



INFORME

EVALUACIÓN DE LOS NIVELES HISTÓRICOS DE
CONCENTRACIÓN DE OZONO REGISTRADOS EN LA
COMUNITAT VALENCIANA COMO SOPORTE AL
DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN
SOBRE LA DINÁMICA DE ESTE TIPO DE
CONTAMINACIÓN SECUNDARIA

ÍNDICE

Introducción	2
Configuración de la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire	5
PARTE A: Análisis de los registros históricos de ozono de la R.V.V.C.C.A.	7
1. Descripción estadística de las series de datos de ozono.....	7
2. Análisis de la tendencia de las concentraciones de ozono.....	9
3. Caracterización de las superaciones de los valores normativos	11
4. Caracterización de los patrones temporales a diferentes escalas representativas (estacionales, semanales, diarias)	13
5. Distribución espacial de estadísticos y tendencias.....	14
6. Influencia de los factores meteorológicos sobre los niveles de inmisión	17
7. Estudio singularizado de episodios de elevada concentración	28
8. Resultados de la campaña experimental de medidas en Castellón (julio/2020)	42
PARTE B: Impacto del confinamiento en las concentraciones de contaminantes en la C.V.....	60
9. Comportamiento general de las concentraciones de contaminantes en la Comunitat Valenciana durante el periodo de confinamiento.....	61
10. Variaciones espaciales de las concentraciones en el periodo de confinamiento	63
11. Evolución temporal de las concentraciones en el periodo de confinamiento.....	68
12. Condiciones meteorológicas en el periodo de confinamiento.....	73
13. Resumen y Conclusiones	78
Anexo: Informe campaña extraordinaria dosimetría NO₂ Valencia	80

Introducción.

La cuenca mediterránea en general, y en particular la vertiente este de la Península Ibérica, como parte de la subcuenca occidental, presenta características orográficas que, en su entorno geográfico y sociológico, modelan decisivamente su clima, determinando algunas de las características atmosféricas que inciden decisivamente en la calidad del aire. Así, una orografía abrupta y compleja, con una gran extensión de costas, favorece el desarrollo de circulaciones térmicas de alcance local (brisas), con fuertes canalizaciones, que por su dinámica diurna limita los procesos de transporte y dispersión de contaminantes. Movimientos que se ven favorecidos por la distribución de masas de aire en esta zona templada, dominada por el anticiclón de las Azores y las bajas térmicas africana e ibérica, unido a una baja precipitación, lo que redundará en una baja tasa de renovación atmosférica. El predominio y persistencia de las circulaciones locales/regionales propicia además procesos de recirculación horizontal y vertical de las masas de aire, situaciones de estancamiento, formación de estratos de reserva, y otros procesos que inciden fuertemente en la dinámica de los contaminantes. La elevada insolación de la zona favorece la formación de contaminantes secundarios fotoquímicos, como el ozono, partículas y numerosos compuestos secundarios orgánicos e inorgánicos, estimulado por las emisiones biogénicas de una vegetación especialmente adaptada a estas latitudes, y sobre todo por una fuerte presión demográfica e industrial a lo largo de toda la franja costera, que asegura la emisión de precursores antropogénicos, dispersados limitadamente por el régimen de brisas. Tales condicionantes generan un escenario propicio para el desarrollo de frecuentes episodios de contaminación fotoquímica en toda la zona.

Estos episodios, en los que se registran niveles altos de ozono (entre otras especies) son complejos debido a su propia naturaleza. El ozono (O_3) troposférico se produce no sólo en atmósferas contaminadas sino en toda la troposfera (incluso en áreas remotas alejadas de fuentes próximas) a partir de reacciones fotoquímicas (gobernadas por la radiación solar) con la participación de óxidos de nitrógeno ($NO_x=NO+NO_2$) y compuestos orgánicos volátiles (COVs), y va acompañada de la producción de una gran variedad de compuestos secundarios intermedios y finales, que empeoran la calidad del aire. El origen de tales precursores puede ser muy diverso, desde potenciales aportes hemisféricos (por transporte desde Asia y Rusia, preferentemente en el Mediterráneo oriental, o desde Norteamérica en Europa occidental), regionales (transporte de masas aéreas o por recirculación horizontal y vertical de las mismas) o local (como los sotaventos de grandes conurbaciones o polos industriales). Además, muchos de los productos intermedios de reacción (especialmente en el caso de los radicales libres) suelen ser muy activos aún en muy bajas concentraciones, cuya presencia puede estimular las transformaciones fotoquímicas de las emisiones locales cuando llega una masa de aire envejecida rica en tales especies intermedias.

Esto conduce a patrones de comportamiento de los niveles de inmisión de ozono registrados en las redes de vigilancia muy variables en el tiempo, con marcados gradientes espaciales, que muestran ciclos repetitivos (especialmente una onda diurna bien definida) y una fuerte estacionalidad, pero también importantes variaciones interanuales. Esta compleja naturaleza, que se caracteriza por un comportamiento marcadamente no lineal, determina una gran dificultad a la hora de establecer relaciones causa-efecto y de prever el comportamiento futuro de las concentraciones ante el pronóstico de la evolución de las condiciones meteorológicas. Por otro lado, los progresos generales en la mejora de la calidad del aire en los últimos años (especialmente en lo que se refiere al material particulado) no ha tenido reflejo en lo que se refiere al ozono, cuyos niveles se han mantenido constantemente altos en el mismo periodo, o incluso tienen una tendencia a aumentar en áreas urbanas como consecuencia del descenso del óxido de nitrógeno (NO), con frecuentes superaciones del valor objetivo y objetivo a largo plazo.

De acuerdo a la normativa en vigente (RD 102/2011) “... cuando en determinadas zonas o aglomeraciones los niveles de contaminantes en aire ambiente superen cualquier valor límite o valor objetivo, así como el margen de tolerancia correspondiente a cada caso, las comunidades autónomas aprobarán planes de calidad del aire para esas zonas y aglomeraciones con el fin de conseguir respetar el valor límite o el valor objetivo correspondiente especificado en el anexo I...”. Ello supone que los planes deberán incluir acciones estratégicas, dentro del margen de actuación que abarcaría, como mucho, el ámbito territorial de la administración competente (condicionado igualmente a que la adopción de las medidas “... no conlleven costes desproporcionados para asegurarse que se alcanzan, ...”, tal como también establece la misma referencia legal).

Dado que el ozono medido en una determinada zona es el resultado de procesos complejos en los que intervienen las masas de aire que alcanzan el lugar (contribuyendo con sus propios niveles de O₃, así como una determinada reactividad) y las emisiones locales de precursores, naturales y antropogénicas, que se incorporan a los procesos fotoquímicos en el ambiente y condiciones en que son emitidos, las posibilidades de modificar este sistema en cualquier sentido proceden exclusivamente de la reducción de las emisiones antropogénicas locales. Ni la naturaleza de las masas de aire que llegan, ni la dinámica atmosférica, ni las emisiones naturales, ... podrían ser objeto de manipulación. Por otro lado, las diferentes acciones posibles (potencialmente destinadas a reducir emisiones) tendrán un efecto drásticamente condicionado por el entorno atmosférico mencionado, por lo que el dimensionamiento adecuado de las posibles actuaciones tienen que evaluarse teniendo en cuenta los efectos esperables bajo tales condicionantes (uno de los aspectos más críticos sería precisamente la posible limitación en la capacidad de reducción de los niveles de contaminación mediante actuaciones locales frente a la llegada de masas de aire ya contaminadas de procedencia exterior).

Siendo que formalmente los planes (locales, regionales o nacionales) de mejora de la calidad del aire ambiente vienen descritos por la normativa vigente (RD 102/2011) en lo que se refiere a los contenidos mínimos que deben incluir, un programa de gestión de la contaminación por ozono troposférico, con carácter general, debería definir una estrategia integrada para:

- la vigilancia y seguimiento de la calidad de aire y de las emisiones de precursores en la región;
- el diagnóstico (y pronóstico) de episodios (tipos, alcance espacio-temporal, fuentes de emisión implicadas, ...);
- el desarrollo y aplicación de herramientas de evaluación -y la definición de criterios de selección- de medidas correctoras estructurales y temporales coste/efectivas sobre las fuentes de emisión influyentes;
- la ordenación -priorización- de actuaciones efectivas para disminuir las emisiones de las principales fuentes influyentes;
- la recomendación de pautas de conducta adecuadas a la población susceptible ante la previsión o aparición de episodios;
- la definición de aquellas necesidades técnico/económicas para la gestión del plan, incluyendo las herramientas a utilizar para verificar el impacto real –contemplando el diseño de un programa específico de vigilancia continuada (retroalimentada) del grado de implementación de las medidas y de evaluación de su eficacia-;
- la definición de futuros trabajos/investigaciones orientados a reducir incertidumbres, mejorar el conocimiento y las herramientas necesarias para la evaluación y gestión.

En el anterior contexto, la normativa de referencia (RD 102/2011, transposición de la directiva 2008/50/CE) establece explícitamente en su anexo XV *la información que debe incluirse en los planes locales, regionales o nacionales de mejora de la calidad del aire ambiente*, de manera que la

formalización de un plan deberá incorporar como mínimo la relación de exigencias establecidas en la referencia indicada.

Uno de los puntos de partida para la elaboración (y posterior ejecución) del plan de gestión es el análisis de datos de calidad de aire que permita establecer tendencias, identificar y diagnosticar los problemas existentes -su naturaleza episódica o crónica y las características básicas de las tácticas o estrategias de reducción de emisiones necesarias-. Además, estos deben servir de base para la selección, calibración, verificación y optimización de las herramientas de modelización, que es preciso utilizar para establecer escenarios de reducción de emisiones realistas y creíbles.

La interpretación de series temporales de datos de calidad del aire y meteorológicos permite obtener además información de los rangos de variación y de las influencias meteorológicas, lo cual permite obtener datos cualitativos útiles para la identificación y asignación de fuentes influyentes, siempre que se evalúe adecuadamente la Incertidumbre asociada a las medidas y al análisis estadístico.

En el contexto anterior, el presente documento pretende resaltar la impronta de los emplazamientos en los que se monitorizan continuamente las concentraciones de ozono en la actualidad, dentro de la red de vigilancia de calidad del aire de la Comunitat Valenciana, como soporte para el desarrollo de un programa de investigación específico sobre la dinámica de la contaminación fotoquímica orientado hacia la descripción y dimensionamiento de posibles medidas correctoras (necesariamente sobre las emisiones de precursores).

Los trabajos se presentan en dos grandes apartados que recogen las actuaciones sobre las medidas procedentes de la red valenciana de vigilancia de calidad del aire:

- A. un análisis histórico de las series de concentración de ozono (sobre una ventana de al menos cinco años) de las cabinas actualmente operativas en todo el territorio de la Comunitat Valenciana, que ponga de manifiesto las características principales del comportamiento de las poblaciones de las medidas horarias, máximos horarios diarios y máximos octohorarios, y sus diferencias derivadas del tipo de emplazamiento y tipología de la estación, con relación también a las superaciones de los umbrales normativos;
- B. un estudio específico del potencial impacto sobre las series de concentración de ozono (referido a una referencia climática) de la reducción efectiva de emisiones de precursores durante el periodo de confinamiento (cuyo alcance se amplió, por su interés, al resto de especies contaminantes registradas).

Los valores, cálculos y estimaciones incluidos en el presente documento se realizaron a partir de medidas validadas procedentes de la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire (RVVCCA), procesadas con objeto de evaluar y mostrar el comportamiento de la contaminación atmosférica en el ámbito de la Comunitat Valenciana, en especial la referida al ozono. Aunque algunos parámetros y niveles de concentración ambiente hacen alusión a referencias legales, no ha sido la finalidad de los trabajos el determinar el cumplimiento o no de los límites legales, prerrogativa de las Administraciones competentes.

