, Cerdanya y Vallès Occidental. Las zonas de mayor emisión de monoterpenos corresponden a las categorías de uso de suelo de bosque de coníferas, matorrales, y en menor grado al bosque de esclerófilas.

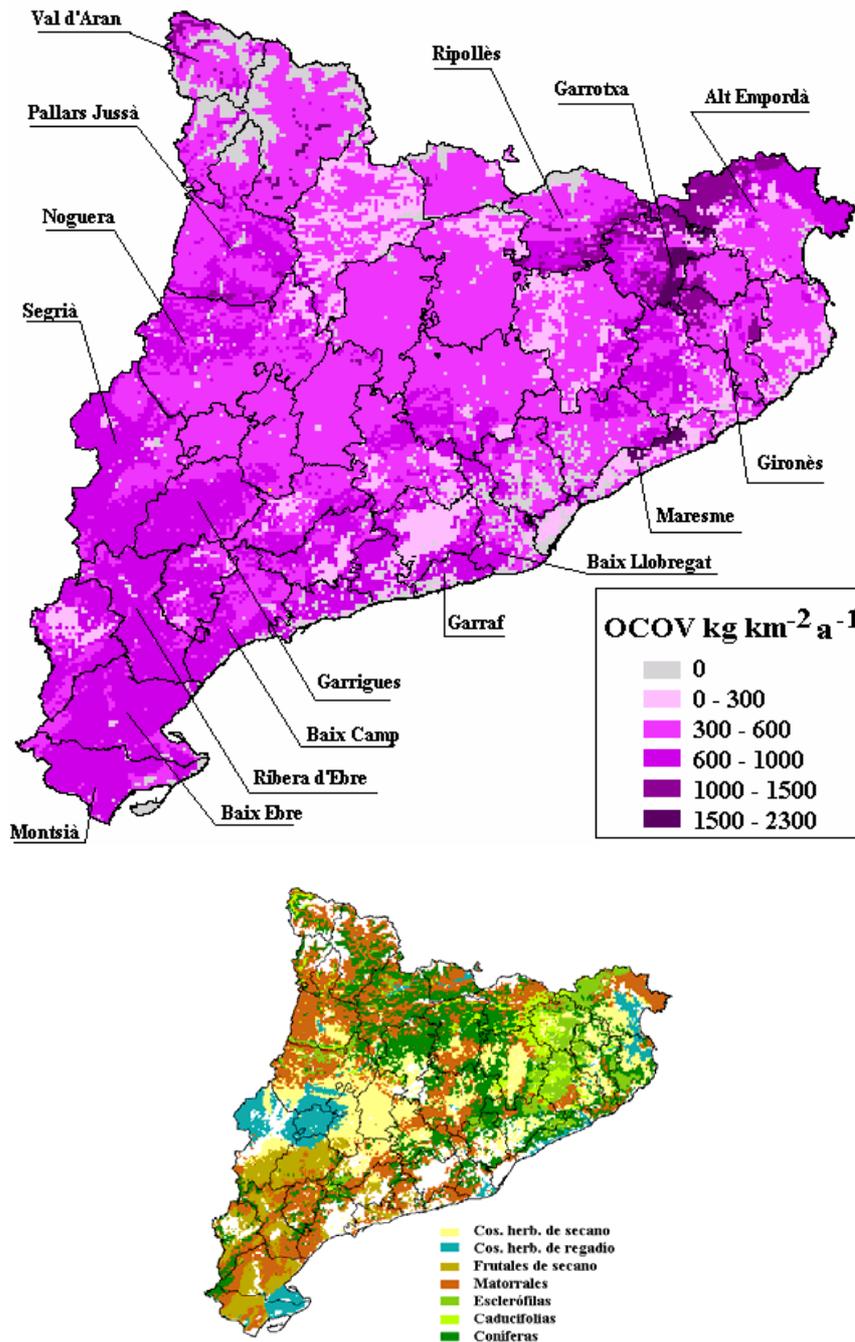


Figura 3.29: Distribución de la emisión de OCOV en Cataluña durante el año 2000.

La Figura 3.29 indica la distribución geográfica de la emisión anual de OCOV. Entre las comarcas que presentan tanto las mayores zonas y tasas emisión en encuentran Garrotxa, Alt Empordà, Gironès, Ripollès; y en menor grado, Garrigues, Baix Camp, Baix Ebre, Montsià y Segrià. Las zonas de mayor emisión de OCOV corresponden a las categorías de uso de suelo de matorrales, bosque de coníferas, cultivos herbáceos de secano, y en menor grado al bosque de esclerófilas y frutales de secano.

