

La Calidad del Aire en relación a la contaminación por Ozono en la C.A.P.V.: Evaluación y Gestión en aplicación de las Directivas comunitarias

Ponente: Amaia Albizuri* técnico responsable de los trabajos llevados a cabo por **Environment and Systems, S.A.**

Environment and Systems, S.A. ^{c/} Luis Briñas 9 1º izda 48013 Bilbao

<http://www.environmentandsystems.com> e-mail: eyes@environmentandsystems.com

* Licenciada en Ciencias Físicas por la Universidad de Zaragoza en 1982. Realizó el Programa de Doctorado en Ingeniería Ambiental en la E.T.S. de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación de Bilbao (1986-1988) y leyó la Tesis Doctoral *Métodos de Diagnóstico y Predicción de Episodios de Contaminación Atmosférica: Aplicación a Chimeneas Altas* (1995) en dicho centro. Su actividad laboral ha estado siempre centrada en el campo de la contaminación atmosférica desde sus inicios en LABEIN, donde comenzó con una beca de Investigación y Desarrollo en 1984 y más tarde como investigador asociado, hasta pasar a trabajar en Environment and Systems, S.A. en 1986, como responsable técnico de trabajos llevados a cabo por la empresa en relación a la dispersión de contaminantes y la calidad del aire. En su haber numerosas publicaciones y comunicaciones a Congresos como autora o coautora, así como varios cursos impartidos.

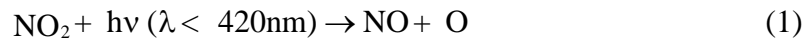
INTRODUCCION. ASPECTOS GENERALES.

El ozono y los oxidantes fotoquímicos presentes en la troposfera están siendo objeto de atención, cada vez más estrecha, debido a la frecuencia con que se vienen registrando concentraciones de dichas sustancias que pueden provocar efectos adversos en la salud humana y en la vegetación.

En la estratosfera, el ozono (O₃), el más abundante de los oxidantes fotoquímicos, realiza una función protectora de la vida animal y vegetal de la tierra, filtrando la radiación ultravioleta de onda corta procedente del sol. En la baja atmósfera, paradójicamente, el ozono encaja dentro de la definición de "contaminante atmosférico".

Una característica importante del ozono es que es un contaminante secundario, es decir, no es emitido directamente a la atmósfera, sino que se produce en ella mediante reacciones fotoquímicas.

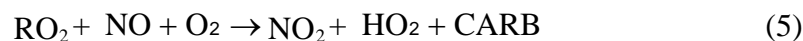
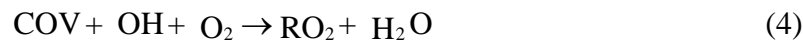
La fotodisociación del NO₂ por la luz solar es el proceso en el que se genera el ozono:



si bien éste es un proceso cíclico que se cierra:



No obstante, la presencia en la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles (COV) provoca que este ciclo se rompa mediante una transformación adicional de NO a NO₂ que compite con el proceso (3) y da lugar a una cierta acumulación de O₃. La oxidación de NO a NO₂ se lleva a cabo por la participación de radicales peroxi (RO₂, siendo R una cadena hidrocarbonada), los cuales se forman por la oxidación de los COV por los radicales OH:



CARB se refiere a los compuestos carbonilos y OH y HO₂ radicales libres que juegan un papel muy importante en el proceso de formación de O₃.

El proceso acaba cuando todos los óxidos de nitrógeno (NO_x=NO+NO₂) son oxidados (NO₂) y depositados (Figura 1).

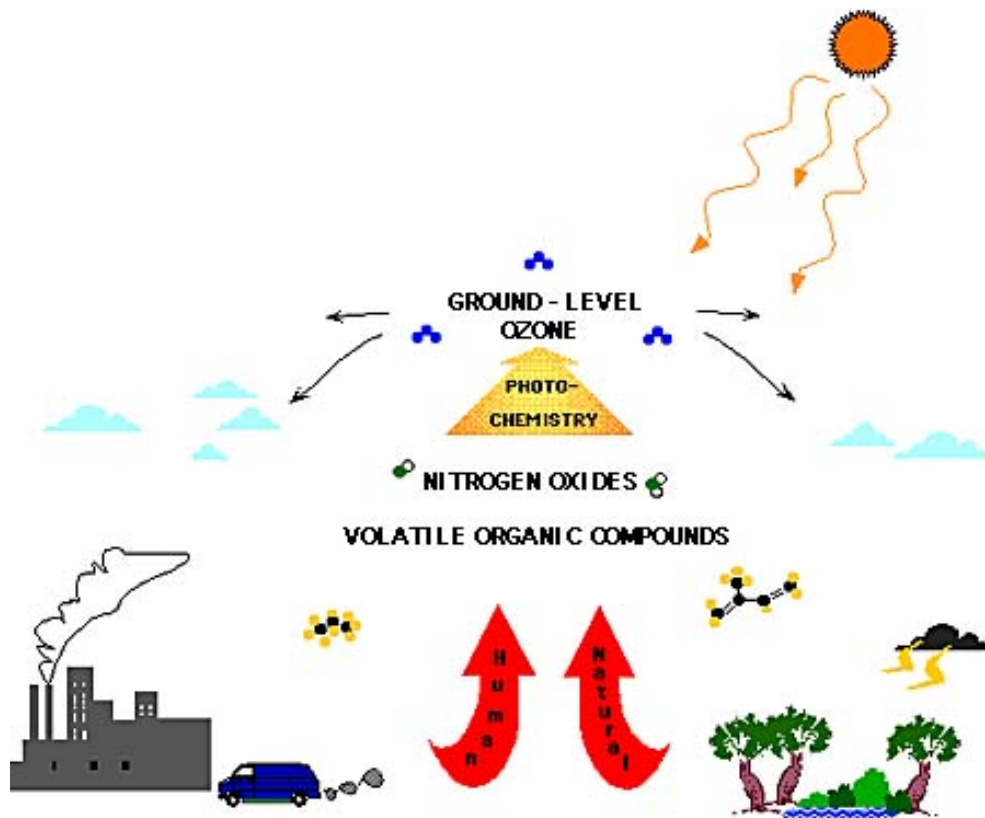


Figura 1. Esquema explicativo de la formación de O_3

Tradicionalmente el ozono ha sido considerado como un contaminante a escala urbana. Sin embargo, los resultados de los trabajos más recientes apuntan, cada vez más, a la necesidad de enfocarlo como un problema regional, e incluso global, a medida que se va disponiendo de datos de concentraciones altas de ozono en zonas no urbanas de la mayoría de los países industrializados.

Aunque la radiación solar es un factor esencial, otros parámetros meteorológicos como la temperatura, el campo de vientos (nada sencillo en terrenos de topografía compleja) y la altura de la capa de mezcla, también lo son, cuando se trata de describir los niveles de inmisión que se registran en determinados escenarios. El transporte, tanto de precursores como de contaminantes secundarios, y los procesos de mezcla turbulenta entre diferentes capas de la vertical son, junto con la producción y el consumo, los responsables de esos niveles de inmisión, todos ellos dependientes de fenómenos meteorológicos. Mientras que la formación fotoquímica (al menos en sus etapas iniciales) tiene una escala local, los fenómenos de transporte y de mezcla tienen una escala regional o continental.

Por lo general los episodios de alta contaminación por O_3 en los países del norte y centro Europa están asociados a situaciones anticiclónicas de evolución lenta, caracterizadas por viento flojo y cielo despejado que favorecen condiciones de valores máximos de radiación elevados, temperaturas diurnas altas y existencia de inversiones de subsidencia que limitan la dispersión vertical

En zonas urbanas e industriales las concentraciones máximas de ozono se registran viento abajo, pudiendo darse el caso de convergencia y reforzamiento del penacho urbano con otros penachos procedentes de fuentes puntuales (centrales térmicas,

refinerías, etc.) de menor escala espacial, originando en las áreas de intersección picos que pueden superar los valores límite.

Se ha demostrado que el fenómeno de transporte de ozono puede alcanzar distancias de cientos de kilómetros e incluso más por lo que debe considerarse como mínimo a escala regional. Cuando esto ocurre, los máximos de ozono pueden depender fuertemente de interacciones más o menos complejas entre procesos dispersivos que tienen lugar a escala regional y otros fenómenos de menor escala espacial (penachos urbanos, fuentes puntuales, etc.), por lo que si la escala espacial a tener en cuenta es grande, es preciso utilizar una información con una alta resolución para explicar las inhomogeneidades en la distribución espacial provocadas por fenómenos locales.

El intercambio de materia entre la estratosfera y la troposfera está bastante inhibido por la inversión térmica de la tropopausa, pero ocasionalmente se pueden producir plegamientos hacia abajo de la tropopausa, que puede rasgarse o disiparse turbulentamente introduciendo, en un corto período de tiempo, gran cantidad de ozono como correspondería a la concentración de la estratosfera de la que proceden. Estos fenómenos de intercambio parecen ser debidos a: reajustes estacionales en la tropopausa, relacionados con oscilaciones en el flujo general de la troposfera, al transporte turbulento asociado a las corrientes en chorro, y a remolinos turbulentos de menor escala. Esta inyección de O_3 desde la estratosfera está muy localizada, normalmente en zonas remotas, en períodos muy cortos de tiempo y raramente llega hasta niveles superficiales, mezclándose y diluyéndose, más de la mitad del O_3 inyectado, por encima de los 3000 m. de altitud.

Las variaciones diarias dependen también de la meteorología asociada al emplazamiento de las estaciones. Así por ejemplo, en zonas de terreno llano, las concentraciones de contaminantes secundarios estarán influenciadas por la variación solar diurna, con máximos a las horas centrales del día coincidentes con la máxima producción fotoquímica y la máxima mezcla convectiva con estratos superiores, y mínimos nocturnos coincidentes con las horas de mayor estabilidad. En emplazamientos costeros y de topografía compleja pueden estar sometidos además a fenómenos de brisas pudiendo provocar la aparición de máximos secundarios. En estaciones remotas no suele haber grandes variaciones diarias.

Las observaciones muestran que, en efecto, la mayor parte de las estaciones registran niveles de ozono que superan ampliamente los umbrales de concentración establecidos para la protección tanto de la salud como de la vegetación, especialmente durante el verano.

LEGISLACION

En España, mediante el **Real Decreto 1494/1995 de 8 de septiembre de 1995**, sobre contaminación atmosférica por ozono, se adaptó la normativa estatal a la **Directiva 92/72/CE de la Unión Europea, de 21 de septiembre**. El Real Decreto *'tiene por objeto establecer un sistema de vigilancia y de intercambio de información entre las Administraciones públicas en relación con la contaminación atmosférica causada por el ozono, con el fin de informar a la población cuando se superen determinados umbrales de concentración, informar a la Comisión Europea y adquirir los conocimientos precisos sobre esta forma de contaminación que permitan, en su caso, la adopción de medidas tendentes a conseguir su reducción'*.