Configuración de la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire.

La figura 0.1 muestra la distribución geográfica de los puntos de medida de la RVVCCA en 2020, y la tabla 0.1 las variables medidas en cada uno de ellos. En total hay 56 estaciones fijas, y 3 unidades móviles que operan en 8 emplazamientos (todos ellos dotados de un monitor de fijo de ozono). Las series de datos que aparecen en gris en la tabla no se han incluido en el análisis de los datos por no disponer de al menos tres años completos en el periodo 2015-2019 (en todos los casos se trata de estaciones/monitores que empezaron a operar a finales de 2018, como Valencia-Centro, o durante 2019, como las estaciones de los puertos de Alicante y Castellón, o los monitores de ozono de Almassora y Benicàssim).



Figura 0.1: Distribución de estaciones automáticas de la RVVCCA. (Leyenda: Rojo=Urbanas; Amarillo=Suburbanas; Verde=Rurales. Los círculos corresponden a los 8 emplazamientos donde operan unidades móviles)

Tabla 0.1: Estaciones de la red y variables medidas en cada una. En color los emplazamientos donde operan las unidades móviles. En gris las estaciones/variables que no se incluyen en el estudio (explicado en pg anterior).

Nº	ZONA	ESTACIÓ		CLASIFICACIÓ		VARIABLES MESURADES											
		NOM				SO2	CO	NO	NO2	NOx	O3	PM1	PM2.5	PM10	C6H6	C7H8	C9H10
1	ES1001	SANT JORDI	JORD	RURAL	FONDO	X		X	X	X	X						
2		T.ENDOMÉNECH	ENDO	RURAL	FONDO	X	X	X	X	X	X						
3	ES1002	ZORITA	ZORI	RURAL	FONDO	X		X	X	X	X	X	X				
4		CORATXAR	CORA	RURAL	INDUSTRIAL	X		X	X	X	X						
5		MORELLA	MORE	RURAL	FONDO	X		X	X	X	X						
6		VILAFRANCA	VILA	SUBURBANA	FONDO	X		X	X	X	X						
7	ES1003	L'ALCORA	ALCO	URBANA	INDUSTRIAL	X	X	X	X	X	X		X	X			
8		ONDA	ONDA	SUBURBANA	INDUSTRIAL	X		X	X	X	X						
9		BENICASSIM	BENC	SUBURBANA	INDUSTRIAL	X	X	X	X	X	X		X	X			
10		PENYETA	PENY	SUBURBANA	INDUSTRIAL			X	X	X	X	X	X	X			
11		ERMITA	ERMI	SUBURBANA	INDUSTRIAL	X		X	X	X	X						
12		ALMASSORA	ALMA	URBANA	INDUSTRIAL	X	X	X	X	X	X		X	X			
13		BURRIANA	BURR	RURAL	INDUSTRIAL	X	X	X	X	X	X		X	X			
14	ES1004	CIRAT	CRAT	RURAL	FONDO	X	X	X	X	X							
15	ES1005	LA VALL D'UIXO	UIXO	SUBURBANA	FONDO	X	X	X	X	X	X						
16		ALGAR PALAN.	ALGA	RURAL	FONDO	X	X	X	X	X	X		X	X			
17		ALBALAT TARON.	TARO	SUBURBANA	INDUSTRIAL	X	X	X	X	X	X		X	X			
18		SAGUNT NORD	SAGN	SUBURBANA	FONDO			X	X	X	X						
19		PT.SAGUNT	PSAG	URBANA	TRAFICO	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
20	CEA-SAGUNT	CEA	SUBURBANA	INDUSTRIAL	X	X	X	X	X	X		X	X				
21	ES1006	VIVER	VVER	SUBURBANA	FONDO	X	X	X	X	X	X		X	X			
22	ES1007	VILAMARXANT	VXAN	SUBURBANA	FONDO	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
23		TORRENT	TORR	SUBURBANA	TRAFICO	X	X	X	X	X	X		X	X			
24		PAT-CEAM	PATC	SUBURBANA	FONDO	X	X	X	X	X	X						
25	ES1008	TORREBAJA	TBAJ	RURAL	FONDO	X	X	X	X	X	X						
26		VILLAR ARZOB.	VILL	RURAL	FONDO	X		X	X	X	X	X	X	X			
27	ES1009	ALZIRA	ALZI	SUBURBANA	FONDO	X	X	X	X	X	X						
28	ES1010	CAUDETE	CAUD	RURAL	FONDO	X		X	X	X	X	X	X	X			
29		BUÑOL-CEMEX	CEME	SUBURBANA	INDUSTRIAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
30		CORTES	CORT	RURAL	FONDO						X						
31	ES1011	BENIGÁNIM	BENG	SUBURBANA	FONDO	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
32		GANDIA	GAND	URBANA	TRAFICO	X	X	X	X	X	X						
33	ES1012	ONTINYIENT	ONTI	RURAL	FONDO	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
34		VERGE DEL LLIRIS	VERG	URBANA	FONDO	X	X	X	X	X	X						
35	ES1013	BENIDORM	BEND	SUBURBANA	FONDO			X	X	X	X						
36		ELX-AGROAL.	AGRO	SUBURBANA	FONDO	X	X	X	X	X	X						
37		ORIHUELA	ORIH	SUBURBANA	FONDO	X	X	X	X	X	X						
38		TORREVIEJA	TVJA	URBANA	TRAFICO			X	X	X	X		X	X			
39	ES1014	ELDA-LACY	LACY	SUBURBANA	FONDO	X		X	X	X	X	X	X	X			
40		EL PINÓS	PINO	RURAL	FONDO	X	X	X	X	X	X						
41	ES1015	PATRONAT	PATR	URBANA	TRAFICO	X	X	X	X	X	X				X	X	X
42		GRAU	GRAU	SUBURBANA	INDUSTRIAL	X		X	X	X	X		X	X	X	X	X
43		TRAMUNTANA	TRAM	SUBURBANA	INDUSTRIAL								X	X			
44		GREGAL	GREG	SUBURBANA	INDUSTRIAL								X	X			
45		LLEVANT	LLVT	SUBURBANA	INDUSTRIAL							X	X	X			
46		PONENT	PENT	SUBURBANA	INDUSTRIAL							X	X	X			
47		XALOC	XLOC	SUBURBANA	INDUSTRIAL							X	X	X			
48	ES1016	BURJ. FACULT	FACU	URBANA	TRAFICO	X		X	X	X	X						
49		QUART POBLET	QUAR	URBANA	TRAFICO	X		X	X	X	X		X	X			
50		VIVERS	VIVE	URBANA	FONDO	X		X	X	X	X						
51		MOLÍ DEL SOL	MOLI	SUBURBANA	TRAFICO	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
52		POLITECNIC	POLI	SUBURBANA	FONDO	X		X	X	X	X		X	X			
53		CENTRO	CENT	URBANA	TRAFICO			X	X	X	X		X	X			
54		BULEVARD SUD	BSUD	URBANA	TRAFICO	X		X	X	X	X						
55	PISTA SILLA	PIST	URBANA	TRAFICO	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	
56	AVD.FRANCIA	FRAN	URBANA	TRAFICO	X	X	X	X	X	X		X	X				
57	PT. VAL. PONENT	PTVP	SUBURBANA	INDUSTRIAL	X	X	X	X	X	X			X				
58	ES1017	RABASSA	RABA	SUBURBANA	INDUSTRIAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
59		FLORIDA BABEL	FLOR	URBANA	FONDO	X		X	X	X	X						
60		PÀRC DEL MAR	PMAR	SUBURBANA	INDUSTRIAL									X			
61		AP_ISM	ISM	SUBURBANA	INDUSTRIAL									X			
62		AP_T_FRUTERO	FRUT	SUBURBANA	INDUSTRIAL									X			
63		AP_D_PESQUERA	PESQ	SUBURBANA	INDUSTRIAL									X			
64	EL PLA	PLA	URBANA	TRAFICO	X	X	X	X	X	X				X	X	X	
65	ES1018	ELX P.BOMBERS	ELX	URBANA	TRAFICO	X	X	X	X	X	X			X	X	X	

PARTE A:

ANÁLISIS DE LAS SERIES HISTÓRICAS DE OZONO EN LA R.V.V.C.C.A.

En esta primera parte se trata de dar una visión de los niveles actuales de las concentraciones de ozono en el territorio de la Comunitat Valenciana, y de sus tendencias en los últimos años. Para el primer objetivo se han analizado los registros de este contaminante en el periodo 2015-2019. En cuanto al análisis de las tendencias, se requiere necesariamente el análisis de los datos de un periodo mayor, y para ello se ha considerado el periodo de 10 años 2010-2019. El año 2020 se deja deliberadamente fuera en ambos casos por tratarse de un año “singular”, que se analiza por separado en la Parte B de este informe.

1. Descripción estadística de las series de datos de ozono.

Para dar una idea de los niveles de ozono en la CV, y de cómo se distribuyen las concentraciones en los emplazamientos de la RVVCCA, se han calculado un grupo de estadísticos para el periodo 2015-2019 en base a tres parámetros: *promedios horarios*, *máximos diarios de las medias móviles de 8 horas*, y *máximos diarios de los promedios horarios*. El primero de ellos abarca todas las medidas registradas por la red, y los otros dos tienen interés en relación con los valores legales establecidos para el ozono, en concreto el *Valor Objetivo* ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el máximo promedio diario de 8 horas), y el *Umbral de Información* ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio horario), aunque el análisis de las superaciones de estos valores se trata con más detalle en el apartado 3.

Los gráficos de la figura 1.1 muestran en cada caso los percentiles 0.1, 5, 25, 75, 95 y 99.9, y el promedio para cada estación de la red. En los rangos $[P_5-P_{95}]$ y $[P_{25}-P_{75}]$ se distribuyen respectivamente el 90% y el 50% de los datos de una serie. Los $P_{0.1}$ y $P_{99.9}$ se han tomado como indicadores de los valores mínimos y máximos, evitando los valores extremos (mínimos y máximos absolutos), que pueden responder a situaciones muy puntuales y poco representativas.

En general, para el total de las medidas (gráfico superior), los promedios totales se sitúan mayoritariamente en el rango $40-80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y las amplitudes de los intervalos P_5-P_{95} van aproximadamente de 60 a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Toda esta variabilidad está asociada a la posición geográfica de cada punto (costa-interior, valle-montaña y posición relativa respecto a grandes áreas de emisión), a la propia variabilidad temporal de las concentraciones (ciclos diario y estacional), y a las diferentes situaciones atmosféricas que favorecen o dificultan la producción y/o acumulación de ozono. En el apartado 4 se explican brevemente estos aspectos característicos de la dinámica del ozono.

Con los niveles más altos destacan estaciones como Morella, Coratxar, Vilafranca, Penyeta, Villar, Caudete, Ontinyent, Benidorm o Pinoso, todas ellas localizadas en el interior o en puntos elevados de la costa. Y en los más bajos se sitúan las estaciones urbanas de tráfico o industriales en áreas de alta concentración de industria, todas ellas ubicadas en la costa. Las estaciones se han ordenado de norte a sur, y ello permite comprobar que no hay, o al menos no prevalece, un gradiente latitudinal.