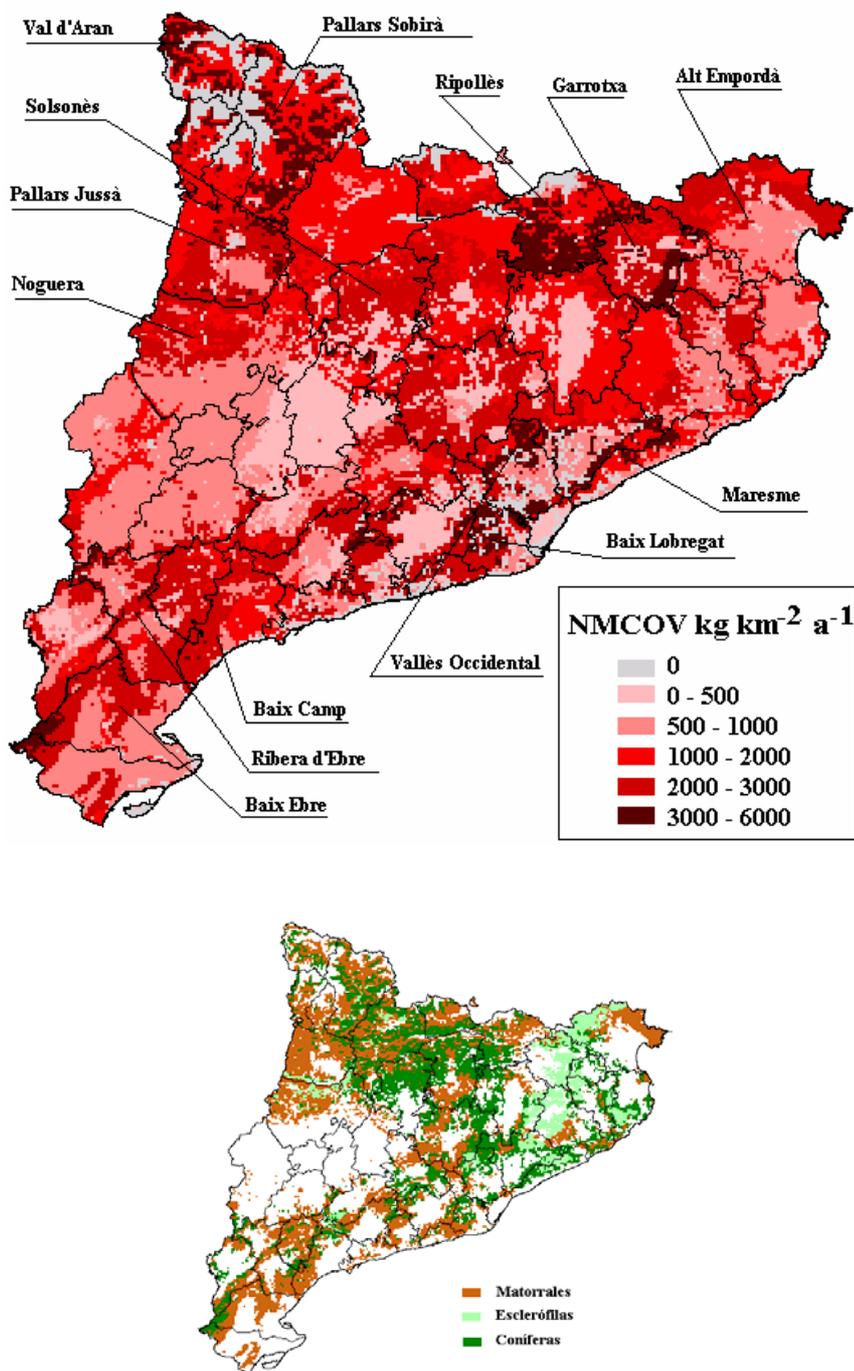


Figura 3.30: Distribución de las emisiones biogénicas totales en Cataluña durante el año 2000.

La Figura 3.30 indica la distribución geográfica de la emisión total anual compuestos orgánicos volátiles. Entre las comarcas que tienen tanto las mayores zonas y tasas emisión se encuentran Ripollès, Garrotxa, Alt Empordà, Maresme, Baix Llobregat, Vallès Occidental, Pallars Sobirà y Solsonès. Las zonas de mayor emisión corresponden a las categorías de uso de suelo de bosque de coníferas, matorrales; y en menor grado al bosque de esclerófilas.

3.8.4 Emisiones por tipo de uso de suelo

La Tabla 3.28 y la Figura 3.31 indican la distribución de las emisiones por categorías de uso del suelo. Las principales categorías emisoras de isopreno son los matorrales (77 %) y el bosque de coníferas (10 %). Las principales categorías emisoras de monoterpenos son el bosque de coníferas (53 %) y los matorrales (31 %). Las principales fuentes de OCOV son los matorrales (31 %), bosque de coníferas (15 %), cultivos herbáceos de secano (15 %), y en menor grado, el bosque de esclerófilas (12 %) y los frutales de secano (11 %).

Globalmente, las categorías con mayor capacidad emisora de compuestos orgánicos volátiles son los matorrales (37 %), el bosque de coníferas (34 %) y bosque de esclerófilas (8 %).

La Figura 3.32 resume los porcentajes de emisión más significativos de las diferentes categorías de uso del suelo. Ratificando lo indicado anteriormente, se observa que el isopreno y los monoterpenos se emiten principalmente desde los matorrales y el bosque de coníferas. Para los OCOV hay una mayor participación de otras categorías de suelo, como los cultivos herbáceos y frutales de secano y bosque de esclerófilas.

Tabla 3.28: Emisiones biogénicas de compuestos orgánicos volátiles en Cataluña durante el año 2000 por usos del suelo.

Código	Descripción	Isopreno		Monoterpenos		OCOV		Total	
		t a ⁻¹	%						
7	Núcleos urbanos	111	1.88	24	0.10	8	0.05	143	0.31
9	Cultivos herb. de secano	0	0.00	88	0.36	2 501	15.36	2 590	5.52
10	Cultivos herb. de regadío	6	0.09	60	0.24	1 111	6.82	1 177	2.51
11	Frutales de secano	6	0.11	40	0.16	1 752	10.76	1 797	3.83
12	Frutales de regadío	46	0.78	303	1.23	464	2.85	812	1.73
13	Viñedos	5	0.09	6	0.02	145	0.89	156	0.33
15	Matorrales	4 590	77.42	7 676	31.10	5 197	31.91	17 462	37.24
16	Bosque de esclerófilas	147	2.48	1 751	7.10	1 886	11.58	3 784	8.07
17	Bosque de caducifolias	449	7.58	1 740	7.05	813	4.99	3 002	6.40
18	Bosque de coníferas	567	9.57	12 989	52.63	2 409	14.79	15 965	34.05
19	Zonas húmedas	0	0.01	1	0.00	0	0.00	1	0.00
Total		5 928	100	24 677	100	16 285	100	46 891	100

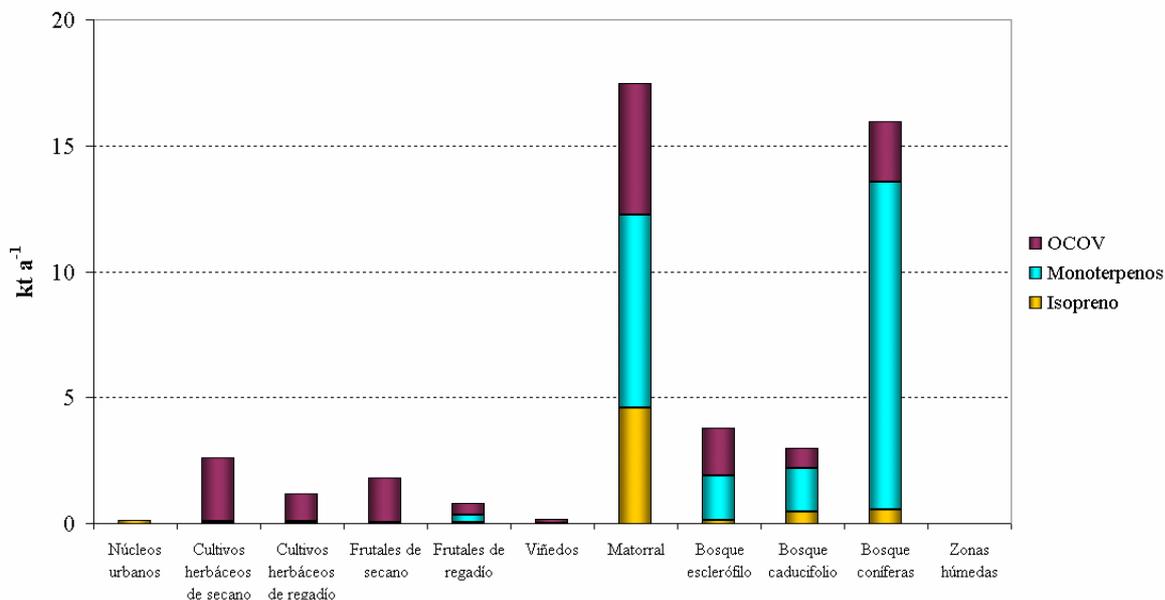


Figura 3.31: Emisiones biogénicas de compuestos orgánicos volátiles en Cataluña durante el año 2000 por usos del suelo.