Dicha norma establece un valor umbral de protección de la salud de $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como valor medio de 8 horas (en 4 períodos determinados del ciclo diario) y unos umbrales de protección a la vegetación de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como valor medio en 1 hora y $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como valor medio en 24 horas. Así mismo se definen unos umbrales de información y de alerta a la población de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En 1995 algunos países europeos informan de superaciones de la media de 24 horas de $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en más de 150 días en algunos emplazamientos. En el medio urbano, las ciudades europeas superan el umbral de protección a la salud con cierta frecuencia y en los últimos años no se ha detectado una tendencia significativa, sino que las diferencias de un año a otro parecen ser debidas a variaciones meteorológicas interanuales. Las superaciones son más probables en el período diario entre las 12 y las 20 horas y se calcula que en 1995, con datos de la red urbana considerada en Europa como representativa de la exposición de 41 millones de habitantes, el 90% de esta población está expuesta al menos a una superación anual y más del 80% sufre la superación del umbral en más de 25 días.

La **nueva Directiva para el Ozono 2002/3/CE**, que se ha aprobado recientemente (con fecha de 12 de febrero), establece un valor objetivo a largo plazo de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como máximo octohorario móvil diario (Tabla 1), de acuerdo al valor establecido por la WHO para proteger la salud. En Europa este valor se sobrepasó en más de 20 días en 1998.

O_3	Protección de la salud (máximo día media móvil 8h)	Protección de la vegetación (AOT40 ¹ de mayo a julio)
Valor objetivo	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (no más de 25 días por cada año de promedio en un período de 3 años)	$18.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ (media de 5 años)
Objetivo a largo plazo	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$6.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$
O_3	Protección de la salud (1h)	
Umbral de información	$180 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
Umbral de alerta	$240 \mu\text{g}/\text{m}^3$	

Tabla 1. Valores objetivo y umbrales establecidos en la nueva Directiva 2002/3/CE

¹ suma de la diferencia entre las concentraciones por hora superiores a los $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a lo largo de un período dado y entre las 8 y 20 h TMG

DIAGNOSTICO EN LA C.A.P.V.

En la CAPV se viene midiendo ozono desde 1987 (Figura 2), en que se comenzó a medir en la estación de Basauri, pero es en el año 1994 cuando el número de sensores aumenta apreciablemente.

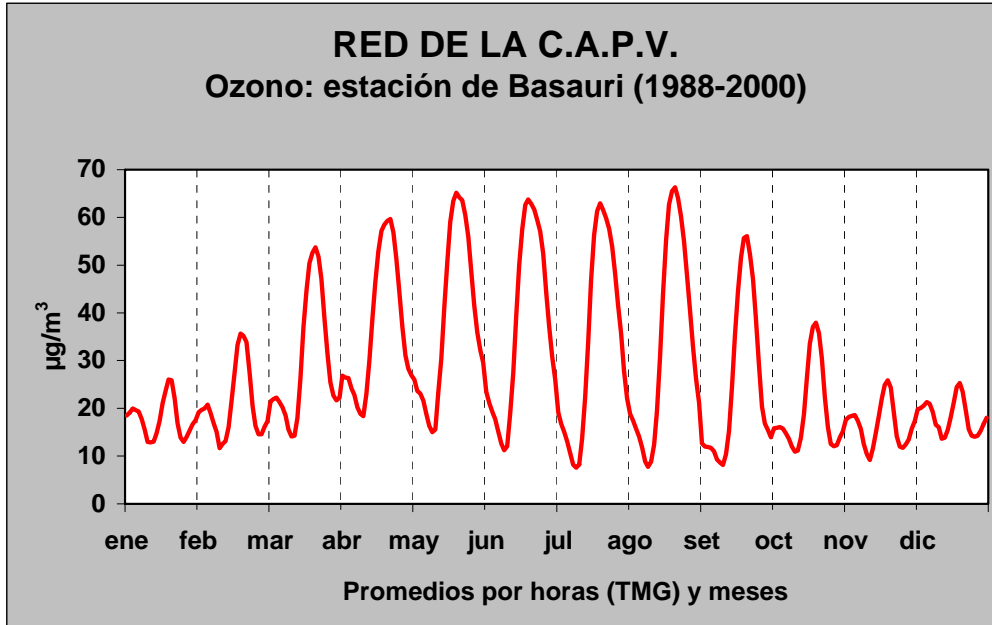


Figura 2. Ciclos anual y diarios de O₃

En la Tabla 2, se puede apreciar como el nº de estaciones (con al menos un 50% de datos en el período considerado) crece con los años:

	año 94	año 95	año 96	año 97	año 98	año 99	año 00
ene-dic	9	14	21	30	35	37	37
abr-set	9	15	21	30	38	38	37

Tabla 2. Nº de estaciones con al menos un 50% de datos

Además, la cobertura espacial sufre importantes variaciones. En el año 1995 se amplía la Red a la zona del Alto Nervión (hasta entonces sólo se cubría el Bajo Nervión-Ibaizabal). En el año 1996 se amplía a la cuenca del Deba y Donostialdea. En el año 1997 se comienza a medir en la Llanada Alavesa, Alto Ibaizabal y cuenca del Oria, pero es en el año 1998, cuando se comienza a medir en emplazamientos que pueden considerarse más de fondo como Valderejo, Mundaka (que todavía tienen pocos datos) y Urkiola, y se lleva a cabo un esfuerzo importante en el período estival con campañas de medidas en otros emplazamientos seleccionados.

Si analizamos el período 1994-2000 respecto a los umbrales establecidos en la **Directiva del 92**, el umbral de información a la población, de 180 µg/m³ de promedio horario, se alcanza en 15 días y en 37 horas.

A continuación, se presenta un diagrama de cajas² con las distribuciones de los máximos horarios diarios por años. A la vista del gráfico (Figura 3), no parece existir una tendencia clara y sólo se observan pequeñas fluctuaciones de unos años a otros.

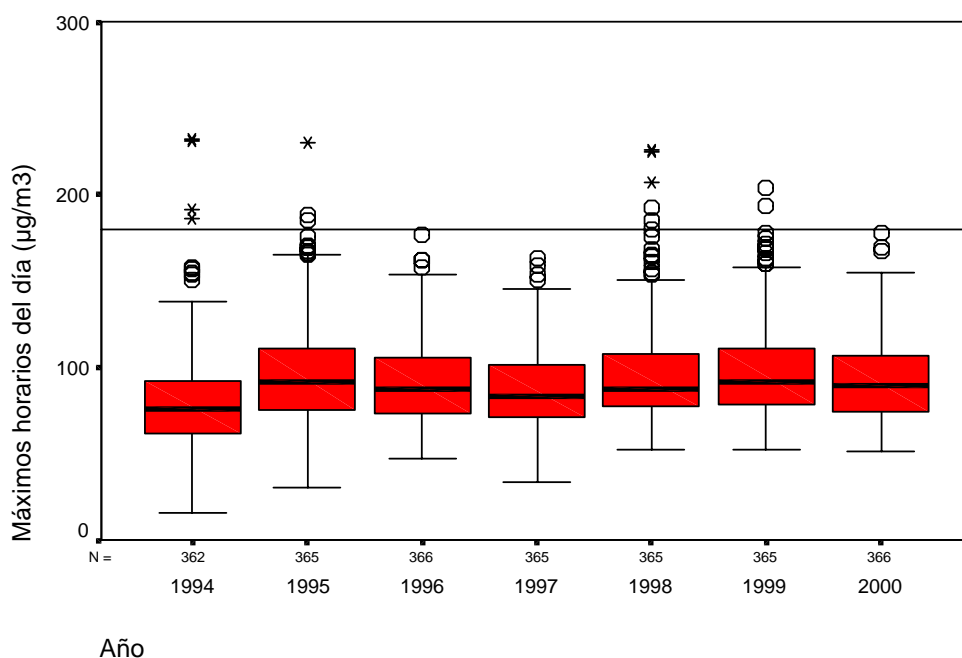


Figura 3. Diagrama de caja de los valores horarios máximos diarios de O₃ (años 1994-2000)

En cuanto al umbral de protección a la vegetación de 65 µg/m³ de media diaria, en los siguientes gráficos (Figuras 4a y 4b) se muestra la estadística por años y por meses, del n° de días y n° de días medio respectivamente, en los que se alcanza dicho umbral en alguna estación para el período 1994-2000.

² Los diagramas de caja muestran la media, el rango intercuartil, los valores atípicos y los casos extremos de variables individuales. Valor atípico: casos con valores entre 1,5 y 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja (en inglés se denominan outliers). La longitud de la caja es la amplitud intercuartil. Valores extremos: casos con valores superiores a 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja. La longitud de la caja es la amplitud intercuartil.

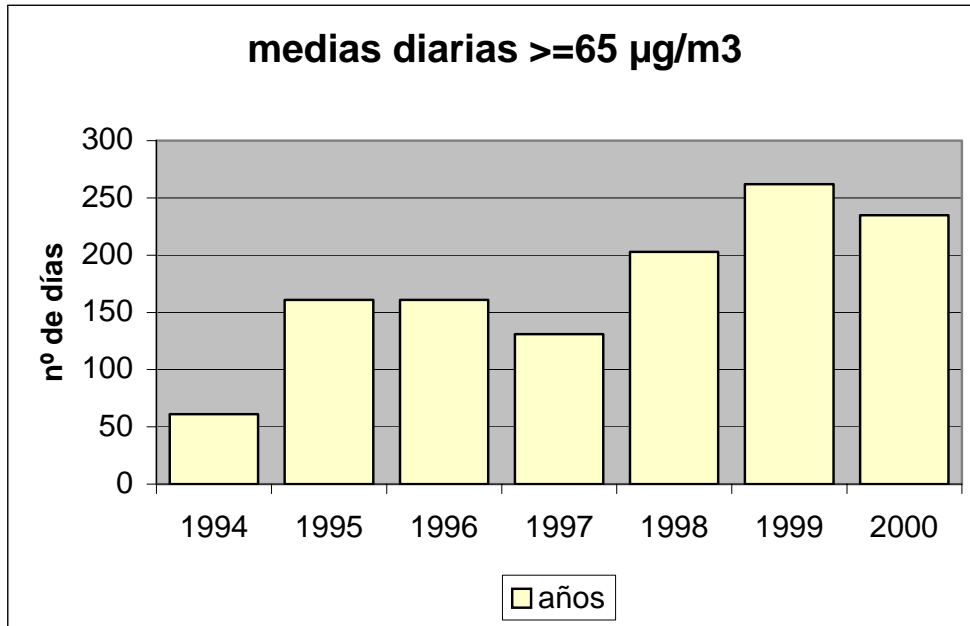


Figura 4a. Frecuencia anual de días en los que se alcanza los $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de media diaria en alguna estación (años 1994-2000)