Para los máximos diarios de los promedios horarios (gráfico del medio) todos los estadísticos aumentan de valor, puesto que proceden de un subconjunto de valores más elevados dentro del total de medidas, y las amplitudes los rangos P_5-P_{95} y $P_{25}-P_{75}$, disminuyen por la misma razón (puesto que al excluir los registros intermedios y bajos los valores se distribuyen más concentrados). Los valores del $P_{99.9}$ muestran que el *Umbral de Información* (UI) raramente se supera en la red.

En cuanto a los estadísticos de los máximos diarios de los promedios de 8 horas (gráfico inferior), muestran una situación intermedia entre las anteriores. En este caso los valores del P₉₅ y P_{99.9} muestran que el *Valor Objetivo a Largo Plazo* (VOLP) se supera con mayor o menor frecuencia en prácticamente toda la red (de hecho, solo Av. de Francia no lo ha superado nunca en 2015-2019).

Más adelante, en el apartado 3 se tratan con más detalle las superaciones de ambos valores, UI y VO, y en el apartado 4 se muestran los resultados de los estadísticos y las superaciones sobre mapas de la CV en las coordenadas de los puntos de medida de la RVVCCA.

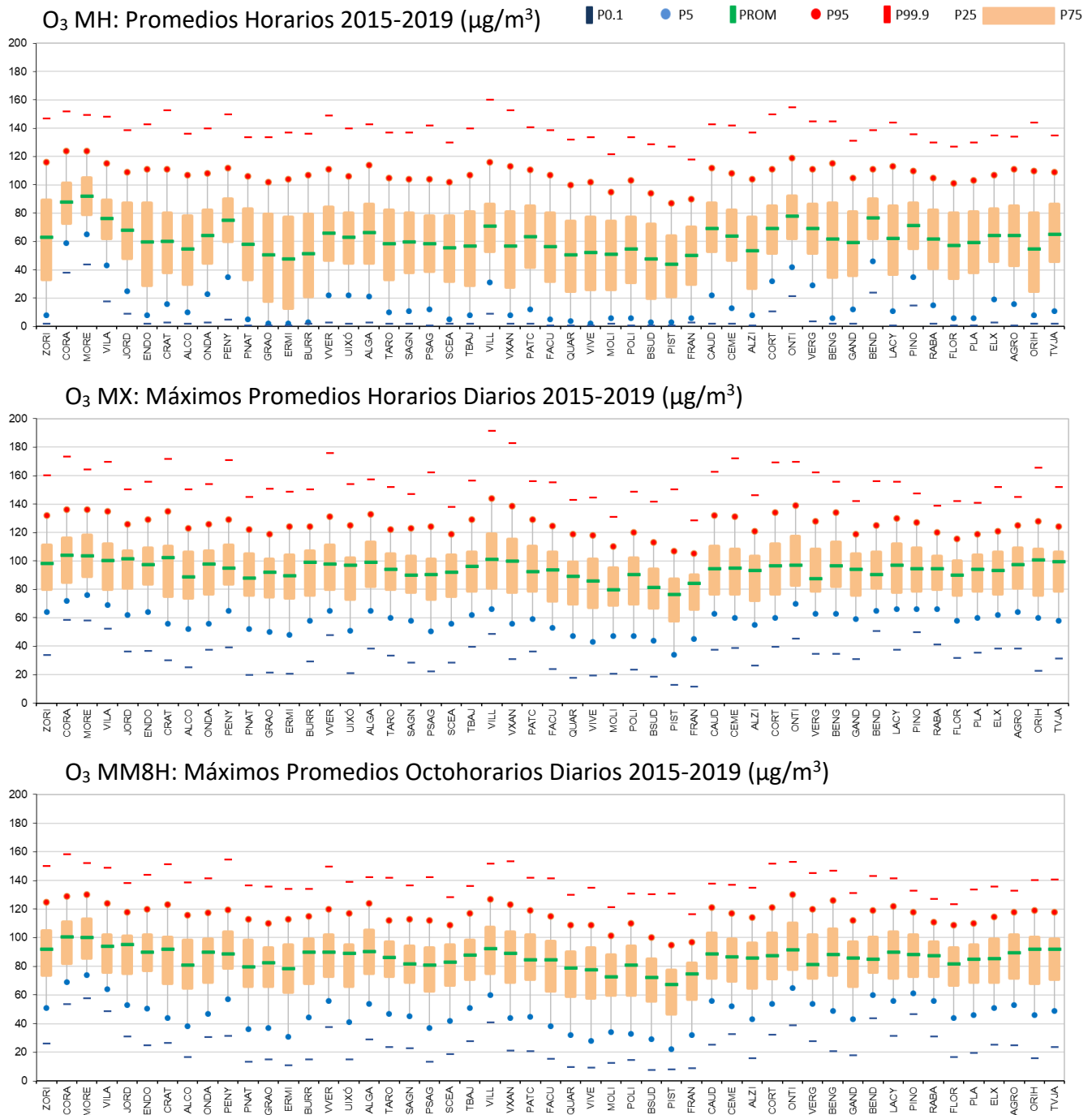


Figura 1.1: Valores promedio y percentiles 0.1, 5, 25, 75, 95 y 99.9 en periodo 2015-2019 para los tres parámetros considerados. Estos valores caracterizan la distribución de las concentraciones de ozono en cada punto de la RVVCCA.

2. Análisis de las tendencias de las concentraciones de ozono.

Para el análisis de las tendencias de ozono en la RVVCCA se han calculado las pendientes de los ajustes lineales de las series de promedios anuales en el periodo 2010-2019. Los cálculos se han realizado para cada una de las estaciones de la red (figuras 1.2 y 1.3), y para los promedios de estaciones urbanas, suburbanas y rurales (figura 1.4). Para los cálculos se exigido una cobertura mínima anual del 80% de los datos posibles en cada punto, y se han excluido las series de las que no se dispone de un mínimo de 8 años de datos (Benicàssim, Almassora, Torrent y Torrevieja).

El gráfico de la figura 1.2 muestra los valores de las pendientes en cada una de las estaciones de la red donde se mide ozono (excluidas las 4 antes citadas). Igual que en la figura 1.1 las estaciones se han ordenado de norte a sur, desde Zorita hasta Orihuela, sin que se aprecie tampoco ningún patrón asociado a la latitud. En general, los resultados muestran mayoritariamente tendencias positivas, predominando entre estas los valores en el rango $0.3 - 0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Aproximadamente en un 25% de las estaciones la tendencia es negativa, destacando Vilamarxant, con un valor anómalo y difícil de interpretar ($-1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{año}$). En una posición geográfica intermedia entre Paterna-CEAM ($+1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Villar del Arzobispo ($-0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{año}$), probablemente el resultado de Vilamarxant está más asociado a la incertidumbre del método de medida y a la escasez de datos (solo dispone 8 años de datos, 2012-2019, y se ha excluido el 2015, con una cobertura del 72%), que a la evolución de los niveles reales del emplazamiento en 2010-2019.

El gráfico X-Y de la figura 1.3 muestra en los mismos valores frente al promedio total del periodo para cada punto, diferenciando con un código de color el tipo de entorno (rural, urbano y suburbano). Aunque tampoco se observa un patrón bien definido del signo de las tendencias asociado a estos grupos, las estaciones urbanas y suburbanas, con algunas excepciones, muestran mayoritariamente tendencias positivas, en el rango 0 a $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{año}$. En las rurales hay variedad de valores en el rango -1 a $1 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{año}$, con casi la mitad de ellas con tendencias negativas o cero, aunque con estaciones tan significativas como Coratxar o Morella mostrando tendencias positivas.

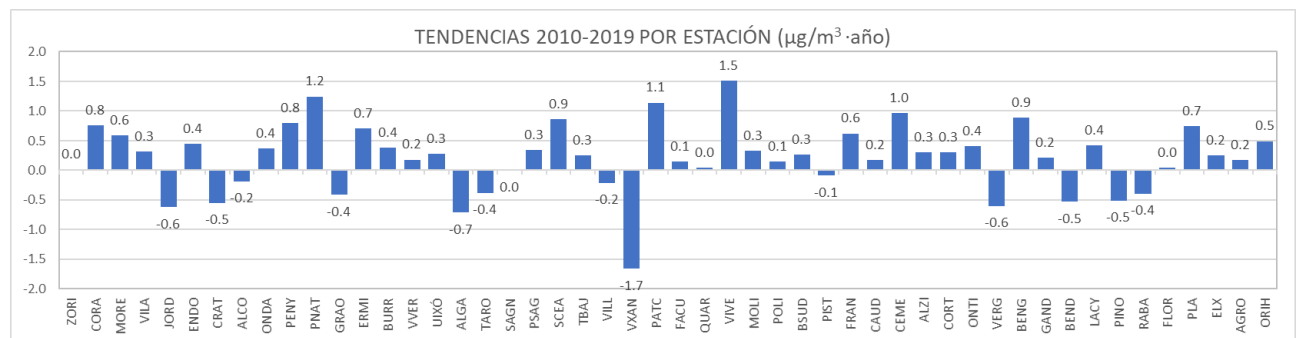


Figura 1.2: Pendientes de las series de promedios anuales en el periodo 2010-2019 para todas las estaciones de la red.

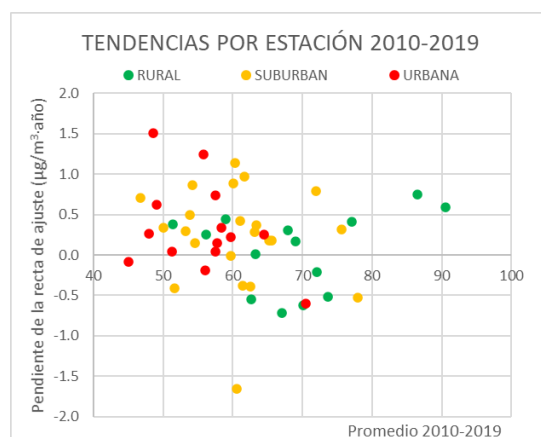


Figura 1.3: Representación x-y de las pendientes frente al promedio total en el periodo 2010-2019, para todas las estaciones de la red diferenciadas por el tipo de entorno (urbano, suburbano, rural).

La figura 1.4 muestra las tendencias para las series de promedios anuales calculadas para los tres tipos de entorno; urbano, suburbano y rural. Además, se representan los mismos estadísticos empleados en el apartado anterior, para mostrar la variabilidad interanual en la distribución de los datos.

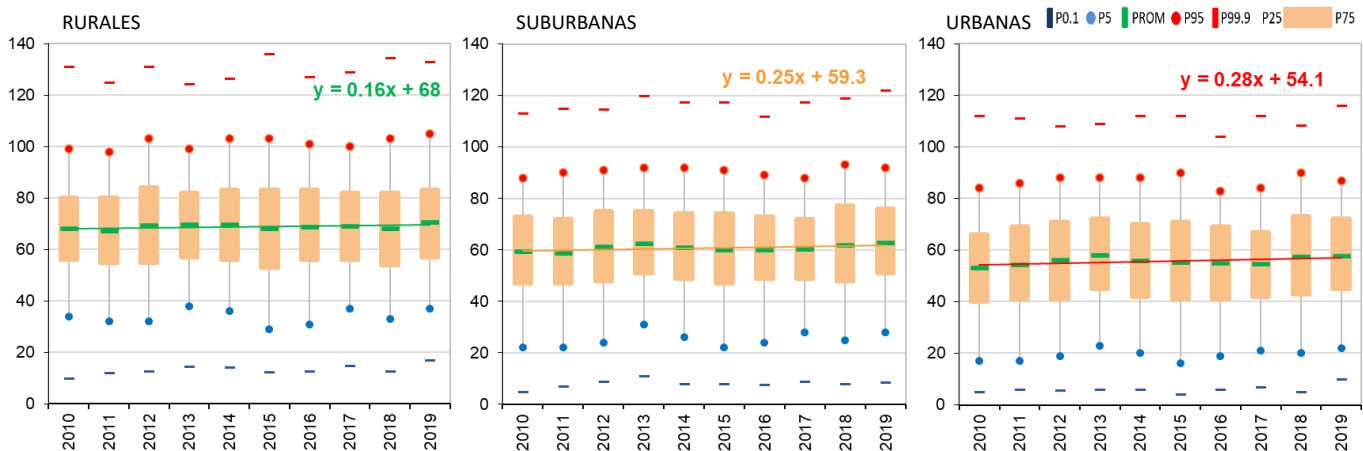


Figura 1.4: Valores estadísticos (los mismos que los representados en la figura 2) por tipo de entorno, con las rectas de regresión de las series de promedios anuales. En todos los casos la tendencia es positiva, con un gradiente creciente cuanto más urbanizado es el entorno.