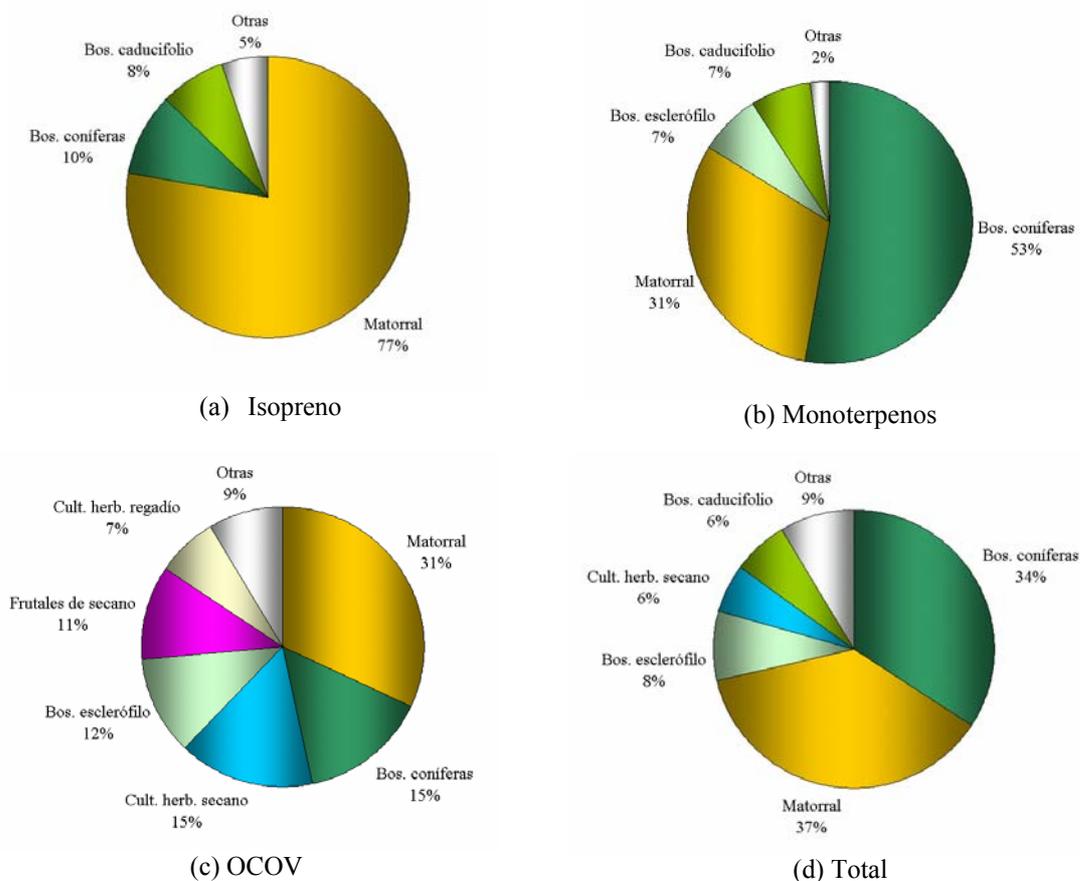


Figura 3.32: Distribución porcentual por usos del suelo de las emisiones biogénicas de compuestos orgánicos volátiles en Cataluña durante el año 2000.

3.9 Especiación

La especiación de las emisiones biogénicas de los NMCOV, según el mecanismo fotoquímico CB4, se elaboró mediante la asignación según las categorías indicadas en la Tabla 3.29. El isopreno es considerado de manera explícita, dentro de la categoría ISOP. Los monoterpenos se distribuyen con pesos diferentes en las categorías ALD2 (acetaldehído y otros aldehídos pesados), OLE (enlace olefinico C=C) y PAR (enlace parafínico C-C) Los OCOV se distribuyen en las categorías OLE, PAR y NR (no reactivos). CB4 considera la categoría (TERPB) que abarca a los monoterpenos para estudios de formación de aerosoles. Las emisiones por cada especie se cuantifican por medio de la Ecuación 3.11:

$$E_{ij}^{\text{mol}}(k) = \frac{E_i^{\text{mas}}(k) \cdot \text{factor}_{ij}}{\text{pmol}_i} \quad 3.11$$

Siendo:

$E_{ij}^{\text{mol}}(k)$: emisión horaria (mol h^{-1}) en la celda k de la categoría j del mecanismo CB4 (ver la Tabla 3.29), que se asocia al COV tipo i (isopreno, monoterpenos, OCOV).

$E_i^{\text{mas}}(k)$: emisión horaria (g h^{-1}) en la celda k del COV tipo i (isopreno, monoterpenos, OCOV).

factor_{ij} : factor de asignación del COV emitido i, a la categoría j del mecanismo CB4.

pmol_i : peso de una mol del COV i (g mol^{-1}).

Tabla 3.29: Asignación de categorías de las emisiones biogénicas dentro del mecanismo químico Carbon Bond 4 (USEPA, 2003c).

Especie emitida	Categoría j (CB4 bond group)	Descripción de la categoría	factor_{ij}	pmol_i
Isopreno	ISOP	Isopreno	1	68.12
Monoterpenos	ALD2	Acetaldehído y otros aldehídos pesados	1.5	136.23
Monoterpenos	OLE	Enlace olefinico C=C	0.5	136.23
Monoterpenos	PAR	Enlace parafínico C-C	6	136.23
Monoterpenos	TERPB	Monoterpenos	1	136.23
OVOC	NR	No reactivos	0.5	148
OVOC	OLE	Enlace olefinico C=C	0.5	148
OVOC	PAR	Enlace parafínico C-C	8	148

3.10 Componentes del modelo emisiones biogénicas dentro de EMICAT2000

El modelo de emisiones biogénicas se estructura con tres componentes esenciales según se indica en la Figura 3.33:

- ❑ El primer componente que almacena y gestiona la información base requerida por el modelo de cálculo adoptado (mapa de usos del suelo, factores de emisión, etc.).
- ❑ El segundo elemento incorpora los algoritmos para la interpolación de los datos meteorológicos (Kriging) y de los modelos de cálculo de las emisiones que se describieron en la sección 3.2.
- ❑ El tercer componente realiza el postproceso de la información, mediante la generación de los mapas de emisión y de los archivos alfanuméricos con especiación de las emisiones según lo requerido por el mecanismo fotoquímico CB4.

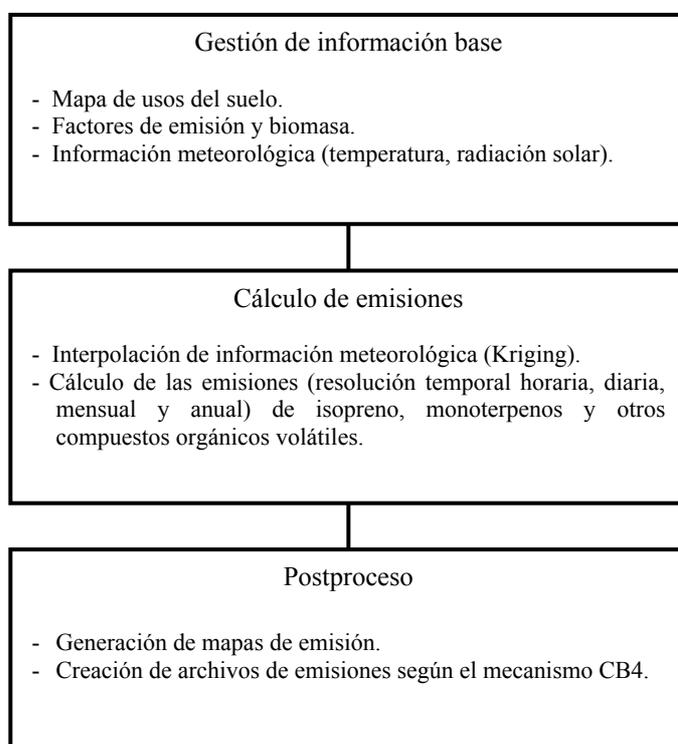


Figura 3.33 : Componentes del modelo de emisiones biogénicas de EMICAT2000.