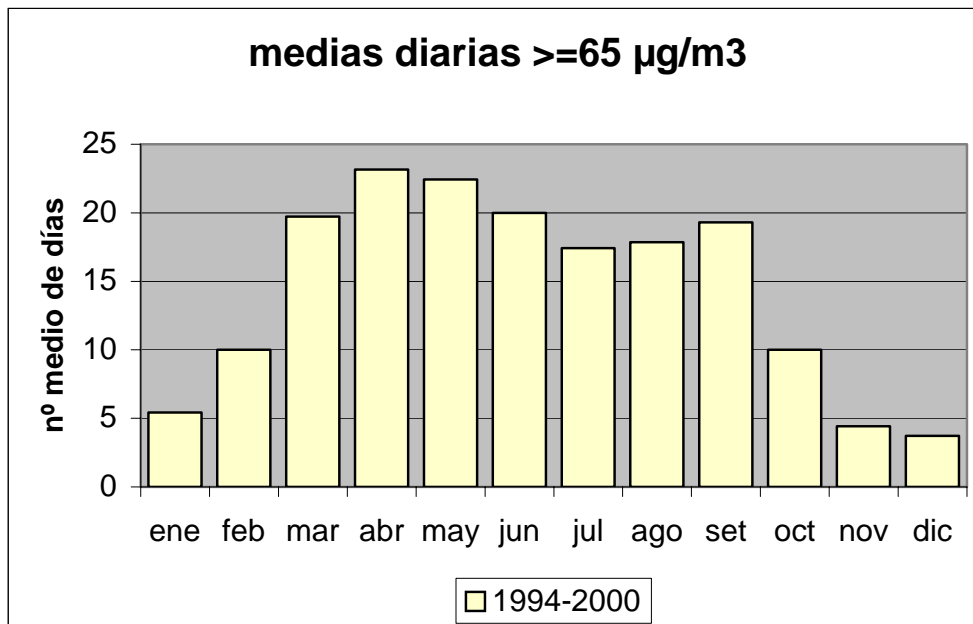


Figura 4b. Frecuencia media mensual de días en los que se alcanza los $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de media diaria en alguna estación (años 1994-2000)

Y si representamos el mismo tipo de gráfico (de cajas) utilizado para las distribuciones de máximas horarias del día, se obtiene la Figura 5.

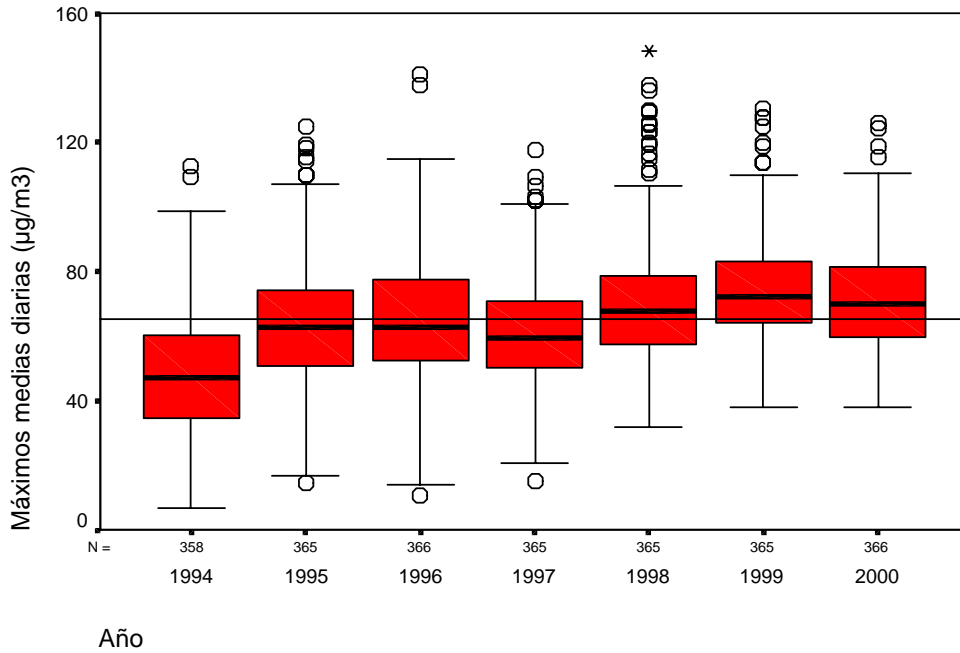


Figura 5. Diagrama de caja de los valores medios diarios máximos de O₃ (años 1994-2000)

En este caso, sí se observa (además del incremento entre los 2 primeros años) un incremento a partir del año 1998, con una mediana de las distribuciones por encima de 65 µg/m³ y una menor frecuencia de valores bajos, debido en parte a la ampliación de la Red a zonas más rurales.

A lo largo de los años 1994 a 2000 se ha alcanzado el umbral de protección a la salud de 110 µg/m³ de media octohoraria (4 promedios diarios) en 224 días, es decir un promedio de 32 días por año. La frecuencia por años y el número de estaciones en las que se alcanza dicho valor varía debido a la ampliación de la Red, como se puede observar en la Tabla 3.

En cuanto a la preferencia estacional de las superaciones del umbral de protección a la salud, difiere respecto a la preferencia estacional de las superaciones del umbral de protección a la vegetación, dándose unos máximos en los meses de junio-julio aunque variando de un año a otro, como se puede comprobar en el gráfico siguiente (Figura 6).

Año	nº días	nº de promedios	nº de estaciones
1994	9	16	6
1995	39	76	13
1996	27	56	16
1997	20	32	9
1998	41	96	34
1999	50	114	28
2000	32	64	20

Tabla 3. Frecuencia de valores octohorarios >= 110 µg/m³ (años 1994-2000).

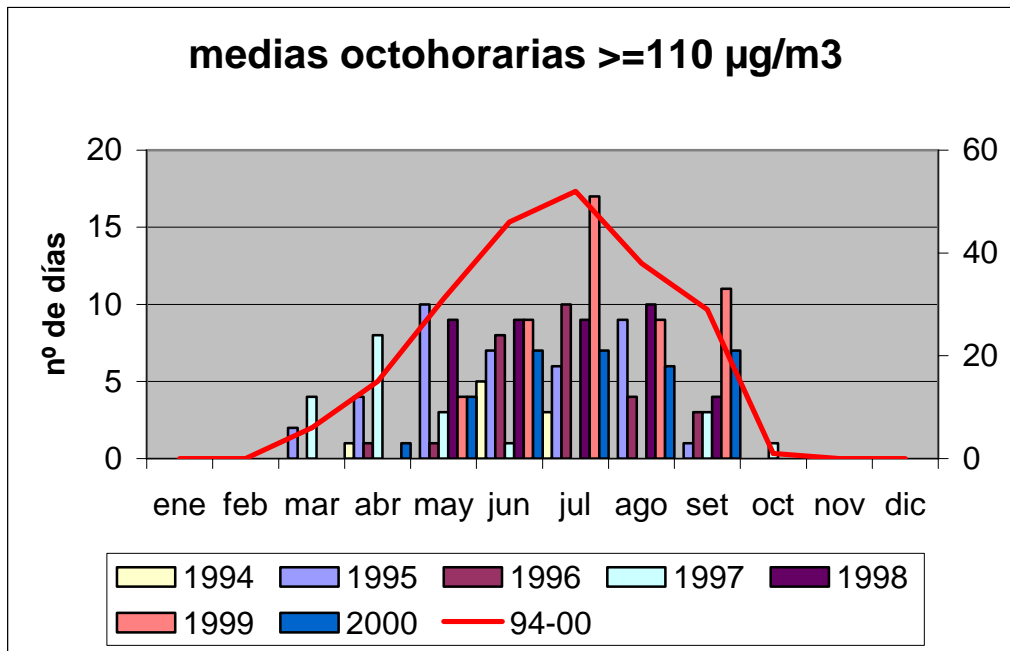


Figura 6. Histograma de frecuencias mensual de días en que se alcanza el umbral de protección a la salud de $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de promedio octohorario (años 1994-2000)

En la **nueva Directiva para el Ozono** los criterios para la protección de la salud y de la vegetación a cumplir a partir del 2010 son menos estrictos, permitiendo en el primer caso superar el valor objetivo una media de 25 días por año en un promedio de 3 y en el segundo caso se establece un valor del AOT40 de $18.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como media en un período de 5 años, aunque, en cualquier caso, se deben tomar medidas para poder cumplir los objetivos a largo plazo.

A continuación se resumen los resultados registrados en la CAPV, respecto al cumplimiento de los umbrales y objetivos establecidos en la nueva Directiva, en el año 2001:

- el umbral de información a la población se alcanzó en 5 días y 14 horas en un total de 6 estaciones, aunque en ningún caso se alcanzó el umbral de alerta
- en ningún caso se ha alcanzado el valor de $18.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ para el AOT40 aunque sí el valor de $6.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ en 11 estaciones
- en cuanto al valor objetivo a largo plazo para proteger la salud, de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como valor promedio octohorario, en el año 2001 se sobrepasa en 32 días (frente a 40 días en los que se alcanza los $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de media de 8 horas en alguno de los 4 promedios diarios contemplados en la anterior Directiva).

Para facilitar la intercomparación de las distribuciones de valores horarios registrados en las diferentes estaciones éstas se representan en un diagrama de cajas, Figura 7. Las estaciones de Barakaldo, Lezo, Pagoeta y Sangroniz presentan menos datos por su posterior puesta en marcha y, por ello, un sesgo temporal importante en el período de datos estudiado. También se debe mencionar la estación de Pío XII, con períodos en los que ha estado parada. Aún así se siguen apreciando las diferencias entre las estaciones

CARACTERIZACION DE LOS PATRONES DISPERSIVOS RELEVANTES. COMPONENTE LOCAL Y TRANSPORTE REGIONAL

Los episodios relevantes que han tenido lugar, seleccionados por su intensidad, persistencia y/o extensión espacial, han sido analizados en los diferentes estudios llevados a cabo. El resultado principal, es que: la mayoría de los episodios están asociados a un patrón meteorológico a nivel sinóptico con un centro de altas presiones en latitudes superiores, al oeste y centro-Europa, que es el responsable de una circulación general de viento de componente E que puede variar del NE al SE, con posibilidad de circulaciones locales en la capa más superficial (Figura 8).

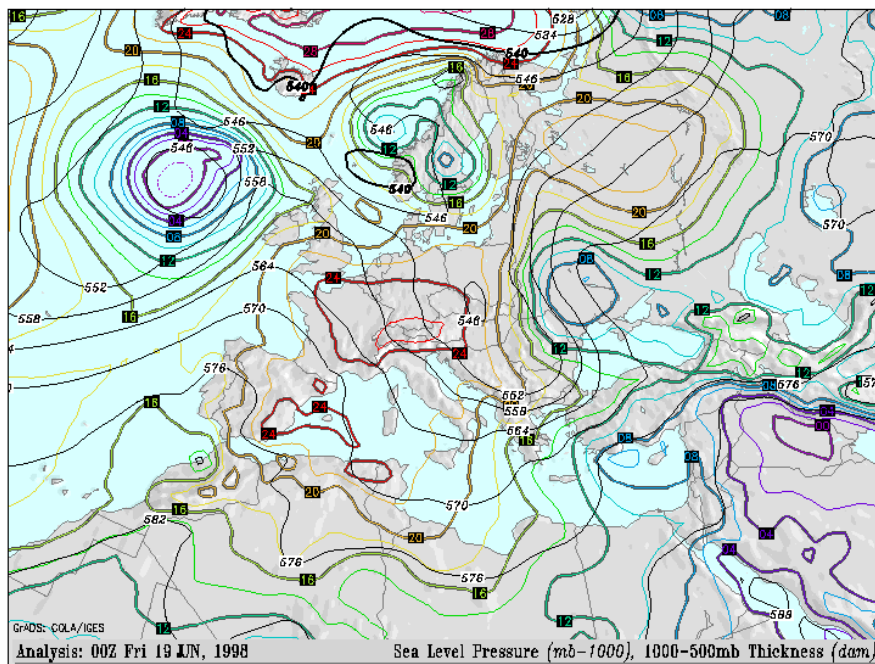


Figura 8. Mapa de análisis en superficie y espesor 1000-500 mb (19/6/98) del modelo MRF del NCEP.