Estos resultados son, en general, coherentes con los resultados que se obtuvieron con la misma clasificación a escala nacional en el proyecto CONOZE para el periodo 2000-2012 (Informe Proyecto CONOZE. CEAM, 2014)¹. Como consecuencia de la gradual reducción de las emisiones del tráfico urbano y de la química no lineal del ozono, sus concentraciones en entornos urbanos tienden a crecer al reducirse el consumo de ozono que ejercen las emisiones de NO en un régimen limitado en VOCs. Este efecto local desaparece fuera de las áreas urbanas, y de hecho en las zonas rurales la caída en las emisiones urbanas se traduce también en una reducción del ozono (la producción total de ozono es menor, aunque localmente a nivel urbano la química no lineal del ozono provoca que suban sus concentraciones).

Sin embargo, los resultados obtenidos para el conjunto de estaciones rurales en la CV no muestran una tendencia negativa en el periodo 2010-2019 (aunque el valor de la pendiente es sustancialmente más bajo que para las urbanas). Esto puede deberse en parte a que en los últimos años, desde 2014 aproximadamente, la reducción en las emisiones de NO_x se ha estancado o incluso estas pueden haber aumentado ligeramente como efecto de la recuperación económica de la crisis de 2008, que provocó un periodo de unos 6 años de “reducciones añadidas” de las emisiones. Otro factor que podría estar contribuyendo a esta situación es un posible incremento de los niveles de fondo (aunque actualmente no hay un conocimiento suficiente que permita cuantificar esta contribución a escala regional y local, sí se ha documentado que el tiempo de residencia del ozono en la atmósfera es suficiente como para provocar niveles de fondo a escala hemisférica).

¹ <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/documentacion-oficial/>

3. Caracterización estadística de las superaciones de valores normativos.

En el presente capítulo se analiza el comportamiento de los registros de ozono frente a los umbrales numéricos en función de los cuales se formulan las exigencias legales de calidad del aire, por lo que no representan cumplimientos/incumplimientos normativos, cuya determinación es responsabilidad de las Administraciones competentes.

- Superaciones del Valor Objetivo a Largo Plazo y del Umbral de Información por estación y año

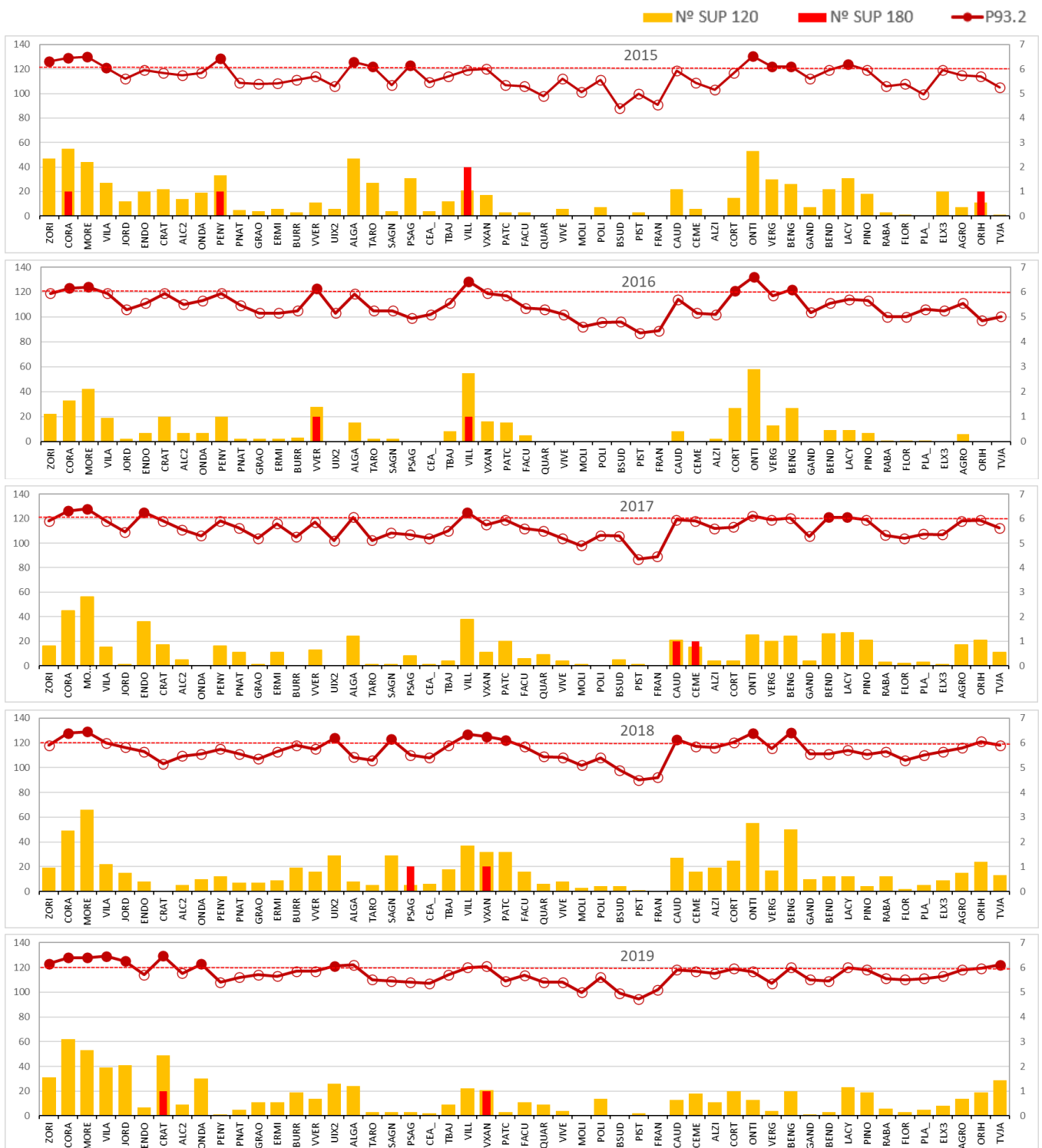


Figura 3.1: Número de superaciones del VOLP ($MM8h > 120 \mu g/m^3$) y Percentil 93.2 en el eje izquierdo, y número de superaciones del Umbral de información ($MH > 180 \mu g/m^3$), en el eje derecho, por estación y año en el periodo 2015-2019. Los puntos rellenos señalan los emplazamientos con más de 25 superaciones del VOLP.

Los gráficos de la figura 3.1 muestran el número de superaciones anuales del VOLP y el UI para cada estación entre 2015 y 2019. En cada caso se representa además el $P_{93.2}$ para las series anuales de máximos promedios octohorarios diarios (cuando supera los $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ indica la presencia de al menos 25 días por encima del VOLP). Con ligeras variaciones los gráficos muestran un mismo patrón. Las superaciones del VOLP, mucho más frecuentes, ocurren habitualmente en el mismo grupo de estaciones del interior y/o a sotavento de los grandes focos de emisiones. Y las superaciones del UI, muy poco frecuentes, pueden variar de emplazamiento de un año a otro, pero ocurren también preferentemente en el interior (Cirat, Viver...), y a sotavento de Valencia (Villar, Vilamarxant), aunque ocasionalmente se han registrado en puntos de costa como Orihuela o Puerto de Sagunto.

El número total de superaciones anuales del VOLP (figura 3.2), en el rango aproximado de 500-800, y de estaciones que registran más de 25 superaciones anuales, en el rango 6-12, sigue una evolución similar en el periodo de 5 años. Por su parte, los gráficos de la figura 3.4, muestran que la mayor parte de estas superaciones ocurren entre abril y agosto, y que prácticamente todas las estaciones de la red han superado en alguna ocasión el VOLP en estos mismos meses. La superación del VO (más de 25 superaciones anuales del VOLP como promedio de los tres últimos años) afecta a un número relativamente reducido de emplazamientos de la red, que se reparten por todo el interior, y son preferentemente emplazamientos rurales, con una representatividad espacial mucho mayor que la de las estaciones urbanas y la mayoría de suburbanas.

• **Superaciones totales de VOLP y UI en el periodo 2015-2019**

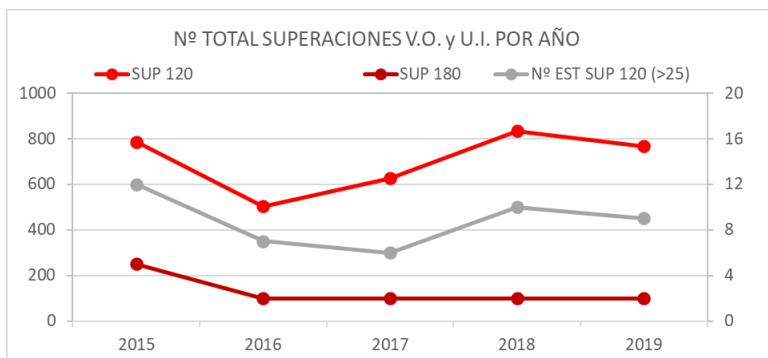


Figura 3.2: Número total de superaciones anuales del VOLP y UI por año. En gris el número de estaciones que ha superado más de 25 días el VOLP.

• **Distribución mensual de superaciones del valor objetivo a largo plazo ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$)**

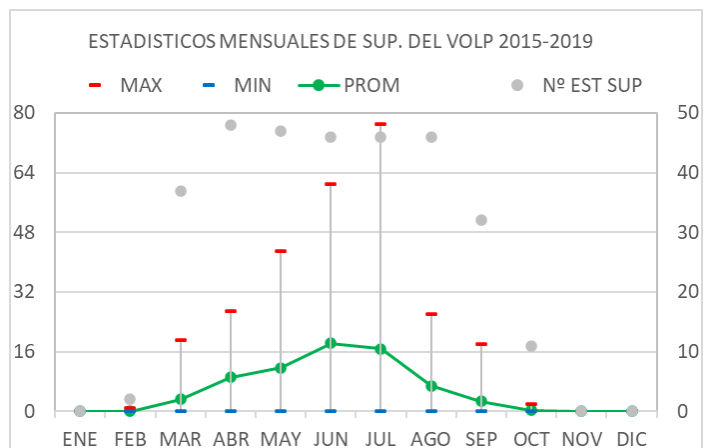
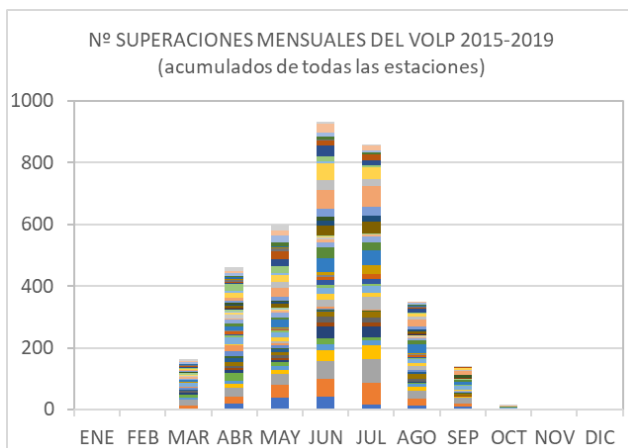


Figura 3.4: (Izquierda) Distribución mensual del total de superaciones del VOLP en los 5 años del periodo 2015-2019. Cada color se asocia a una estación de la red. (Derecha) Eje izquierdo: Máximo, mínimo y promedio de superaciones del VOLP por mes en el mismo periodo. Eje derecho: número de estaciones que han superado al menos una vez el VOLP por mes en el mismo periodo (suma de los cinco años).