3.11 Protocolo de calidad

A fin de garantizar la congruencia de los cálculos efectuados por el modelo de emisiones biogénicas implementado en EMICAT2000, se efectuaron las siguientes actividades:

- ❑ Validación de la información registrada en las diferentes estaciones meteorológicas: Como ya se indicó anteriormente, se realizó un análisis global de la información meteorológica (temperatura y radiación solar) en cada estación para descartar registros con errores evidentes.
- ❑ Comprobación del algoritmo de cálculo. Para comprobar el correcto funcionamiento del sistema informático, se procedió a estructurar todo el modelo de cálculo en hoja electrónica. Se comprobó que las emisiones globales (sumando los valores obtenidos para cada celda con EMICAT2000) son efectivamente similares a las obtenidas mediante el cálculo en hoja electrónica.
- ❑ Comparación con otros inventarios. Un criterio importante en este sentido, se refiere a la comparación de las emisiones obtenidas, con otros inventarios desarrollados para el mismo ámbito. Como se indicó anteriormente este enfoque forma parte del análisis de la incertidumbre que se presenta a continuación.

3.12 Incertidumbre

La diversidad vegetal de la zona mediterránea, la compleja interacción de factores internos y externos, así como otros de tipo biótico y abiótico (de los cuales aún se tiene un conocimiento limitado), son elementos que implican una elevada incertidumbre en la estimación de este tipo de emisiones. Sólo una parte (los elementos más conocidos, entendidos o de menos dificultad de ser incorporados en un modelo matemático) de la compleja red de interacciones es incorporada en los modelos de emisiones (Peñuelas *and* Llusià, 2001b). A más de la formulación matemática del modelo, una parte importante de la incertidumbre corresponde también a la variabilidad de los parámetros de cálculo, especialmente de los factores de emisión.

Son aún contados los inventarios de emisiones biogénicas de NMCOV que incluyen una valoración cuantitativa detallada de su incertidumbre. En varios artículos solamente se indican factores asociados con la variación esperada de las emisiones.

Guenther *et al.* (2000) presentan una valoración de las emisiones biogénicas para Norte América (probablemente la región que dispone los inventarios más fiables, tanto por la información de base como por los modelos utilizados) , y asocia un factor de 3 como probable medida de la incertidumbre en el ciclo anual, e indica que puede haber mayor incertidumbre (hasta un factor de 10) en las emisiones de tipo local y en períodos más cortos de tiempo (como en el caso de las emisiones horarias que se utilizan como información de entrada en un MTQ).

Simpson *et al.* (1995) presentan una valoración de las emisiones biogénicas en Europa, e indica que un factor de 3 constituye un límite mínimo para la incertidumbre de las emisiones totales en el ciclo anual. Indica también que es probable que los factores de incertidumbre sean substancialmente mayores (entre 5 y 10) para el caso de valoraciones episódicas.

Simon *et al.* (2001) asignan los siguientes factores de incertidumbre a su estimación de las emisiones biogénicas anuales en Francia: 4 para el isopreno, 5 para los monoterpenos, 7 para los OCOV y 5 para el total de las emisiones biogénicas.

Para el inventario de Cataluña, se resalta nuevamente la carencia de factores de emisión locales para el isopreno y la disponibilidad de un conjunto de factores de emisión (algunos con

diferenciación estacional) para los monoterpenos. Para los OCOV hay pocas medidas de emisión realizadas en Cataluña.

Para varias especies vegetales, sólo se pudo localizar un único factor de emisión, lo que implica la no disponibilidad de información estadística para describir su variabilidad. En estas condiciones, se vuelve difícil emprender en una valoración cuantitativa total de la incertidumbre.

Sin embargo, por ser importante empezar a incorporar este componente en los inventarios de emisiones, se desarrollaron los análisis de incertidumbre que se presentan a continuación:

3.12.1 Valoración preliminar de la incertidumbre de las emisiones de monoterpenos para el día 15 de agosto de 2000

Se desarrolló una valoración preliminar de las emisiones de monoterpenos para el día 15 de agosto de 2000, mediante el método de Monte Carlo, partiendo de las siguientes hipótesis:

- ❑ Se asume un valor fijo horario para los parámetros meteorológicos (temperatura y radiación solar) en cada celda del dominio.
- ❑ Los factores de emisión de las especies asociadas a los usos del suelo con mayor porcentaje de emisión anual de monoterpenos (matorrales, bosques de coníferas, esclerófilas y caducifolias), presentan una distribución normal, con valores medios iguales a los indicados en la Tabla 3.22. Los valores de la desviación estándar se obtuvieron directamente de las mismas fuentes de consulta, o se calcularon del grupo de factores de emisión recopilados y presentados en Parra (2002). La Tabla 3.30 indica los valores medios de los factores de emisión y los respectivos valores de la desviación estándar.
- ❑ Se asume un valor fijo para los factores de emisión de las especies asociadas a las demás categorías (todas ellas tienen un peso emisor menor al 2 % en el ciclo anual).

Para cada especie de la Tabla 3.30 se generaron 1 200 números aleatorios con distribución normal (valores medios y de desviación estándar iguales a los indicados) obteniéndose igual número de listas de factores de emisión, similares a las indicadas en la Tabla 3.23. Se asignaron 50 listas de factores de emisión a cada hora del día 15 de agosto, y se procedió al cálculo de las emisiones biogénicas con cada una de ellas.

Con los 50 resultados obtenidos para cada hora, se establecieron los respectivos valores medios y de desviación estándar de las emisiones de monoterpenos en todo el territorio de Cataluña, habiéndose obtenido los intervalos de confianza indicados en la Tabla 3.31 y la Figura 3.34.

De acuerdo con estos resultados, se observan diferencias de hasta 4 veces entre los límites superior e inferior de los intervalos de confianza al 95 %. Se esperaría que estas diferencias sean mayores al analizar la variabilidad de los datos en una celda específica del dominio de análisis. Esta valoración de la incertidumbre nos proporciona una aproximación preliminar sobre la variación esperada en las emisiones horarias de los monoterpenos, y nos indica que podemos esperar variaciones de la menos ± 60 % del valor total de la emisión en Cataluña. Para el caso de ámbitos locales, pueden haber diferencias con factores hasta de 10 (Guenther *et al.*, 2000). Los factores de incertidumbre anuales indicados por Simon *et al.* (2001) pueden ser considerados como factores mínimos para Cataluña.

Tabla 3.30: Valores medios y de las desviaciones estándar de los factores de emisión de monoterpenos ($\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$).