En estas situaciones se puede dar un transporte a larga distancia desde centro Europa y esta suposición, viene reforzada por los resultados de los sondeos realizados en el año 1999 (Figura 9) y las retro trayectorias calculadas en esos días por el modelo HYSPLIT4³, manejado por el Air Resources Laboratory (ARL) de la NOAA (Figura 10).

³ HYSPLIT4 (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trayector) Model, 1997. Web address: <http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>, NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.

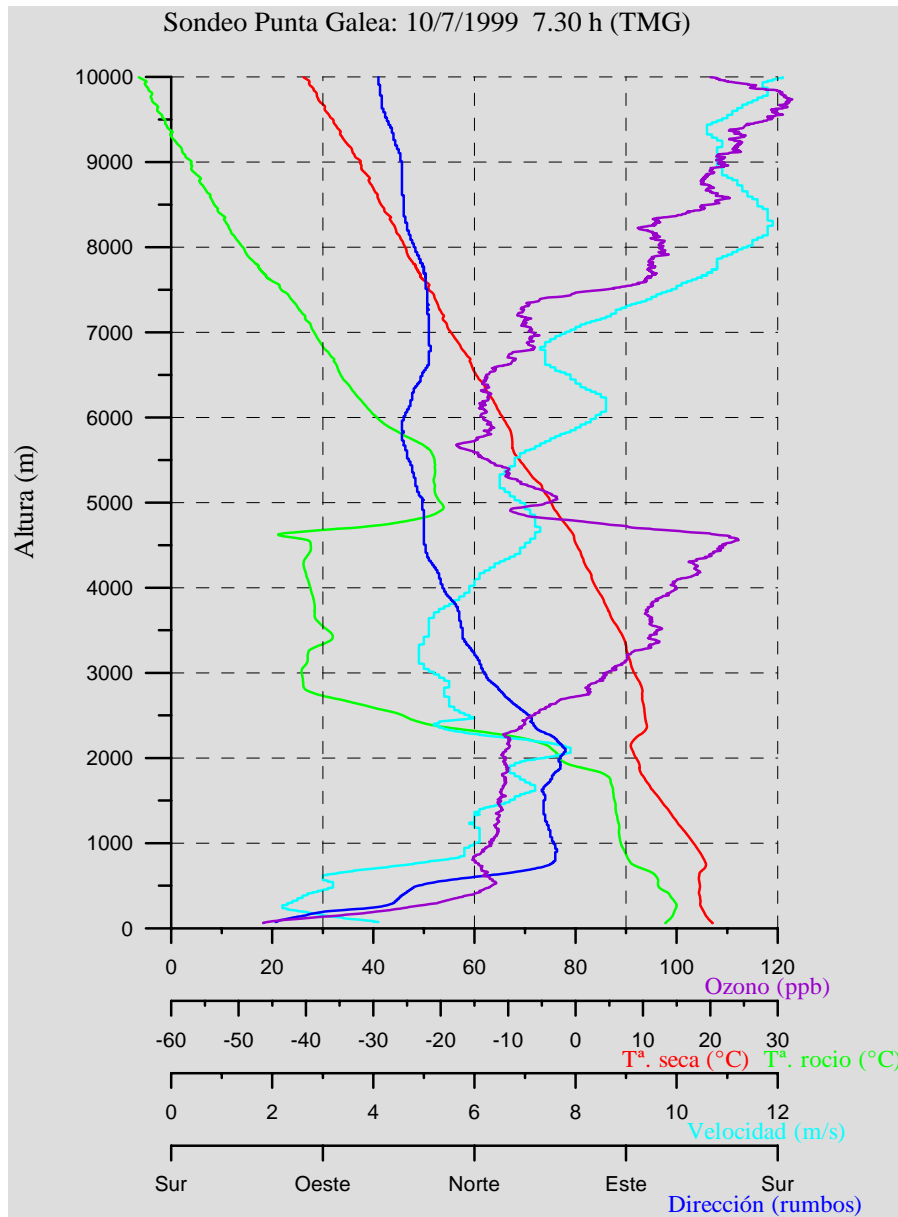


Figura 9. Perfiles verticales de vientos, Temperaturas seca y de rocío y de Ozono medidos el día 10 de julio de 1999 en Punta Galea.



NOAA Air Resources Laboratory

This product was produced by an Internet user on the NOAA Air Resources Laboratory's web site. See the disclaimer for further information (<http://www.arl.noaa.gov/ready/disclaim.html>).

NOAA AIR RESOURCES LABORATORY
Backward Trajectories Ending- 07 UTC 10 JUL 99

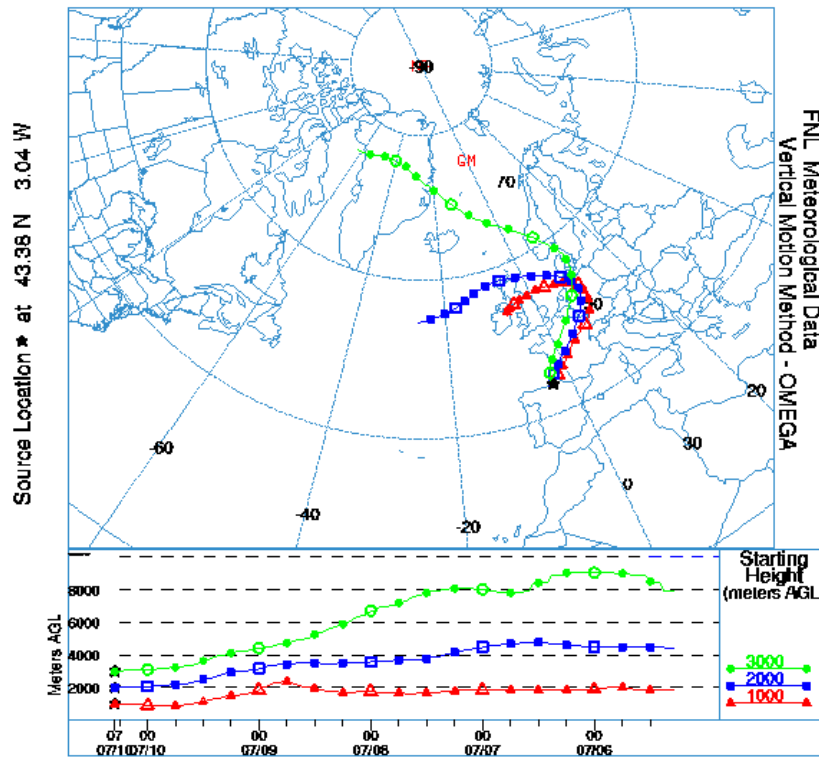


Figura 10. Retrotrayectorias que acaban a 1000, 2000 y 3000 m de altura en la vertical de Punta Galea el día 10 de julio de 1999

En la descripción de episodios se han venido utilizando también los datos del perfilador Radar-RASS de Punta Galea (de la Dirección de Meteorología y Climatología del Gobierno Vasco) y el modelo matemático CALMET para el diagnóstico de los campos de viento (con una resolución de 5 Km).

El estudio detallado de algunos días dio como resultado la existencia de diferencias significativas, pero difícilmente apreciables a escala regional, en lo referente a la distribución espacio-temporal del campo de concentraciones que ha sido calculada con modelos matemáticos de interpolación espacial como el 'kriging' a partir de los datos reales de la red de medida.

En el último año el esfuerzo se ha dirigido a la caracterización de los patrones dispersivos típicos a nivel local y su relación con los episodios de ozono en la CAPV, estableciendo las relaciones causa-efecto y la distribución espacio-temporal de los campos de concentraciones asociadas a los mismos.

En la clasificación de patrones dispersivos se han combinado técnicas estadísticas de clasificación como el análisis multivariante *cluster* con el conocimiento de la fenomenología y particularidades propias asociadas a la contaminación por O₃ en la C.A.P.V.

Los datos de partida para el análisis estadístico han sido los datos de la Red de control de la calidad del aire de los últimos 5 años 1997-2001 comprendidos entre los meses abril-setiembre (ambos incluidos).

Las condiciones meteorológicas observadas se han clasificado en patrones horarios mediante la técnica estadística del cluster, siendo éste un método objetivo que permite identificar los patrones típicos y más frecuentes. Las variables utilizadas son las medidas de 10 estaciones y 5 parámetros: Temperatura, Humedad Relativa, Presión, Radiación y Viento que han sido transformadas para que sus distribuciones tengan de media 0 y desviación típica 1 (zscores).

Los 15 patrones meteorológicos horarios seleccionados cumplen el objetivo de describir con detalle las situaciones observadas

Número de casos en cada conglomerado

Conglomerado	1	917,000
	2	596,000
	3	1257,000
	4	3202,000
	5	507,000
	6	2602,000
	7	2907,000
	8	749,000
	9	1268,000
	10	919,000
	11	1251,000
	12	2091,000
	13	892,000
	14	1588,000
	15	1214,000
Válidos		21960,000
Perdidos		,000

Tabla 4 Número de casos (horas) en cada patrón (años 1997-2001).

Tabla de contingencia HORA * GRUPO

Recuento		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total	
NºGRUPO1	HORA1	36	22	251		246	167		45	29		7		112		915	
2	41	22		239	1	255	156		47	25		6		123		915	
3	40	23		243		271	132		43	32		9		122		915	
4	46	25		247		278	125		35	34		5		120		915	
5	46	25		254		292	107		36	36		2		117		915	
6	49	28		245		293	115		35	39		2		109		915	
7	56	30		250	3	239	144		46	35		4		105	3	915	
8	66	36		215	11	111	208		59	38	1	12	1	76	81	915	
9	28	42	1	87	40	35	140	13	71	42	28	24	16	45	303	915	
10	16	30	12	30	71	6	68	44	63	35	79	38	74	26	323	915	
11	17	29	57	16	75	2	36	77	46	40	116	54	133	21	196	915	
12	13	27	127	7	75	2	22	95	35	43	131	63	154	14	107	915	
13	14	26	201	5	56		14	100	30	36	133	69	152	15	64	915	
14	12	23	245	4	51		8	109	25	36	144	80	121	14	43	915	
15	16	20	247	6	45		9	97	31	41	151	116	89	15	32	915	
16	16	22	208	15	36		11	91	34	47	154	172	68	17	24	915	
17	31	20	126	21	25		16	67	53	49	156	259	51	25	16	915	
18	50	19	32	34	9	1	35	36	71	58	114	381	25	32	18	915	
19	75	18	1	66	6	6	99	13	94	58	42	380	7	48	2	915	
20	72	21		110	2	23	220	3	112	51	2	235	1	62	1	915	
21	55	21		165	1	64	304	1	92	35		98		78	1	915	
22	46	21		203		110	314	3	60	30		42		86		915	
23	39	23		238		161	259		51	27		19		98		915	
24	37	23		251		207	198		54	23		14		108		915	
Total		917	596	1257	3202	507	2602	2907	749	1268	919	1251	2091	892	1588	1214	21960

Tabla 5 Frecuencia horaria de los patrones horarios seleccionados (años 1997-2001).