4. Caracterización de los patrones temporales a diferentes escalas.

La evolución temporal de las concentraciones de ozono sigue patrones diarios, semanales y estacionales característicos. Los gráficos de la figura 4.1 muestran los ciclos diario, semanal y estacional (evolución del ciclo diario mes a mes), en seis estaciones de la red representativas de diferentes puntos del territorio de la CV.

Los patrones están fundamentalmente condicionados por las emisiones, la posición del punto y la intensidad de la radiación solar. En relación con la posición influye decisivamente el tipo de entorno (urbano, suburbano o rural), la altitud y la posición relativa a focos o áreas de emisión (si están o no a sotavento, la distancia a estas...). Y en cuanto al papel de la radiación solar se aprecia claramente que los valores máximos diarios se dan a partir del mediodía, y estos son mayores en los meses centrales del año. Los valores mínimos se registran durante la noche y la madrugada, pero en rangos muy diferentes según la posición. En entornos urbanos como Bulevard Sud o Facultats (BSUD, FACU) el contacto con emisiones residuales durante la noche y el pico matinal de tráfico se traduce en concentraciones muy bajas, menores cuanto más próximo al tráfico. En el otro extremo, en puntos situados en altura como Morella (MORE), lejos de emisiones y con una menor tasa de deposición sobre el terreno, se registran las concentraciones nocturnas más altas, en niveles apenas por debajo de sus máximos diurnos. Los valores máximos ocurren, en términos de promedios estadísticos, a sotavento de la ciudad de Valencia en Villar del Arzobispo (VILL) en los meses de junio y julio.

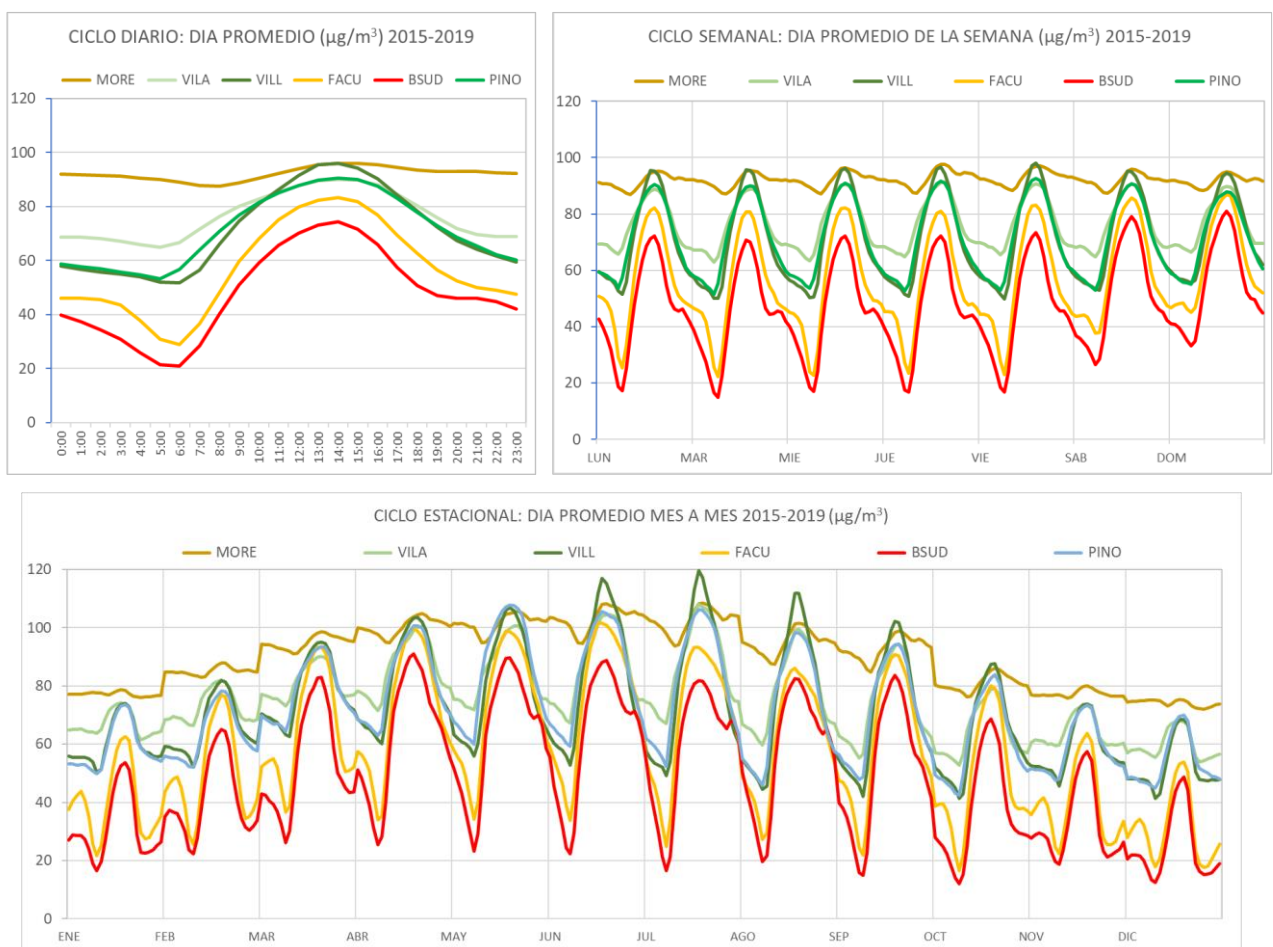


Figura 4.1: Ciclos diario, semanal y estacional del ozono en seis puntos característicos de la RVVCCA (los dos últimos mostrando la evolución del ciclo diario por día de la semana y por mes del año). En todos los casos se representan series de promedios horarios (hora UTC) calculados a partir de los datos del periodo 2015-2019.

Una característica de la dinámica del ozono en la CV, y en la cuenca mediterránea en general, es que los máximos aumentan con la distancia a la costa, en donde se concentran las emisiones urbanas e industriales. El motivo es que en las áreas de emisión, que se concentran en la costa, los propios precursores, en particular los NO_x, actúan también como consumidores de ozono (en las reacciones de oxidación del NO por parte del O₃), y el balance de formación/destrucción da lugar a niveles máximos moderados, menores a los registrados en el resto del territorio, donde el tiempo de residencia del ozono en la atmósfera es mayor, suficiente incluso para permitir la acumulación de concentraciones a lo largo de varios días cuando las condiciones atmosféricas son propicias.

5. Distribución espacial de estadísticos y tendencias.

En este apartado se muestran sobre mapas de la CV los estadísticos, nº de superaciones y tendencias del ozono en el periodo 2015-2019 vistos en apartados anteriores. La forma de representación escogida, valores dentro de círculos de tamaño proporcional a estos, colocados sobre las coordenadas de los puntos de medida, permite identificar fácilmente posibles patrones espaciales.

La figura 5.1 muestra los promedios totales y los máximos horarios absolutos para cada estación de la red. Los promedios totales varían en el rango [44 - 92] µg/m³. El máximo corresponde a la estación de Morella, y en gran parte se explica por los elevados niveles nocturnos que se registran en puntos situados en cotas elevadas en comparación con otras ubicaciones (ver figura 4.1). De hecho, las diferencias para este estadístico se explican en gran medida por este motivo, e incluso estaciones costeras pero sobreelevadas, como Penyeta (92 m.) y Benidorm (225 m.), tienen promedios sensiblemente mayores a los de estaciones próximas pero situadas en el valle o la línea de costa. El valor mínimo corresponde a Pista de Silla, estación urbana donde la cercanía a las emisiones del tráfico mantiene las concentraciones en niveles moderados durante el día, y durante la noche y madrugada las emisiones residuales y la mayor tasa de deposición, provoca niveles muy bajos, además de los niveles prácticamente nulos que se dan a la hora punta del tráfico de la mañana, cuando el pico de NO emitido consume el O₃ para generar NO₂. Para este parámetro, aparte de estas diferencias asociadas a la posición no se aprecia un gradiente espacial claro.

En cuanto a los máximos absolutos, varían en el rango [134 – 207] µg/m³. El valor máximo se ha registrado casualmente en dos estaciones muy diferentes: Port de Sagunt, urbana y costera, y Buñol, suburbana e interior. Estos valores reflejan que el máximo horario puede ocurrir en diferentes tipos de estación, pues está ligado a situaciones meteorológicas muy concretas (ver apartado 7). El valor mínimo corresponde a Av. de Francia, y en general, los valores en torno a 140 µg/m³ corresponden también a estaciones urbanas de las aglomeraciones de Valencia y Alicante (Molí del Sol, Bulevard Sud en la primera, y Rabassa y El Pla en la segunda)

La figura 5.2 muestra que el P_{99,9}, calculado sobre el total de los promedios horarios, tiene su máximo en Villar del Arzobispo (160 µg/m³), estación rural a sotavento de la ciudad de Valencia. Y lo mismo ocurre con el nº de superaciones del UI (figura 5.3) que, aunque escasas, también tiene su máximo en la misma estación. Estos datos son más significativos de la dinámica del ozono en la CV en los episodios de niveles elevados de este contaminante que los antes comentados para el máximo horario. En general, los mayores valores del P_{99,9}, en el rango [150 - 160] µg/m³ se registran en puntos como Cirat, Villar y Vilamarxant, situados a cierta distancia (25-50 km) a sotavento de las dos grandes áreas de emisión, las aglomeraciones de Castellón y Valencia, bajo el régimen de brisas. También otros puntos como Coratxar, Cortes y Ontinyent, en el interior y a sotavento de las emisiones costeras bajo el régimen de brisas, se encuentran en el mismo rango para este estadístico.

En cuanto al nº superaciones del V.O.L.P (figura 5.3) las cifras acumuladas son muy variables y muestran un gradiente muy claro entre costa e interior, donde estas son mucho más frecuentes.

Igualmente ilustra la influencia de la altitud, que favorece la superación del VOLP en puntos como Morella que mantiene niveles relativamente elevados durante todo el día (figura 4.1), y por definirse este sobre promedios de 8h.

Por último, para las tendencias mostradas en la figura 5.2 para el periodo 2010-2019 se aprecia que excepto un grupo reducido de estaciones la mayoría registran tendencias relativamente bajas y de diferente signo (entre -0.5 y +0.5). Las tendencias más marcadas de signo positivo se dan en estaciones urbanas de Valencia y Castellón (Viveros, con +1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$, y Patronat, con +1.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$). Y con signo negativo destaca la estación de Vilamarxant (-1.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$). En todo caso, aunque en diferente grado, las estaciones urbanas de las aglomeraciones registran tendencias positivas. En cuanto a las suburbanas y rurales hay variedad en el signo, y llaman la atención Morella y Coratxar, ambas con tendencias positivas. Aún con estas salvedades, en general, los resultados, como se explica al final del Apartado 2, son coherentes con los obtenidos a escala nacional en el proyecto CONOZE (aunque aquellos correspondían al periodo 2000-2012). El incremento en entornos urbanos se atribuye a la reducción de las emisiones y a la química no lineal del ozono que provoca este comportamiento. La reducción neta efectiva en las concentraciones se notaría fuera de estos entornos, especialmente en puntos a sotavento de estos, como es el caso de Vilamarxant bajo el habitual régimen de brisas en primavera y verano, cuando se dan las condiciones más favorables para la formación de este contaminante.