Categoría	Especies vegetales asociada	Factor de emisión	Desviación estándar
Matorral	<i>Arbustus unedo</i>	2.2	1.46
	<i>Erica arborea</i>	6.6	7.45 (1)
	<i>Pistacia lentiscus</i>	0.6	0.13
	<i>Quercus coccifera</i>	4.3	3.73 (1)
	<i>Quercus ilex</i>	7.5	1.16 (1)
	<i>Rosmanirus officinalis</i>	2.2	2.26
	<i>Rubus ulmifolius</i>	0.35	0.19
	<i>Thymus vulgaris</i>	0.25	0.19
Bosque de coníferas	<i>Pinus halepensis</i>	6.4	1.6 (1)
	<i>Pinus sylvestris</i>	7.9	7.8 (1)
	<i>Pinus pinea</i>	6.5	1.38
	<i>Pinus nigra</i>	7.64	4.9
	<i>Pinus uncinata</i>	0.9	0.6
	<i>Abies Alba</i>	9.3	8.84
	<i>Pinus pinaster</i>	0.2	0.1
Bosque esclerófilo	<i>Quercus ilex</i>	7.5	1.16 (1)
	<i>Quercus suber</i>	0.2	0.1
	<i>Pinus sylvestris</i>	7.9	7.8 (1)
	<i>Pinus nigra</i>	7.64	4.9
Bosque caducifolio	<i>Pinus sylvestris</i>	7.9	7.8 (1)
	<i>Quercus ilex</i>	7.5	1.16 (1)
	<i>Fagus sylvatica</i>	0.40	0.23
	<i>Castanea sativa</i>	11.18	8.70
	<i>Quercus petraea</i>	0.35	0.20

(1) Obtenidos directamente de la fuente indicada en la Tabla 3.22.

Los recursos temporales e informáticos empleados para esta actividad fueron importantes. La inclusión de la variabilidad de otros parámetros (meteorología, densidad de biomasa foliar), y la valoración de la incertidumbre del isopreno y del OCOV demandaría del mismo modo una cantidad importante de recursos. Uno de los elementos limitantes se debe a la falta de habilidad del SIG para generar por su propia cuenta los números aleatorios (o de aceptar en las bases de datos registros con incertidumbre), lo que implicó que la preparación de las listas de los factores de emisión aleatorios se hayan tenido que hacer con herramientas auxiliares (hoja electrónica y programas estadísticos), invirtiendo una cantidad importante de tiempo.

Tabla 3.31: Valores horarios e intervalos de confianza del 95 % de las emisiones de monoterpenos para el día 15 de agosto de 2000 ($t h^{-1}$).

Hora	Valores medios	Desv. estándar	Intervalo de confianza del 95 %		Relación s/i
			Inferior (i)	Superior (s)	
00 - 01	3.0	0.76	1.5	4.5	3.0
01 - 02	3.2	0.82	1.5	4.8	3.1
02 - 03	3.0	0.86	1.4	4.7	3.5
03 - 04	3.0	0.95	1.2	4.9	4.2
04 - 05	2.9	0.81	1.4	4.5	3.3
05 - 06	3.0	0.89	1.2	4.7	3.8
06 - 07	4.5	1.07	2.5	6.6	2.7
07 - 08	6.1	1.31	3.5	8.6	2.5
08 - 09	8.4	1.88	4.7	12.1	2.6
09 - 10	11.2	2.46	6.4	16.1	2.5
10 - 11	12.9	3.09	6.8	19.0	2.8
11 - 12	13.4	2.72	8.1	18.8	2.3
12 - 13	15.4	3.38	8.7	22.0	2.5
13 - 14	16.6	3.27	10.2	23.0	2.3
14 - 15	15.6	3.61	8.6	22.7	2.7
15 - 16	14.3	3.32	7.8	20.8	2.7
16 - 17	12.7	2.64	7.5	17.9	2.4
17 - 18	11.0	2.23	6.6	15.3	2.3
18 - 19	8.1	2.01	4.1	12.0	2.9
19 - 20	5.7	1.66	2.4	8.9	3.7
20 - 21	4.4	1.33	1.8	7.0	3.9
21 - 22	4.2	1.02	2.3	6.2	2.8
22 - 23	3.7	1.01	1.7	5.7	3.3
23 - 24	3.3	0.92	1.5	5.1	3.4

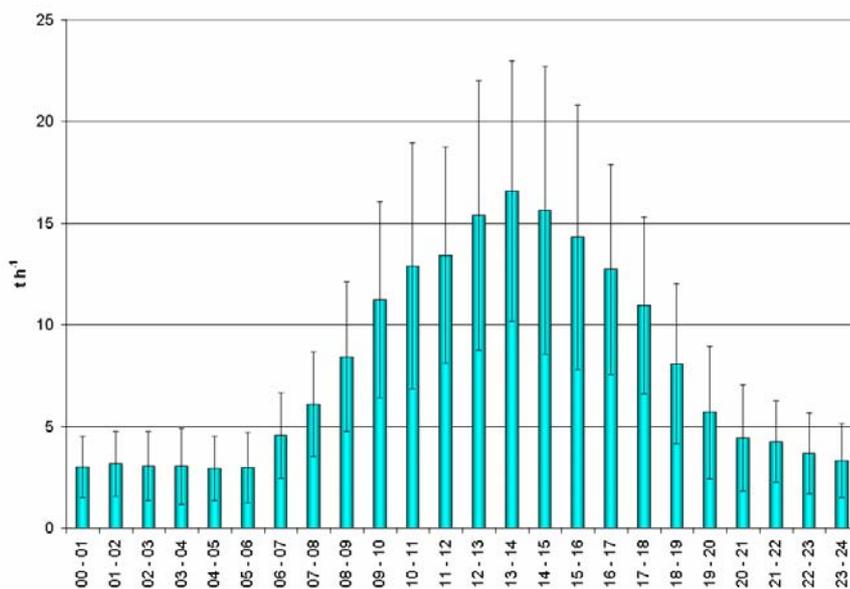


Figura 3.34: Valores horarios e intervalos de confianza del 95 % de las emisiones de monoterpenos para el día 15 de agosto de 2000.

3.12.2 Evaluación cualitativa de la incertidumbre de las emisiones biogénicas del año 2000

Se presenta una evaluación cualitativa de la incertidumbre mediante la aplicación de un sistema de calificación numérica de los factores de emisión y de los parámetros que conforman la información de sustento del inventario. Se utilizó como referencia, el sistema *Data Attribute Ratings System (DARS)* (USEPA, 2003a), adaptado para esta aplicación específica. Se califica en una escala de 1 (la peor situación) al 10 (la mejor situación), varios atributos de los factores de emisión y de los parámetros utilizados como información base para determinar el nivel de actividad (en este caso, la temperatura, PAR, densidad de biomasa foliar y mapa de usos del suelo). Los atributos analizados son los siguientes:

- ❑ *Método de medida*: se refiere concretamente a la calificación de los factores de emisión o de los parámetros base, en función del tipo de medida mediante el cuál fueron establecidos. En orden decreciente de calidad, se asignan valores cada vez menores cuando se utilizaron medidas en continuo, muestras grandes representativas, muestras pequeñas, o cuando han sido establecidas indirectamente.
- ❑ *Congruencia espacial*: se refiere a la representatividad del factor de emisión o del parámetro a la situación propia de Cataluña.
- ❑ *Congruencia temporal*: califica la representatividad del factor de emisión o del parámetro en el transcurso del año.