A partir de aquí el análisis se hace más complejo al combinar los diferentes patrones meteorológicos horarios a lo largo de las 24 horas del día, para distinguir los patrones dispersivos típicos diarios.

Para facilitar la tarea de clasificar los patrones meteorológicos diarios se ha diseñado una técnica que combina herramientas estadísticas como las matrices de similaridad y las técnicas de análisis multivariante como el cluster jerárquico.

Entendiendo como patrón dispersivo típico diario no sólo aquel con unas condiciones meteorológicas similares, sino que además presenta una evolución parecida, tanto temporal como espacial, del campo de concentraciones de un contaminante dado, se han identificado 6 patrones dispersivos asociados a unos valores más altos de O₃.

Estos patrones dispersivos cubren un 38% de los días en el período abril-setiembre considerado más adverso. Los patrones con los valores más altos son los patrones A, B, C (combinación de los dos anteriores) y E que cubren un 25% del total de los días y es en estos patrones que se pueden dar algunos días con valores muy altos de O₃ pero que sólo representan un 3% del total.

Los patrones A, B y C presentan unas características ligeramente diferentes a nivel local y sinóptico con altas presiones sobre Europa o en el Atlántico penetrando por el Oeste del continente europeo propiciando vientos de dirección NE a SE en altura (Figuras 11, 12 y 13).

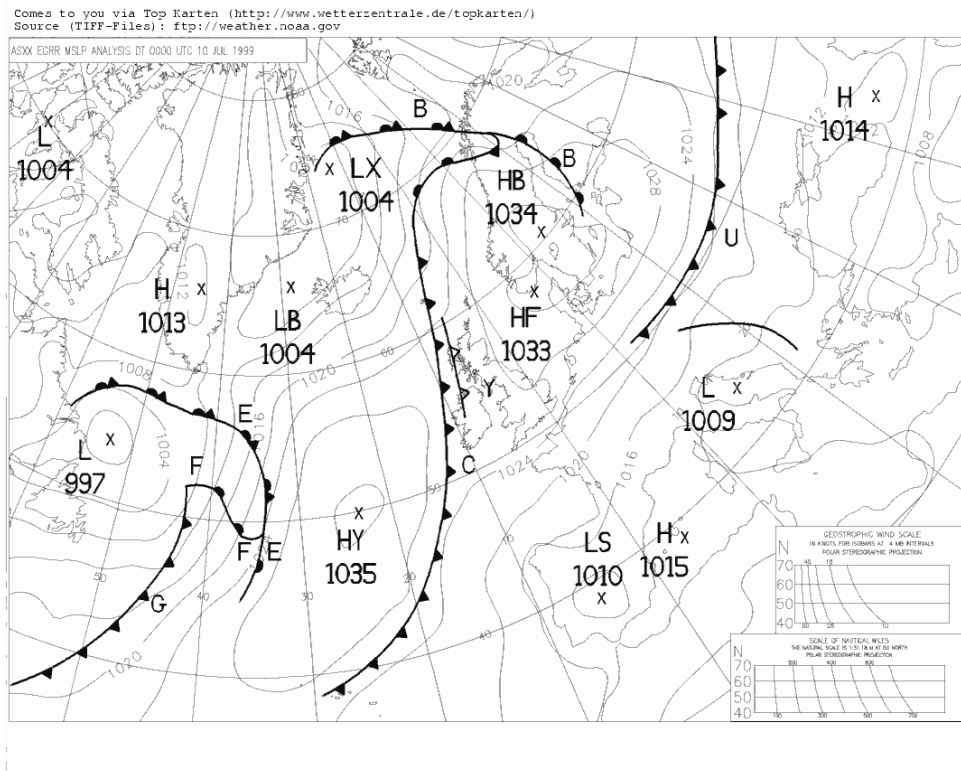


Figura 11. Mapa sinóptico asociado al patrón A (10 de julio de 1999)

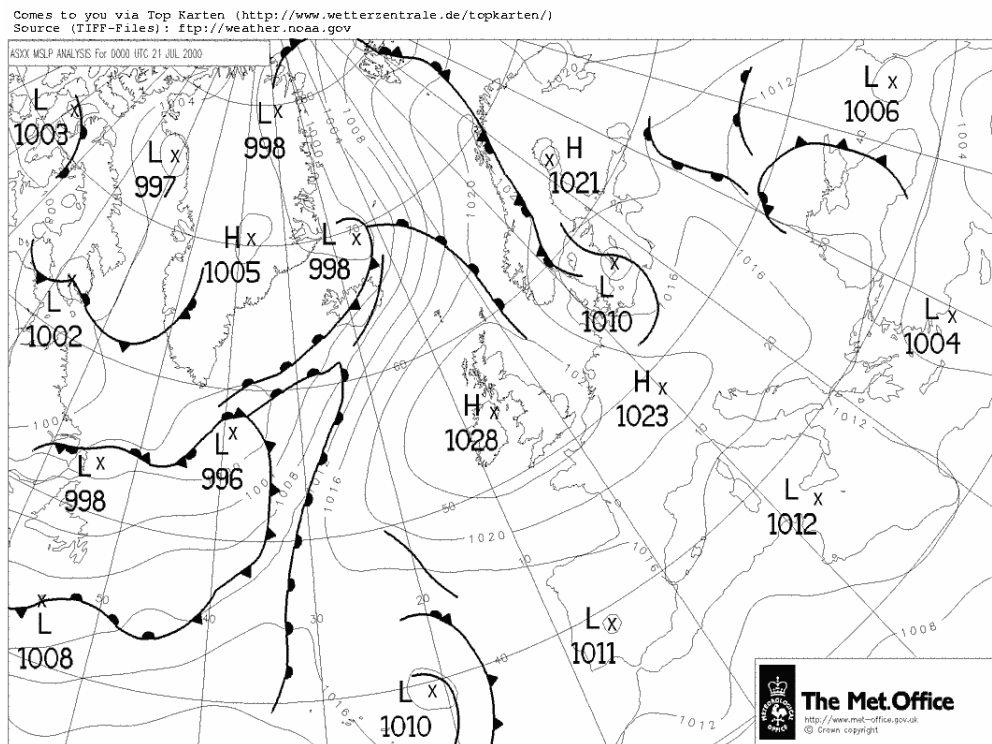


Figura 12. Mapa sinóptico asociado al patrón B (21 de julio de 2000)

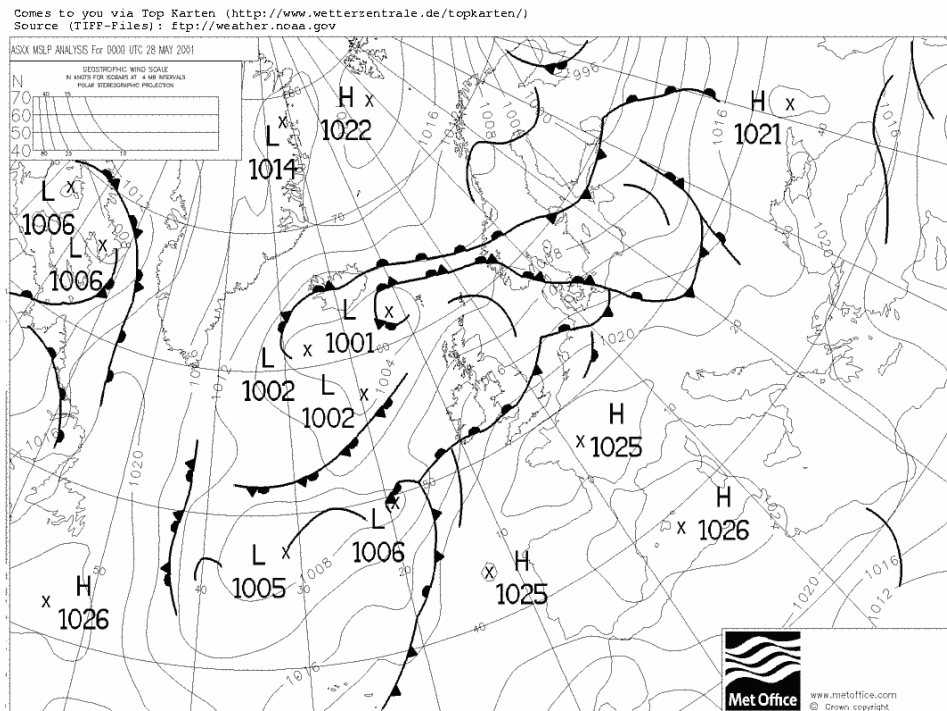


Figura 13. Mapa sinóptico asociado al patrón C (28 de mayo de 2001)

Las condiciones meteorológicas locales están asociadas a los patrones meteorológicos horarios 3 y 13 en las horas centrales del día (Figuras 14 y 15).

El patrón dispersivo A, fundamentalmente situación 3 en las horas centrales, sin darse las condiciones para ser patrón C. El número de días incluidos en este patrón es de 72 días (8% del total).

El patrón dispersivo B, fundamentalmente situación 13 en las horas centrales, sin darse las condiciones para ser patrón C. El número de días incluidos en este patrón es de 54 días (6% del total).

El patrón dispersivo C, cambio de situación 13 a 3 entre las horas 13 a 16 GMT, ambas incluidas pero con persistencia de 2 horas mínimo tanto en el patrón 13 como en el 3. El número de días incluidos en este patrón es de 70 días (8% del total).

Estas diferencias conllevan una diferencia a su vez en el campo espacio-temporal de concentraciones de ozono registrado y que se presenta a continuación. La representación espacial del campo de concentraciones se ha efectuado mediante interpolación, utilizando el método de Kriging, de los valores medios de cada patrón dispersivo para cada hora en las 27 estaciones seleccionadas: La Arena, Abanto, Serantes, Getxo, Sondika, Erandio, Mazarredo, Basauri, Arrigorriaga, Llodio, Eibar, Mondragón, Irún, Rentería, Ategorrieta, Hernani, Tolosa, Beasain, Mundaka, Durango, Urkiola, Avda. Gasteiz, Fac. Farmacia, Izkiz, Agurain, Lukiano y Valderejo. Esta representación espacial será tanto más fiel a la realidad cuanto mejor se cubra el territorio y las estaciones representen mejor el entorno cercano a las mismas. Por ello para su análisis hay que tener en cuenta la particular ubicación de las mismas y que fuera de la CAPV, al no disponer de datos de estaciones las isolneas son resultado de una extrapolación.