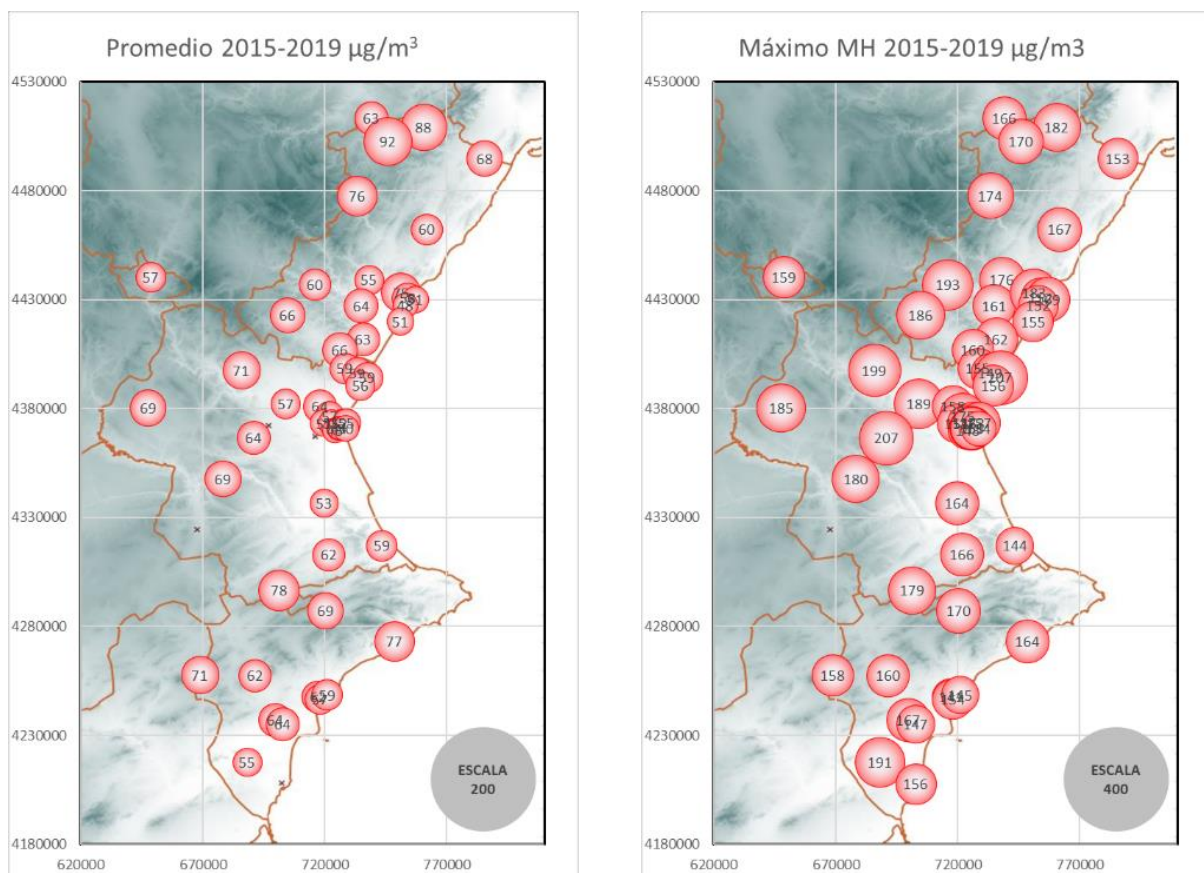


Figura 5.1: Distribución de los promedios y los máximos horarios absolutos en los puntos de la RRVCCA en 2015-2019

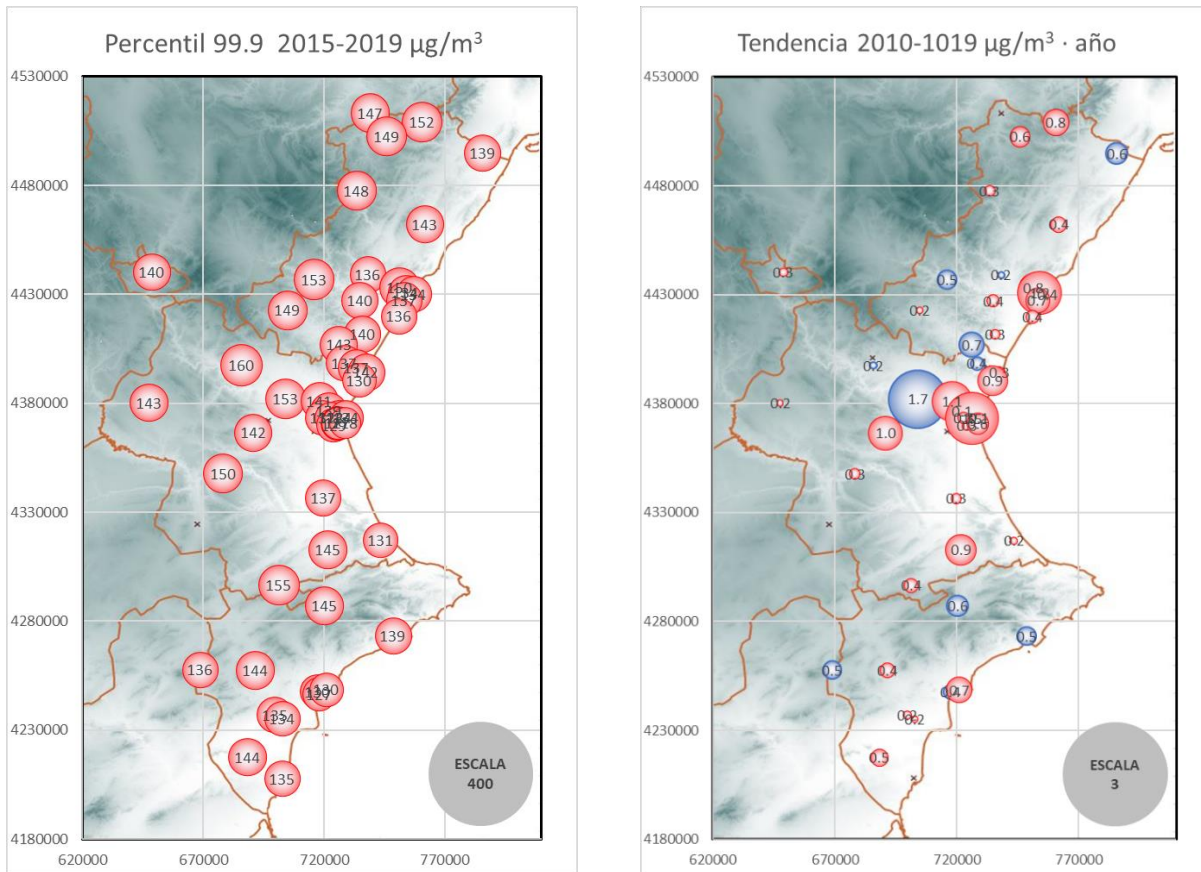


Figura 5.2: Distribución del P_{99.9} de los promedios horarios, y valores de tendencias (rojo incremento, azul reducciones) en los puntos de la red en 2015-2019

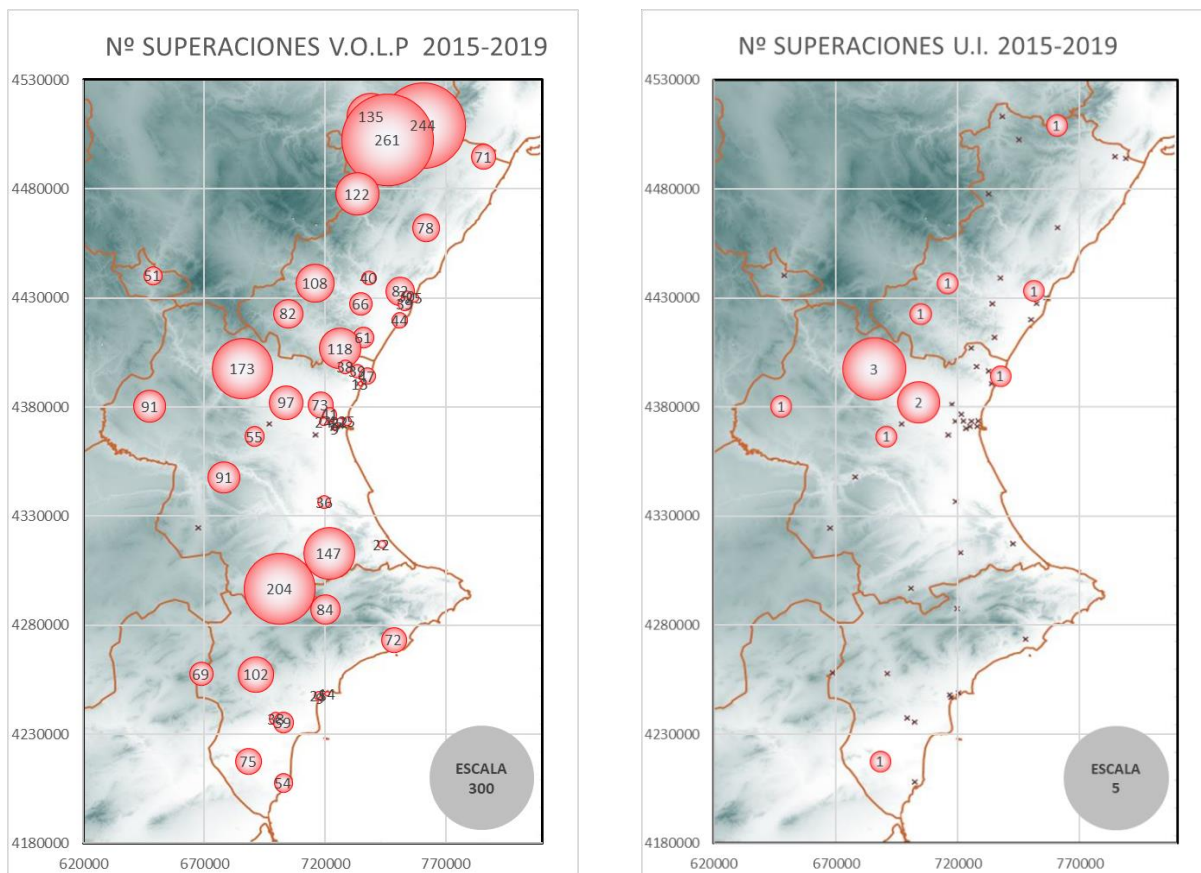


Figura 5.3: Nº total de superaciones del Valor Objetivo a Largo Plazo ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el máximo promedio octohorario diario) y del Umbral de información ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el promedio horario)

6. Influencia de los factores meteorológicos sobre los niveles de inmisión.

La experiencia cotidiana muestra que los niveles ambientales de ozono en las proximidades de la superficie terrestre se ven modulados por las condiciones meteorológicas reinantes. Los registros que proporcionan las estaciones de medida muestran valores que difieren según la naturaleza del emplazamiento, que presentan un marcado ciclo diurno y una variación estacional, y que responden en general a los forzamientos atmosféricos cuando se cotejan con la evolución simultánea de los parámetros meteorológicos. Sin embargo, resulta difícil establecer relaciones directas cuantitativas entre las mediciones de los niveles de ozono en un emplazamiento dado y las variables atmosféricas que determinan la situación meteorológica reinante en cada momento. Los cambios meteorológicos influyen en el ozono troposférico a través de un gran número de procesos, que se pueden agrupar en tres grandes categorías: 1) relativos a las emisiones, de manera que grandes cantidades de precursores del ozono son emitidos por fuentes naturales sensibles y que responden a las cambiantes condiciones meteorológicas; 2) relativos a los procesos químicos, de manera que factores como la radiación solar, la humedad o la temperatura alteran la agregación química y la eficiencia de las reacciones, a la vez que los procesos de deposición, modificando la producción y eliminación de ozono; 3) finalmente los relativos al movimiento atmosférico, quedando tanto el ozono como sus precursores sometidos a los diferentes patrones de transporte y difusión que gobiernan el movimiento de la baja atmósfera a las diferentes escalas. La influencia de los factores meteorológicos generalmente se produce simultáneamente en los tres niveles descritos, por lo que la respuesta en los niveles ambientales del contaminante no suele resultar proporcional.