Para cada atributo se obtiene el promedio de la calificación de los parámetros base y este valor se multiplica por la correspondiente calificación de los factores de emisión de isopreno, monoterpenos y OCOV. Finalmente para calificar la calidad de las emisiones, se obtiene el valor medio de los productos obtenidos para los tres atributos analizados. La Tabla 3.32 indica las calificaciones asignadas y los criterios de sustento. De la calificación integral se deduce que el inventario anual de las emisiones de monoterpenos es el de mejor calidad o con menor grado de incertidumbre (73 puntos). Las emisiones de OCOV presentan la peor calidad o son las de mayor incertidumbre (47 puntos). Las emisiones de isopreno tienen cualitativamente un nivel de incertidumbre intermedia baja, entre los dos casos anteriores (53 puntos).

Este sistema, como es evidente, no aporta una valoración cuantitativa de la incertidumbre, es subjetivo; pero identifica los aspectos relacionados con la información base y los factores de emisión que pueden ser mejorados para obtener inventarios más afinados.

Tabla 3.32: Valoración cualitativa de la incertidumbre de las emisiones biogénicas de compuestos orgánicos volátiles de Cataluña durante el año 2000.

Atributo: método de medida			
Actividad (parámetros de información)			
	Calificación	Observaciones	Producto
Temperatura	10	Medidas directas en estaciones de superficie.	
PAR	8	Establecidos indirectamente como el 50 % de la radiación solar global.	
Densidad de biomasa foliar	10		
Mapa de usos del suelo	8	Definido indirectamente por medio del análisis de imágenes satelitales del año 1997.	
Promedio	9 (p1)		
Factores de emisión		Se determinan mediante medidas directas de las emisiones	
Isopreno	7 (i1)	Se asume que su determinación se basó sólo en un grupo reducido de muestreo	63 (i1*p1)
Monoterpenos	8 (m1)	Se asume que su determinación se basó en un grupo de muestreo más representativo en relación al isopreno	72 (m1*p1)
OCOV	3 (o1)	Su medición es dificultosa y en varios casos se asumió un valor recomendado por defecto.	27 (o1*p1)
Atributo: congruencia espacial			
Actividad (parámetros de información)			
	Calificación	Observaciones	Producto
Temperatura	9	Hay un número suficiente de estaciones (81) con adecuada distribución espacial su caracterización.	
PAR	9	Hay un número suficiente de estaciones (81) con adecuada distribución espacial su caracterización.	
Densidad de biomasa foliar	8	Medidas representativas para las especies forestales. Valores puntuales para las especies de las demás categorías de uso del suelo.	
Mapa de usos del suelo	8	Se pierde resolución espacial al trabajar con celdas de 1 km de lado.	
Promedio	8.5 (p2)		
Factores de emisión			
Isopreno	5 (i2)	No se localizaron factores de emisión deducidos dentro de Cataluña	43 (i2*p2)
Monoterpenos	9 (m2)	Se utilizan varios factores de emisión de monoterpenos deducidos dentro de Cataluña.	77 (m2*p2)
OCOV	7 (o2)	Se localizaron un grupo reducido de factores de emisión dentro de Cataluña	60 (o2*p2)
Atributo: congruencia temporal			
Actividad (parámetros de información)			
	Calificación	Observaciones	Producto
Temperatura	10	Hay registros horarios para todo el año 2000 que describen adecuadamente su variación temporal.	
PAR	10	Hay registros horarios para todo el año 2000 que describen adecuadamente su variación temporal.	
Densidad de biomasa foliar	7	Se asume un sólo valor para todo el año	
Mapa de usos del suelo	8	Se mantiene fijo el mismo mapa durante todo el año.	
Promedio	8.8 (p3)		
Factores de emisión			
Isopreno	6 (i3)	Se asumió un sólo valor durante todo el año.	53 (i3*p3)
Monoterpenos	8 (m3)	En algunos casos fue posible el uso de factores de emisión estacionales.	70 (m3*p3)
OCOV	6 (o3)	Se asumió un sólo valor durante todo el año.	53 (o3*p3)
Calificación integrada			
Emisiones de isopreno (i1*p1+i2*p2+i3*p3)/3			53
Emisiones de monoterpenos (m1*p1+m2*p2+m3*p3)/3			73
Emisiones de OCOV (o1*p1+o2*p2+o3*p3)/3			47

3.12.3 Comparación con los resultados de otros inventarios

Se consideran tres inventarios como elementos de comparación (ver la Tabla 3.33):

- ❑ El inventario de emisiones presentado en Gómez (1998) para el año 1992.
- ❑ El inventario de emisiones EMEP del grupo 11 (fuentes naturales, grupo en el que las emisiones de COV corresponden fundamentalmente a las emisiones de isopreno, monoterpenos y OCOV) para el año 2000, de las celdas que corresponden al ámbito de Cataluña, presentadas en el Capítulo 2.
- ❑ La estimación de las emisiones de COV biogénicos de DMA (2003a) para el año 2000.

Tabla 3.33: Estimación de las emisiones biogénicas de COV de Cataluña (kt a⁻¹).

	Año						EMICAT2000	
	1992		2000		2000		Emisión	%
	(Gómez, 1998)		EMEP/Cataluña		(DMA, 2003a)			
	Emisión	%	Emisión	%	Emisión	%	Emisión	%
Isopreno	16.6	32.61					5.9	12.58
Monoterpenos	23.5	46.17					24.7	52.67
OCOV	10.8	21.22					16.3	34.75
Total	50.9	100	88.8	100	73.9	100	46.9	100

La valoración anual de las emisiones biogénicas presentadas en esta tesis doctoral (46.9 kt) es aproximadamente un 10 % menor a la valoración presentada en Gómez (1998). Esta aparente similitud no implica que las dos estimaciones sean equivalentes ya que se aprecia un porcentaje de participación del isopreno, monoterpenos y OCOV diferentes, lo que a su vez implica patrones de emisiones superficiales diferentes, especialmente para ámbitos locales y a corto plazo. La aparente similitud tampoco implica que la incertidumbre sea baja, según lo presentado en la sección 3.12. Sin embargo, si se puede afirmar que la estimación presentada es cualitativamente mejor (menos incierta) que la presentada en Gómez (1998).

La presente valoración es un 52 % de la estimación obtenida del inventario europeo EMEP. Se considera que el valor obtenido del inventario EMEP sólo constituye un elemento de referencia general con un nivel de incertidumbre mayor. Para efectos comparativos y poder apreciar la diferencia en la resolución superficial, la Figura 3.35 presenta los mapas de emisión anual que corresponden a la presente estimación la obtenida del inventario europeo EMEP. Se observa las emisiones EMEP presentan valores más altos en las celdas centrales de Cataluña, aspecto que no corresponde con lo indicado en el mapa de esta tesis doctoral.

En EEA (2002) se incluye un resumen de emisiones anuales por países a nivel europeo, información que ha sido tomado de Simpson *et al.* (1995) y Guenther *et al.* (1995). Para España se presenta un total de 657 kt a⁻¹, de los cuales 137 kt a⁻¹ (21 %) corresponde al isopreno, 248 kt a⁻¹ (38 %) a los monoterpenos y 272 kt a⁻¹ (41 %) a los OCOV. Haciendo una relación muy simple de esta información con las coberturas de Cataluña (31 895 km²) y de España (504 782 km²), aproximadamente el 6.3 % de estas emisiones podrían atribuirse a Cataluña. Aplicando este porcentaje se obtiene una emisión total de 41.4 kt a⁻¹, correspondiendo 8.7 kt a⁻¹ al isopreno, 15.7 kt a⁻¹ a los monoterpenos y 17 kt a⁻¹ a los OCOV. Estos últimos valores guardan una relación aceptable con la estimación presentada en este documento.