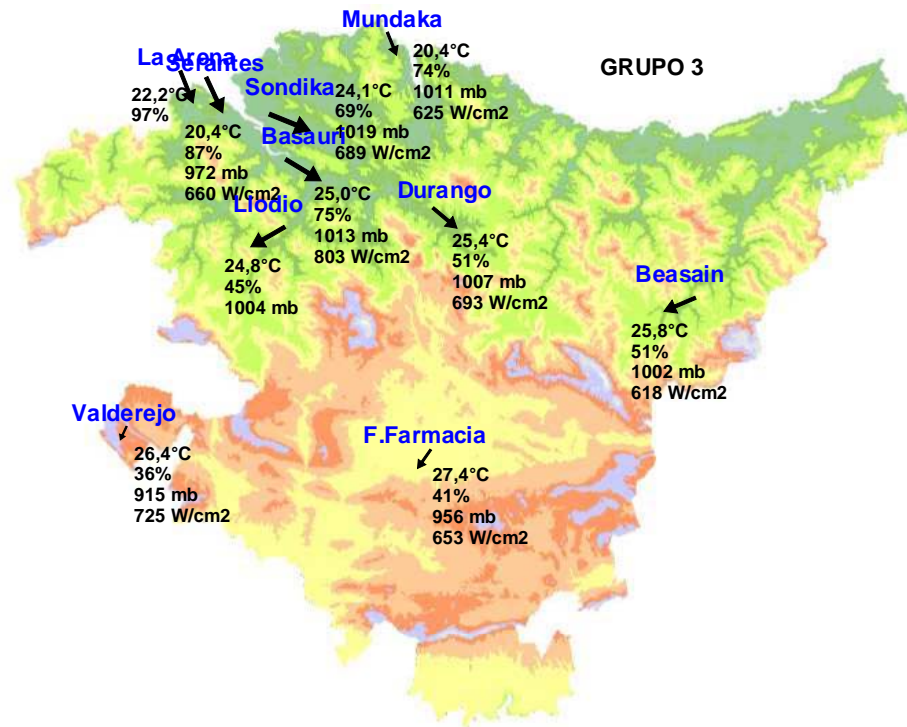


Figura 14. Centroide (media de los casos) asociado al patrón meteorológico horario 3

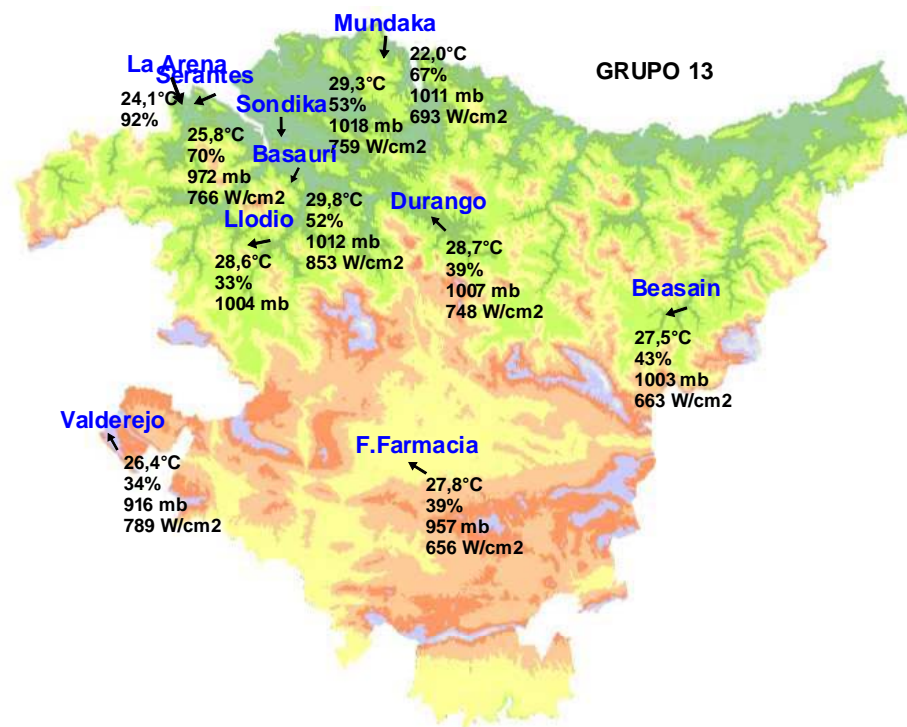
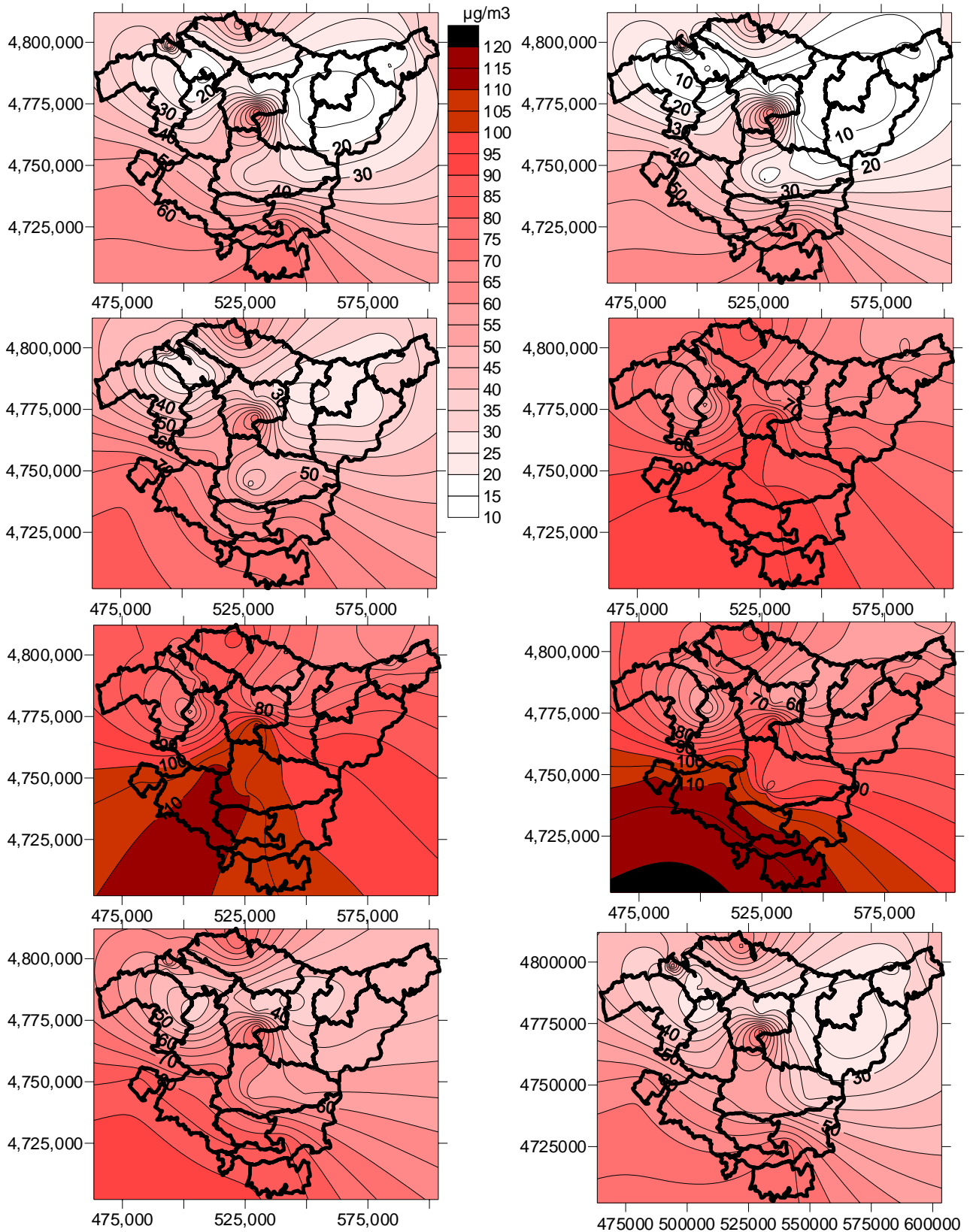
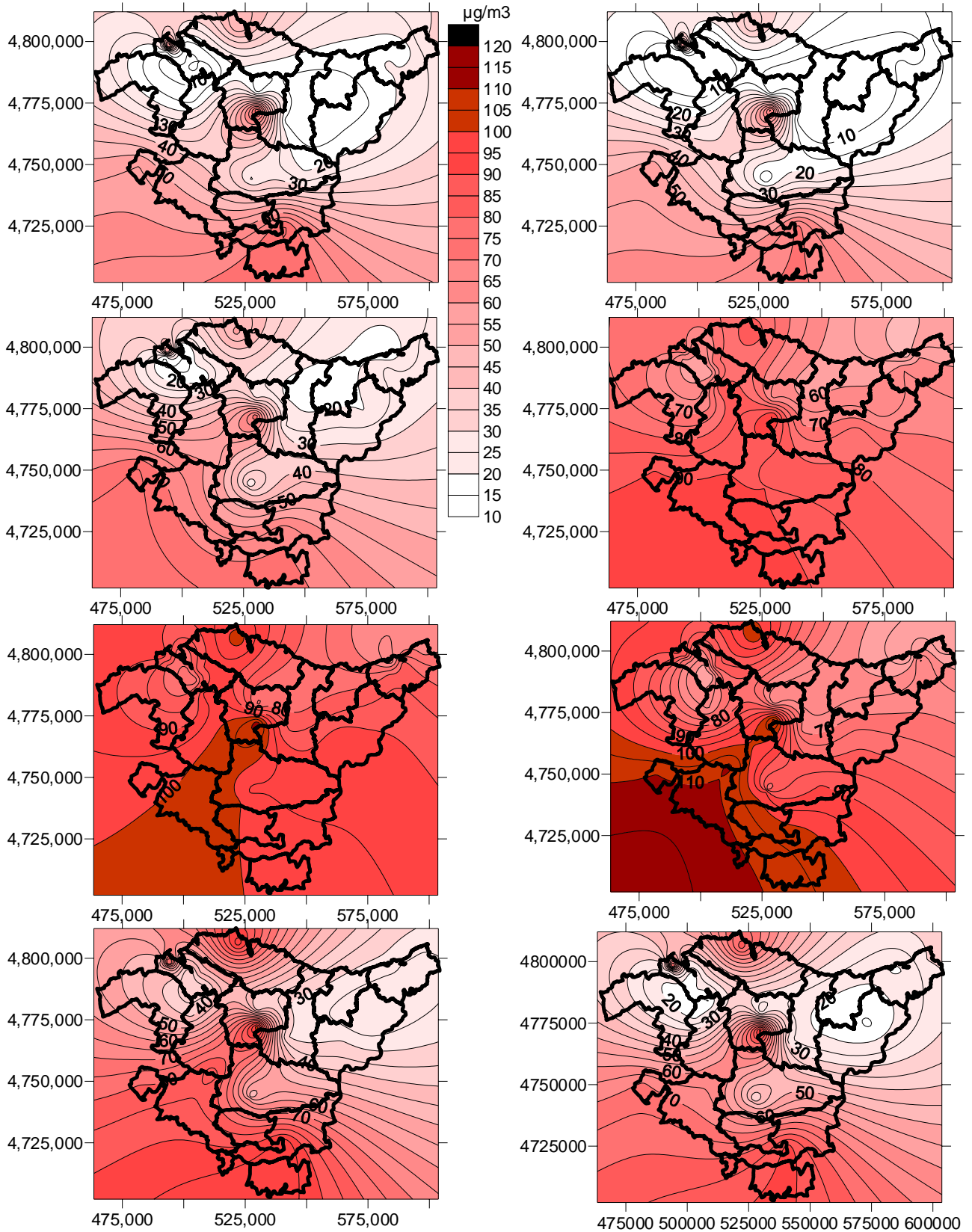