Las emisiones locales de NO_x y VOCs son dos de los factores que contribuyen en mayor medida a la producción fotoquímica de ozono, pero la propia relación entre ambos y la naturaleza de las especies orgánicas puede ser tan decisiva o más que la propia magnitud de las concentraciones (de manera que la variación en las emisiones de algunos de los precursores puede alterar los niveles de ozono en cualquier sentido en función de la ratio NO_x/VOCs existente en el ambiente). En este escenario la formación, transporte y dispersión del ozono resulta muy sensible a las condiciones meteorológicas locales. Así las emisiones naturales suelen ser muy dependientes de la temperatura, a la vez que la producción fotoquímica requiere de luz solar, quedando las concentraciones también modificadas por las condiciones de estabilidad, transporte y alcance de los procesos de mezcla. Así, suelen ser días soleados, calurosos y con poco movimiento atmosférico (estancamiento) los que proporcionan la combinación más favorable de factores para que se alcancen niveles elevados de concentración persistentes en el tiempo.

Para el análisis de la dependencia de las concentraciones de ozono respecto a los factores ambientales meteorológicos se seleccionaron seis estaciones pertenecientes a la RVVCCA (ver figura 6.1), situadas todas ellas en diferentes puntos geográficos, no muy distantes entre sí (menos de 90 km entre las cabinas más distantes) y que podrían considerarse participan de una dinámica atmosférica conectada, dentro de la misma masa aérea, a través de las circulaciones superficiales de ámbito local/regional. Los distintos emplazamientos presentan especificidades propias de su situación geográfica, cuya influencia sobre los niveles de ozono que registran se relaciona principalmente con el recorrido de las especies químicas que se van añadiendo a la masa aérea desde los puntos de emisión, incorporados a las complejas transformaciones fotoquímicas que se desarrollan durante este proceso de transporte y dispersión. Tales emisiones no siempre se producen en un aire limpio, sino que ocasionalmente lo hacen en una atmósfera enriquecida en ozono y productos intermedios de reacción, resultado de transformaciones previas desde zonas productoras alejadas, a través de la circulación general atmosférica o bien procesos más locales de recirculación y confinamiento que limitan la renovación y limpieza de la masa aérea. Por ello, siendo evidente la relación entre los niveles de contaminación por ozono superficiales y la dinámica

meteorológica, resulta difícil establecer relaciones directas entre aquel y los diferentes parámetros que caracterizan en cada momento el estado de la atmósfera, ligados a través de mecanismos complejos que tienen relación con la dinámica y la química atmosférica, en general fuertemente ligadas.

En el contexto anterior, los seis emplazamientos seleccionados se situarían en diferentes estadios dentro del régimen de circulaciones locales, brisas de costa-montaña, que predominan en toda la vertiente mediterránea Peninsular, especialmente durante el periodo estival, ligados a situaciones de estabilidad atmosférica y elevada insolación y temperaturas, y con ello a niveles altos de concentración de ozono en la baja troposfera. Los emplazamientos se sitúan a lo largo de los ejes de transporte que suponen las cuencas del río Mijares y de la Rambla de la Viuda, con puntos con diferentes grados de exposición a las emisiones antropogénicas (principalmente localizadas en la franja costera) y a las de origen biogénico, producidas a lo largo del recorrido.

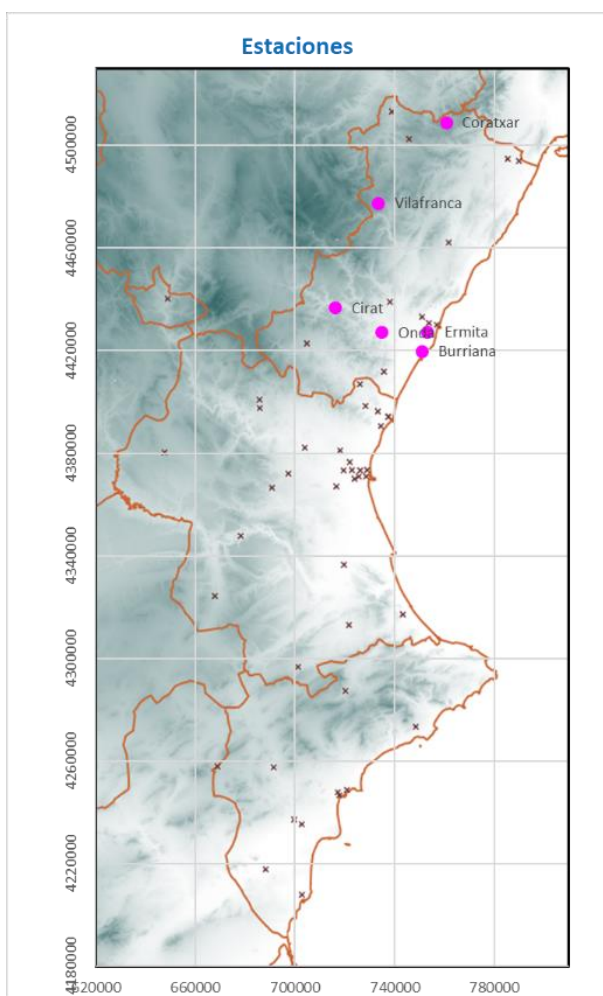


Figura 6.1: Localización de las estaciones consideradas en el contexto de la RVCCA distribuida sobre el territorio de la Comunitat.

Un reflejo de la especificidad de los emplazamientos respecto a su diferente ubicación en el contexto de la dinámica del ozono se refleja en los histogramas de las concentraciones horarias de la figura 6.2 (promedios y máximos diarios, en las figuras 6.3 y 6.4). Así, las estaciones más costeras (Burriana, Ermita) presentan una elevada proporción de valores bajos de concentración, resultado de la eliminación del ozono en presencia de otros contaminantes, especialmente durante el periodo nocturno cuando el emplazamiento se queda a sotavento de aglomeraciones urbanas y/o industriales (durante la noche también se pueden favorecer procesos de deposición de ozono por factores naturales -estancamiento, humedad, etc) o bajo la incidencia directa de emisiones frescas (titración de ozono con NO). Cuenca arriba disminuyen los valores bajos de concentración y

aumenta la proporción de niveles progresivamente más elevados, resultado de la formación de ozono en el recorrido. Los emplazamientos más alejados tienen una distribución claramente acampanada, con pocos niveles bajos y una moda correspondiente a valores progresivamente más elevados, resultado de una menor interacción antropogénica directa. En el punto de Coratxar la curva pierde su simetría hacia los valores más elevados, resultado de su ubicación en un emplazamiento de altura, inmerso en muchas de las ocasiones en el seno de los estratos elevados, desacoplados de los movimientos atmosféricos más superficiales.

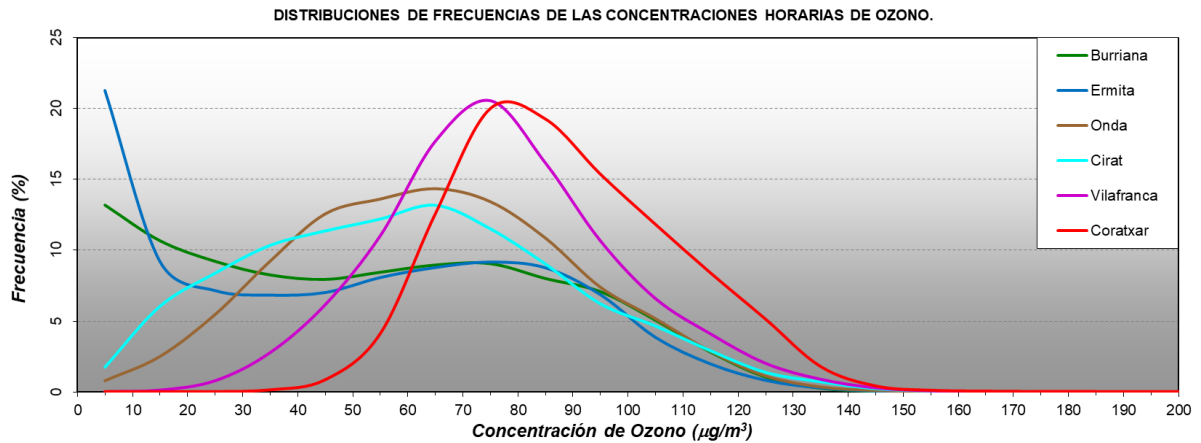


Figura 6.2: Histograma característico de las concentraciones horarias de ozono de las estaciones analizadas.

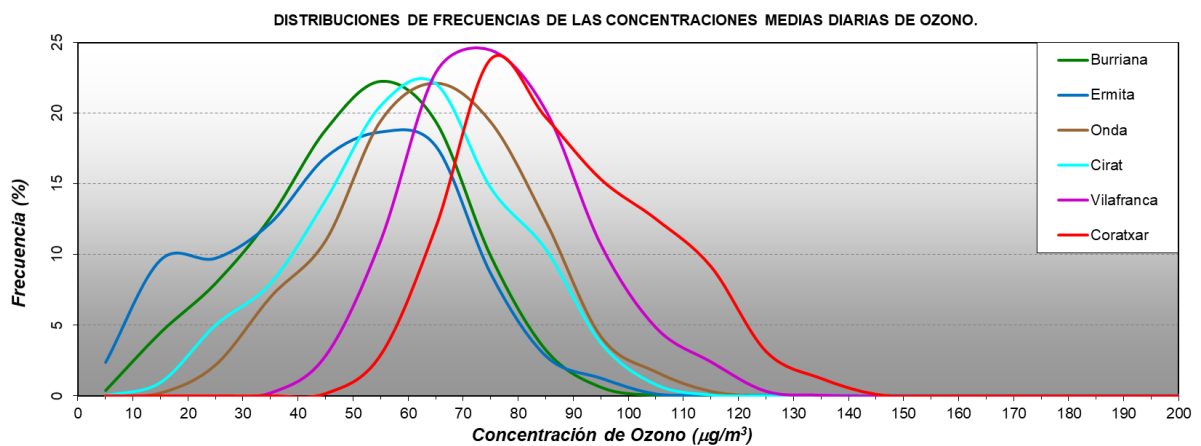


Figura 6.3: Histograma característico de las concentraciones medias diarias de ozono de las estaciones analizadas.