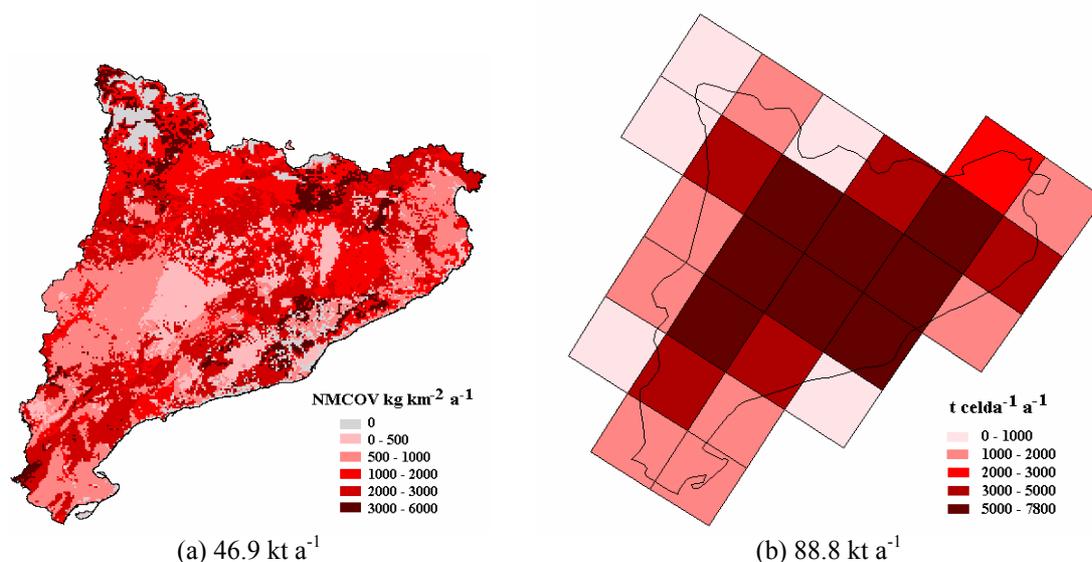


Figura 3.35: Distribución espacial de las emisiones biogénicas de Cataluña durante el año 2000, (a) EMICAT2000, (b) obtenida del inventario europeo EMEP.

En DMA (2003a) se presenta una estimación de las emisiones biogénicas de COV para el año 2000 (73.9 kt). De acuerdo a lo indicado en esta publicación, si bien se utilizó información del IEFCE (CREAF, 2003) y del IDESCAT, los factores de emisión europeos se tomaron de CORINAIR. La mayor generalidad de los factores de emisión de CORINAIR explica la diferencia de la estimación de DMA (2003a) con la proporcionada por EMICAT2000 (46.9 kt).

3.13 Sensibilidad

Para entender la influencia de las dos variables meteorológicas consideradas por EMICAT2000 (temperatura y radiación solar), se desarrolló un análisis de sensibilidad del modelo, utilizando los factores de emisión para verano. Para diferentes valores de la temperatura y de la PAR, se obtuvieron de las emisiones horarias totales que se indican en la Tabla 3.34. Utilizando como referencia las emisiones que corresponden a los factores de emisión en condiciones estándar (temperatura = 30 °C, PAR = 1 000 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$), en la misma tabla se indican los porcentajes de variación obtenidos. Para valores de la PAR mayores a 250 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, las emisiones a 10 °C son un 83 – 94 % más bajas que los valores de referencia, para 20 °C son un 59 – 76 % más bajas, y para 40 °C las emisiones son un 69 – 146 % más altas. La PAR afecta tanto a las emisiones de isopreno como de monoterpenos, pero el porcentaje de variación es más importante para el isopreno. Las emisiones de OCOV, que son sólo dependientes de la temperatura, no presentan variación con la PAR (hay similares porcentajes de variación para cada nivel de temperatura). Valores bajos de la PAR influyen especialmente en las emisiones de isopreno.

Tabla 3.34: Análisis de sensibilidad del modelo de emisiones biogénicas de EMICAT2000

Temperatura °C	PAR $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Emisión (t h^{-1})			Variación (%)		
		Isopreno	Monoterpenos	OBCOV	Isopreno	Monoterpenos	OBCOV
10	0	0.00	1.30	1.06	-100	-89	-83
	250	0.33	1.51	1.06	-94	-87	-83
	500	0.38	1.54	1.06	-93	-86	-83
	1000	0.39	1.55	1.06	-93	-86	-83
	2000	0.39	1.55	1.06	-93	-86	-83
15	0	0.00	3.19	1.66	-100	-72	-74
	250	0.67	2.47	1.66	-88	-78	-74
	500	1.49	4.15	1.66	-72	-63	-74
	1000	1.55	4.19	1.66	-71	-63	-74
	2000	1.56	4.20	1.66	-71	-63	-74
20	0	0.00	3.19	2.61	-100	-72	-59
	250	1.32	4.04	2.61	-76	-64	-59
	500	1.49	4.15	2.61	-72	-63	-59
	1000	1.55	4.19	2.61	-71	-63	-59
	2000	1.56	4.20	2.61	-71	-63	-59
25	0	0.00	5.00	4.09	-100	-56	-36
	250	2.52	6.63	4.09	-53	-42	-36
	500	2.85	6.85	4.09	-47	-40	-36
	1000	2.96	2.92	4.09	-45	-74	-36
	2000	2.99	5.94	4.09	-45	-48	-36
30	0	0.00	7.85	6.41	-100	-31	0
	250	4.61	10.83	6.41	-15	-5	0
	500	5.22	11.22	6.41	-4	-1	0
	1000	5.41 (*)	11.35 (*)	6.41 (*)	0	0	0
	2000	5.46	11.38	6.41	1	0	0
35	0	0.00	12.30	10.05	-100	8	57
	250	7.54	17.18	10.05	39	51	57
	500	8.53	17.83	10.05	58	57	57
	1000	8.85	18.03	10.05	64	59	57
	2000	8.94	18.09	10.05	65	59	57
40	0	0.00	19.30	15.77	-100	70	146
	250	9.12	25.20	15.77	69	122	146
	500	10.33	25.98	15.77	91	129	146
	1000	10.71	26.23	15.77	98	131	146
	2000	10.81	26.30	15.77	100	132	146

(*) Valores de referencia

3.14 Discusión

EMICAT2000 incorpora un modelo actualizado para las emisiones biogénicas NMCOV de Cataluña. El modelo puede proporcionar las emisiones para cualquier hora del año 2000, según su distribución espacial en celdas de 1 km y genera los archivos de emisiones para ser utilizados en un MTQ, de acuerdo a la especiación requerida por mecanismo químico CB4.