Figura 15. Centroide (media de los casos) asociado al patrón meteorológico horario 13

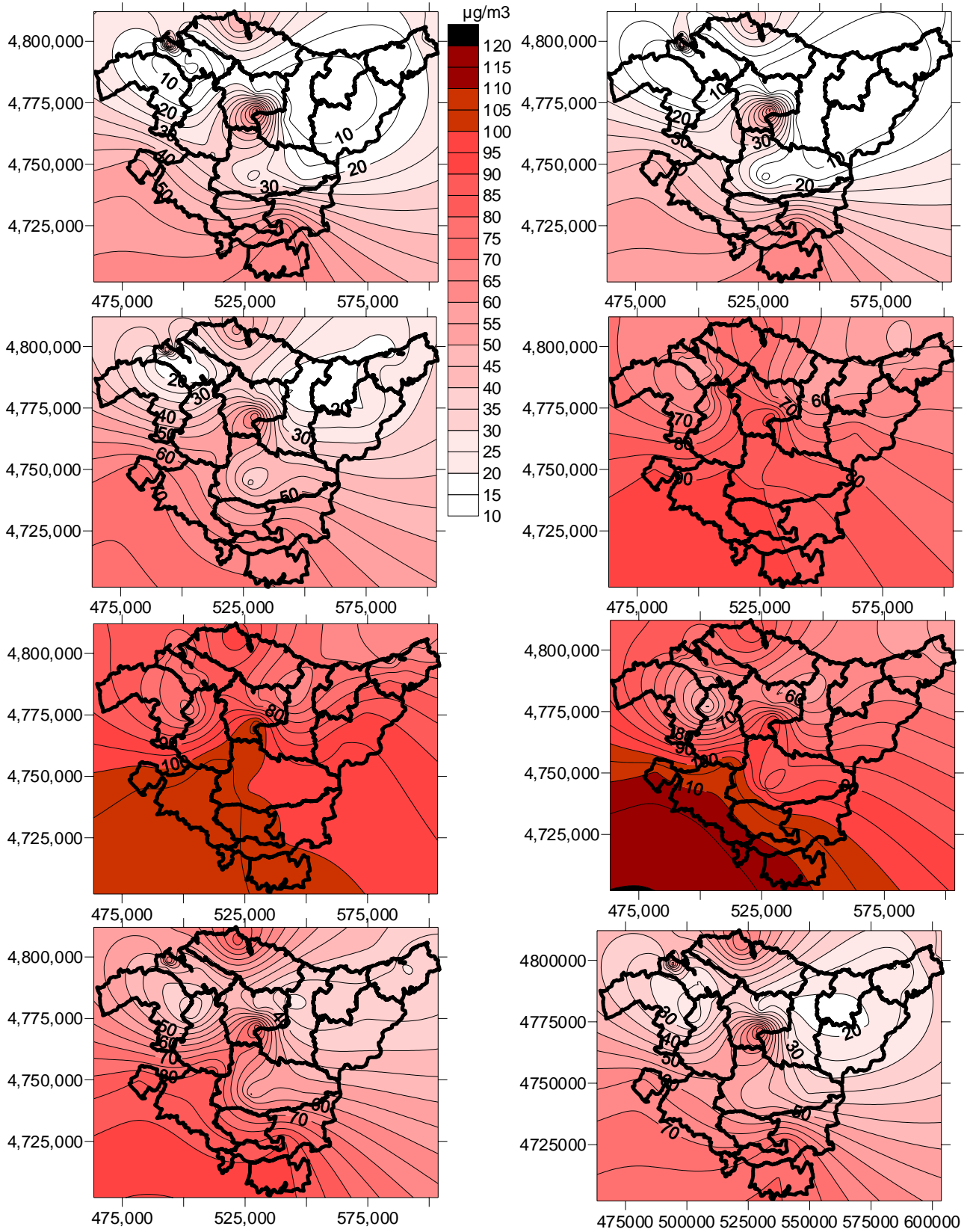
PATRON A: Evolución espacio-temporal (3-6-9-12-15-18-21-24 horas)
del campo de concentraciones de Ozono



PATRON B: Evolución espacio-temporal (3-6-9-12-15-18-21-24 horas)
del campo de concentraciones de Ozono



PATRON C: Evolución espacio-temporal (3-6-9-12-15-18-21-24 horas)
del campo de concentraciones de Ozono



En el patrón dispersivo E la situación sinóptica característica, es la mayoría de los casos una situación prefrontal con altas presiones en el Mediterráneo (Figura 16) y viene caracterizado por la ocurrencia del patrón meteorológico horario 5 (Figura 17), viento Sur, en las horas centrales del día, y la evolución del campo de concentraciones es la presentada a continuación. Se han seleccionado 32 días, un 3,5% del total.

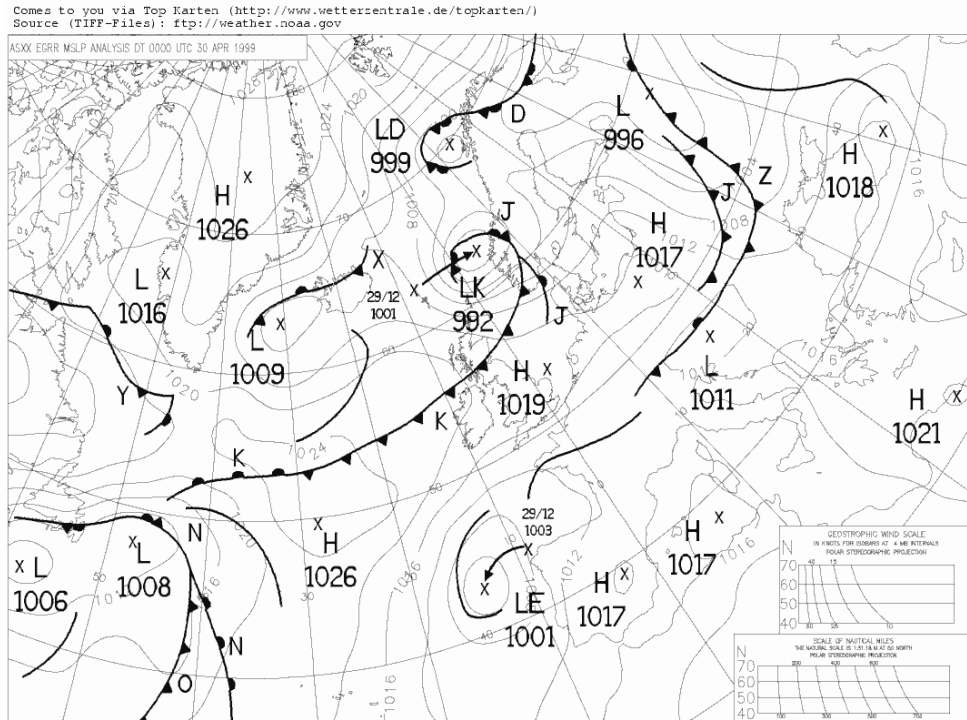


Figura 16. Mapa sinóptico asociado al patrón E (30 de abril de 1999)

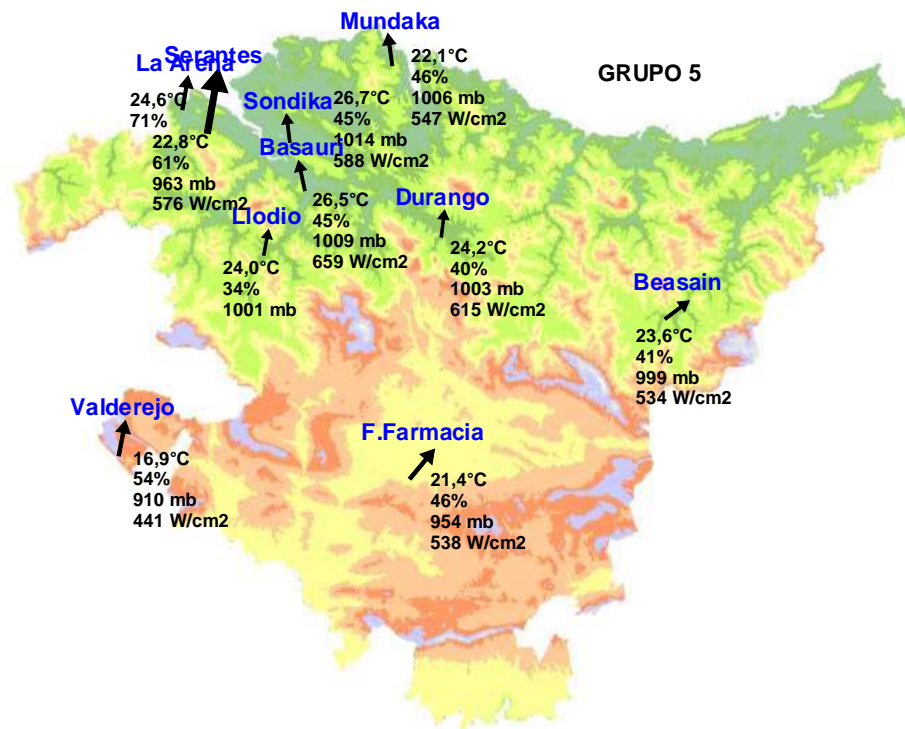
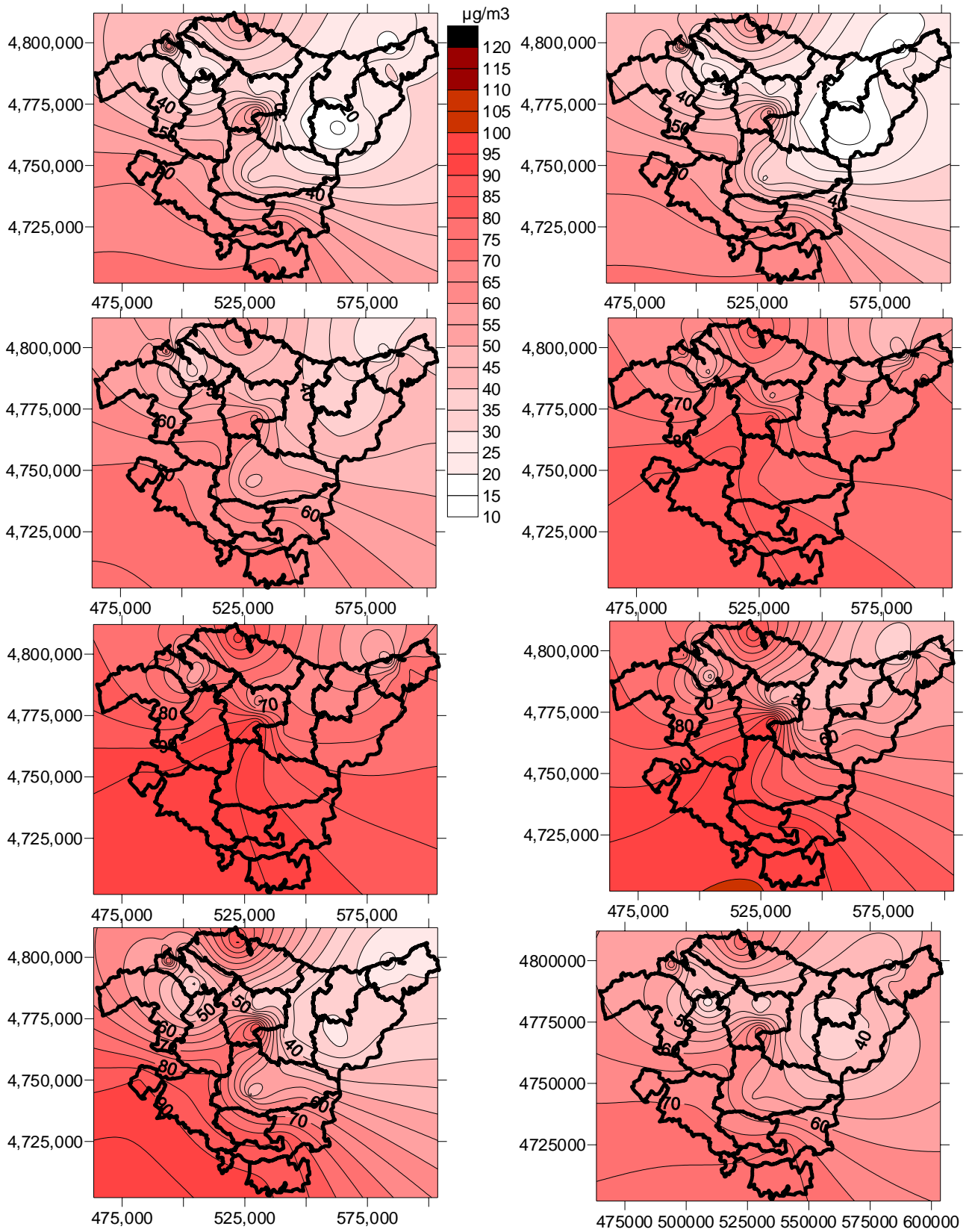