Debido a la alta reactividad de algunos NMCOV biogénicos comparados con otros NMCOV antropogénicos (los tiempos medios de vida de las emisiones biogénicas son de pocas horas o menos, comparadas varios días para varias especies de NMCOV antropogénicos), los NMCOV biogénicos tienen un rol muy importante en la química de la baja troposfera (Atkinson *and* Arey, 1998). De hecho, debido a su alta reactividad, el isopreno es considerado de manera explícita en los mecanismos fotoquímicos condensados (Jiménez *et al.*, 2003).

El modelo incorpora factores de emisión recientes, que fueron seleccionados luego de un exhaustivo proceso de recolección de información, dando prioridad a aquellos deducidos en Cataluña o en la zona mediterránea. Utiliza valores representativos de la densidad de biomasa foliar de las especies forestales, que se obtuvieron de una base de datos extensa, resultado de un inventario forestal exhaustivo. No obstante, para las especies vegetales no forestales, la representatividad de esta información es más baja.

Como parámetros meteorológicos utiliza una extensa base de datos de la temperatura en superficie y de la radicación solar global, que describen de manera adecuada su distribución espacial y temporal en Cataluña.

El modelo considera el particular comportamiento emisor de las especies *Quercus ilex* y *Quercus coccifera* en la zona mediterránea, para las cuales se ha demostrado que su patrón de emisión de los monoterpenos sigue el comportamiento del isopreno, esto es, que las emisiones sólo ocurren en presencia de radiación solar y que están relacionadas con la actividad fotosintética de las especies.

El caso del género *Quercus* es interesante, ya que en Norte América y en el norte de Europa está considerada como una especie altamente emisora de isopreno ($70 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$) y poco emisora de monoterpenos ($0.2 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$) (Guenther, 1999). Sin embargo en la zona Mediterránea, el *Quercus ilex* es una especie no almacenadora que no emite isopreno y se le atribuyeron tasas de emisión de monoterpenos entre $1.7 - 11.3 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$. Este caso nos indica la complejidad de las emisiones biogénicas y la falta de conocimiento que aún existe sobre el tema. Especies que son anatómicamente y morfológicamente comparables pueden presentar diferente comportamiento emisor, según el lugar de su emplazamiento. Este aspecto resalta la importancia de priorizar la determinación y el uso de tasas de emisión locales y el potencial riesgo de tomar factores de emisión de la misma especie, pero de otras zonas con características distintas a las del estudio.

La disponibilidad local de factores de emisión es aún escasa, especialmente para el caso del isopreno, por lo que su determinación constituye un campo prioritario de investigación. Por este motivo se considera que en este momento, el uso de modelos de emisiones más desarrollados para Cataluña es prematuro.

Los factores de emisión de los bosques (coníferas, esclerófilas y caducifolias) que incorpora EMICAT2000, son el resultado de un análisis exhaustivo de su composición vegetal. Se determinaron mediante el enfoque *bottom - up*, integrando la capacidad emisora, mediante pesos definidos por biomasa foliar existente de las especies más importantes. Debido a la compleja diversidad de la vegetación mediterránea, el enfoque utilizado es pragmático y efectivo, en comparación al uso directo de factores de emisión por especie vegetal (que puede ser viable para el caso de zonas en donde la diversidad vegetal sea menor, como ocurre en el norte de Europa, o cuando se dispone de un mapa detallado a nivel de cobertura por especies vegetales).

El nivel de estudio del IEFEC para los matorrales es inferior en relación al desarrollado con los bosques. Para los matorrales no se establecieron pesos ponderados, no obstante se identificaron las especies que por su presencia son las más importantes dentro de esta categoría. Tomando en cuenta la potencialidad emisora de los matorrales, así como su cobertura (un 27 % del territorio de Cataluña), es prioritario obtener más información de la distribución espacial y las características (densidad biomasa foliar) de las especies más importantes; y, como ya se indicó anteriormente, de su potencialidad emisora.

Se destaca también la menor disponibilidad de factores de emisión para las especies relacionadas con los cultivos y frutales. Al respecto, el número de artículos que se han localizado durante la elaboración de este documento es limitado, y no son recientes sus años de publicación. Para estas especies, sólo se dispone de unas cuantas medidas en Cataluña para la oliva.

EMICAT2000 incorpora la influencia de la temperatura y la radiación solar, los dos factores abióticos mejor entendidos y de fácil incorporación en los modelos de cálculo. Sin embargo, y debido a la compleja red de interacción de factores que intervienen, tanto internos (genéticos y bioquímicos), externos abióticos (temperatura, radiación solar, humedad, viento, estrés hídrico, disponibilidad de nutrientes, influencia de ozono y otros contaminantes, perturbaciones físicas) y externos bióticos (interacción entre especies vegetales y con organismos animales) (Peñuelas *and* Llusà, 2001b), actualmente son inherentes unos niveles altos de incertidumbre para este tipo de inventarios

3.15 Resumen de las características del modelo de emisiones biogénicas

Tabla 3.35: Situación actual del modelo de emisiones biogénicas de compuestos orgánicos volátiles de Cataluña durante el año 2000.

Gestión de la información base		
	Fuente	Observaciones
Mapa digital de usos del suelo de Cataluña con resolución de 30 m x 30 m para el año 1997	Departament de Medi Ambient	Se generó de un mapa digital con resolución espacial de 1 km x 1 km. A futuro, analizar la viabilidad de utilizar el mapa de cubiertas del suelo para el año 2000 que está elaborando el CREAM.
Meteorología del año 2000		
- Temperatura.	- 48 XMET + 33 XVPCA = 81	
- Radiación solar.	- 36 XMET + 15 XVPCA + 6 ICAEN + 16 CEAM + 1 AND + 4 MF = 88	
Factores de emisión	Las presentadas en este documento y deducidas como parte de esta tesis doctoral	
Densidad de biomasa foliar		
- Especies forestales	- Las presentadas en este documento.	Base de datos facilitada por el CREAM.
- Otras especies	- Gómez (1998).	
Cálculo de las emisiones		
		Observaciones
Modelo utilizado: Guenther <i>et al.</i> (1993).		Para las emisiones de monoterpenos de las especies <i>Quercus ilex</i> y <i>Quercus coccifera</i> se utilizó el algoritmo del isopreno. Se considera que por ahora es prematuro el uso de un modelo de cálculo más afinado.
Técnica de interpolación de datos meteorológicos: Kriging con variograma lineal.		
Cálculo de emisiones horarias	Aplicación del modelo presentado por Guenther <i>et al.</i> (1993).	
Cálculo de emisiones diarias	Sumatoria de las correspondientes emisiones horarias	
Cálculo de emisiones mensuales	Definición del día medio para cada mes, para el cuál se calculan las emisiones diarias. Los valores mensuales se obtienen multiplicando por el número de días correspondiente	
Comprobación del proceso cálculo	Se implementó la misma metodología de cálculo en hoja electrónica y se comprobó que los resultados obtenidos con el programa informático son similares	
Análisis de incertidumbre	Método de Monte Carlo para las emisiones horarias de monoterpenos del día 15 de agosto de 2000. Método cualitativo modificado tipo DARS para las emisiones anuales.	
Análisis de sensibilidad	Influencia de la temperatura y de la PAR.	
Postproceso de la información		
		Observaciones
Mapas de emisión horarias, diarias, mensuales y anual		
Archivos para alimentar un MTQ.	Especiación según el mecanismo CB4.	