Figura 17. Centroide (media de los casos) asociado al patrón meteorológico horario 5

PATRON E: Evolución espacio-temporal (3-6-9-12-15-18-21-24 horas) del campo de concentraciones de Ozono



Con la observación de los niveles registrados en las diferentes estaciones en cada patrón se ha llevado a cabo una serie de hipótesis acerca de los niveles de fondo, la formación y el transporte local, así como el transporte regional en aquellas situaciones en las que el ozono confinado en capas altas y concentraciones elevadas puede llegar a la superficie y ocasionar valores de contaminación muy altos.

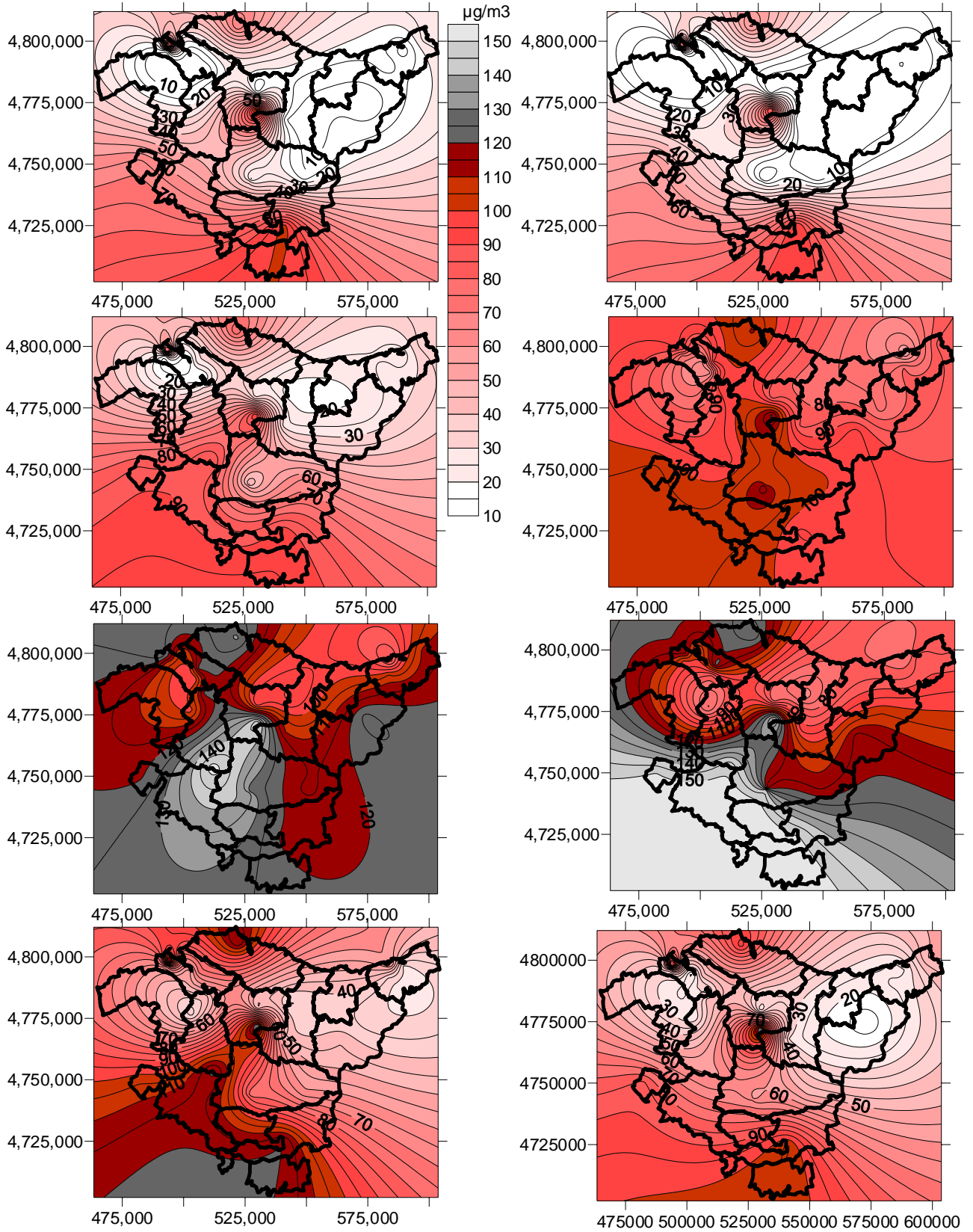
El nivel de fondo se sitúa en torno a los $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en la mayoría de los patrones, unos $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ cuando la masa de aire procede del continente. La generación de ozono atribuible a factores locales depende del patrón y de la ubicación de la estación.

Las concentraciones horarias registradas pueden alcanzar los $115 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de media, es decir la componente local puede sumar hasta $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de media, que pueden ser distribuidos de forma uniforme o con un gradiente hacia el interior de hasta $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de media cuando se producen las condiciones propiciadas por la situación sinóptica, la brisa de mar y/o las bajas térmicas desarrolladas en la península.

La clasificación llevada a cabo no aísla los días en los que se registran unos valores especialmente altos y en los que presumiblemente existen otros factores adicionales a los considerados. Estos días parecen tener en común el hecho de que en ellos se produce una subsidencia anticiclónica o una advección de aire cálido en la capa más baja propiciando una gran inestabilidad. Esto puede provocar que capas altas con concentraciones de O_3 elevadas acaben mezclándose con la capa más superficial.

Destacan 4 días en el patrón A, 6 días en el patrón B, 14 días en el patrón C y 3 en el patrón E. Si se analiza la evolución del campo de concentraciones promedio de los 14 días agrupados en el patrón C respecto a la evolución presentada para ese mismo patrón con anterioridad, se observa una diferencia fundamentalmente cuantitativa ya que se registran concentraciones horarias de hasta $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de media como se puede observar en los mapas presentados.

PATRON C: Evolución espacio-temporal (3-6-9-12-15-18-21-24 horas)
del campo de concentraciones de Ozono
(situaciones episódicas)



ACTUACIONES FUTURAS

Con el objetivo general de efectuar una vigilancia intensiva de los niveles de O₃ en el período estival, llevando a cabo una evaluación diaria de la situación de los niveles de O₃ en la CAPV y la previsión a corto plazo de la evolución de los mismos, se ha procedido a lo largo del pasado mes de setiembre a elaborar un informe diario sobre la situación y previsión de evolución de los niveles de O₃ en la CAPV que estaba preparado a primeras horas de la mañana. Para la evaluación de la situación se parte de los datos registrados en la Red y de la clasificación de patrones establecida así como de la previsión meteorológica.

Los resultados han sido satisfactorios y se previó con acierto el riesgo de superación del umbral de información a la población para los días 17, 18 y 19, aunque sólo se superó el día 18 en la estación de Serantes (el día 17 se alcanzaron los 178 µg/m³ en la estación de Urkiola) y ya para el día 19 se sabía que éste era muy bajo.

Por otro lado se ha constatado la necesidad de reevaluar los patrones dispersivos e incluso diferenciarlos dependiendo de otros factores, como indicadores de las condiciones meteorológicas en altura por su interrelación con los fenómenos locales: por ejemplo si la brisa de mar presenta un desarrollo espacio-temporal limitado debido a la existencia de viento Sur en altura, los máximos se registran en el interior de los valles costeros, en estaciones como Durango, Mondragón, Beasain y Tolosa, y no más al Sur en la meseta como se podía prever.

En la actualidad se trabaja en la incorporación de indicadores que aporten un mayor detalle y la información necesaria del transporte regional, como pueden ser datos de variables meteorológicas medidas en altura, y de la emisión de precursores a nivel local. Además, en una zona de topografía compleja como la que existe en la Comunidad Autónoma del País Vasco, las condiciones de viento varían de forma dramática entre los distintos valles, entre los valles y las cumbres y entre la costa y el interior. Para el diagnóstico del origen de los episodios de contaminación y la reproducción de trayectorias de la masa aérea contaminada durante estos episodios, es necesario conocer el campo de vientos y las condiciones de estabilidad de las masas de aire que confluyen sobre la zona de estudio con la adecuada resolución espacio-temporal, sólo así se pueden trazar trayectorias y simular la dispersión de contaminantes con la precisión adecuada. Por ello, también se están utilizando modelos de mesoescala de alta resolución que ayuden en la búsqueda de nuevos indicadores que mejoren la parametrización de las situaciones meteorológicas.

Referencias

- **Tropospheric Ozone in the European Union “The Consolidated Report”.** European Environment Agency (J.P. Beck, M. Krzyzanowski, B. Koffi). November 1998.
- **Regional Transport of Pollutants over the Bay of Biscay: Analysis of an Episode under a Blocking Anticyclone in West-central Europe.** Atmospheric Environment 36 (2002) 1349-1361