La distribución de los valores medios diarios de la figura 6.3 refleja curvas sucesivamente desplazadas hacia valores crecientes, que se relaciona más con la oscilación de la onda diaria que estrictamente con los valores máximos diarios. En el caso de la distribución de los máximos diarios (con interés desde el punto de vista normativo), la representación de la figura 6.4 refleja ahora una notable superposición de las curvas (modas muy similares), con diferencias menores en los valores elevados de concentración.

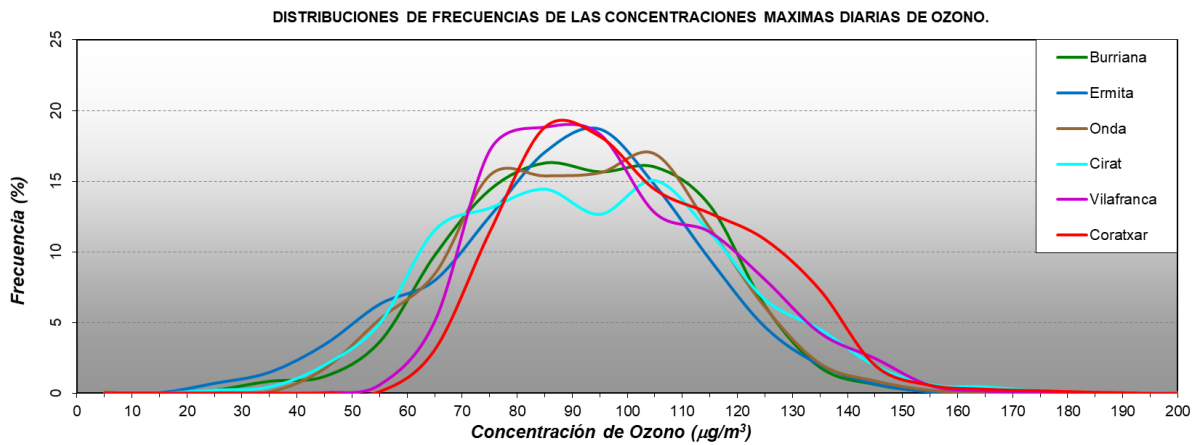


Figura 6.4: Histograma característico de las concentraciones máximas diarias de ozono de las estaciones analizadas.

La tabla siguiente ilustra este sesgo hacia los niveles más altos para los diferentes emplazamientos, habiéndose destacado el porcentaje de mediciones por encima del valor de 120 mg/m³ por representar el umbral de protección a la salud, referido a los máximos diarios de los promedios octohorarios, y que se incumple a partir de un porcentaje de superaciones de aproximadamente un 6.85%. En general se ve en todos los casos un incremento de dichos porcentajes con la distancia a la costa del emplazamiento

Tabla 6.1: Porcentajes medios de los promedios horarios (máximos horarios y máximos octohorarios diarios) por encima del valor de referencia de protección a la salud (120 mg/m³).

	Burriana	Ermita	Onda	Cirat	Vilafranca	Coratxar
Horarios	1.4	1.1	1.6	2.4	3.3	7.4
Max Horarios	8.7	7.5	9.3	14.4	15.6	21.2
Max Octohorarios	2.7	2.3	3.7	6.1	7.7	14.2

En gran medida los rasgos generales de la dinámica del ozono que involucra a cada emplazamiento, y que justifica las anteriores distribuciones de las medidas, se muestran en la figura 6.5, en la que se recogen los ciclos diurnos promedio de las seis estaciones. Existe una gradación clara en las horas nocturnas entre los diferentes emplazamientos, relacionada con los procesos aludidos de eliminación del ozono durante la circulación de derrame, seguida de una onda diurna hasta máximos que, cuando se promedian periodos largos, no arrojan grandes diferencias. La oscilación de la onda día/noche se va amortiguando hacia los emplazamientos más interiores, con el extremo de la cabina más en altura, Coratxar, en la que las variaciones horarias medias son mínimas. La figura 6.6, similar, corresponde solo a los meses centrales del verano, para el mismo intervalo de años, y en ella la onda aparece más marcada, en tanto que recoge prioritariamente situaciones dominadas por un régimen de brisas locales. En todos los casos los valores son más elevados, salvo los nocturnos de las cabinas más costeras, en los que se manifiesta la eliminación del ozono bajo los regímenes de derrame. Durante las horas diurnas las diferencias presumiblemente también están relacionadas con la circulación atmosférica, dominada por la componente marina de la brisa y el consiguiente transporte de emisiones y precursores hacia el interior, con lo que las diferencias pueden relacionarse en promedio con la producción fotoquímica en este desplazamiento: los niveles son mínimos en las estaciones más litorales y progresivamente aumentan hacia el interior, en las cuales se aprecia muy suavizado un máximo ligeramente desplazado en el tiempo, que reflejaría la llegada del frente de brisa costero y con él las emisiones y productos de transformación fotoquímica que moviliza.

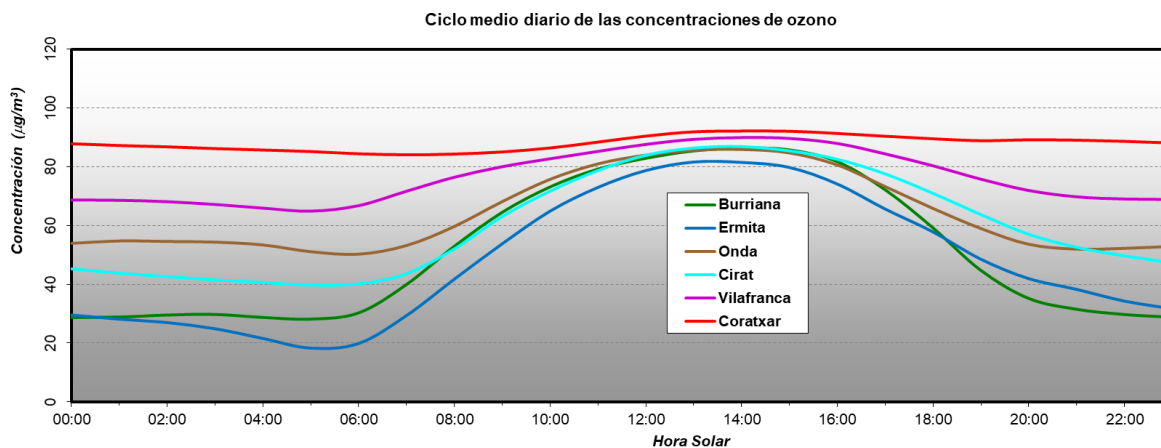


Figura 6.5: Ciclos diarios promedios de los niveles horarios de ozono para las seis estaciones analizadas.

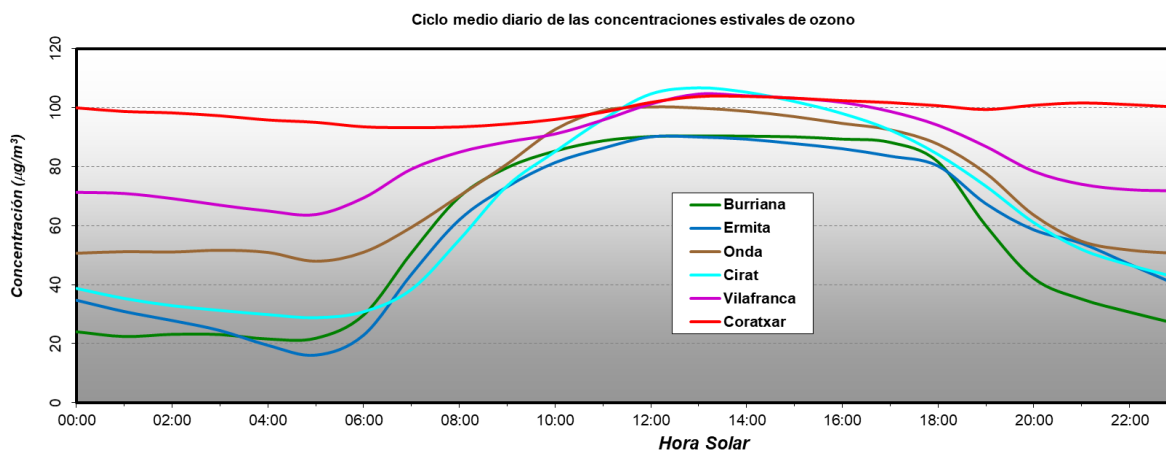


Figura 6.6: Ciclos diarios promedios de los niveles horarios de ozono solo para los meses estivales en las seis estaciones analizadas.

La valoración de los registros anteriores refuerza la dificultad para establecer relaciones directas entre las concentraciones de ozono y los factores meteorológicos que los acompañan, siempre establecidos a través de los procesos dinámicos atmosféricos y fotoquímicos en los que se producen. Una aproximación burda se puede abordar analizando la correlación entre los niveles de ozono registrados y los correspondientes parámetros meteorológicos y ambientales. En las tablas siguientes, 6.2 y 6.3 se muestran los correspondientes coeficientes de correlación entre las concentraciones de ozono y las magnitudes meteorológicas y ambientales que se indican, para las seis estaciones consideradas. Se han resaltado aquellos valores superiores a 0.5. Se han tenido en cuenta los valores máximos diarios y los promedios diarios.

En general, los valores no resultan definitivamente altos en ninguna de las parejas y solo en el caso de la radiación solar en todas las estaciones resultan significativamente superiores al límite indicado, reflejo de la importancia de este factor en la producción fotoquímica, lo que justificaría valores algo más elevados en el caso de los máximos diarios. La siguiente magnitud destacada en los coeficientes, aunque no para todas las estaciones, es la temperatura. Se trata de un caso sobre el que resulta difícil justificar una relación directa, en tanto está bien establecido que la reactividad química se ve estimulada con la temperatura ambiente, también esta constituye un factor indirecto, estando asociada a la propia dinámica atmosférica, así como a las emisiones de precursores, tanto antropogénicas (ligadas a la actividad diurna) como naturales.

Tabla 6.2: Coeficientes de correlación de los máximos diarios de ozono frente a las correspondientes magnitudes meteorológicas para las seis estaciones consideradas.

	Burriana	Ermita	Onda	Cirat	Vilafranca	Coratxar
NO	-0.293	-0.361	-0.176	-0.148	-0.049	-0.131
NO₂	0.152	0.032	-0.273	-0.199	0.008	-0.111
NOx	-0.145	-0.292	-0.254	-0.215	-0.011	-0.130
Velocidad	0.132	-0.106	0.050	0.382	-0.241	-0.278
Dirección	0.011	-0.042	-0.140	-0.062	-0.152	-0.202
Temperatura	0.391	0.380	0.557	0.634	0.606	0.605
Humedad Relativa	-0.140	-0.114	-0.223	-0.404	-0.374	-0.464
Radiación	0.670	0.642	0.689		0.630	0.601

Tabla 6.3: Coeficientes de correlación de los promedios diarios de ozono frente a las correspondientes magnitudes meteorológicas para las seis estaciones consideradas.

	Burriana	Ermita	Onda	Cirat	Vilafranca	Coratxar
NO	-0.511	-0.683	-0.229	-0.110	-0.115	0.050
NO₂	-0.345	-0.497	-0.465	-0.290	-0.077	0.013
NOx	-0.498	-0.662	-0.454	-0.283	-0.011	0.074
Velocidad	0.502	0.154	0.352	0.409	0.028	-0.278
Dirección	-0.436	-0.470	-0.217	-0.422	-0.232	-0.397
Temperatura	0.334	0.424	0.388	0.305	0.369	0.543
Humedad Relativa	-0.386	-0.291	-0.510	-0.701	-0.466	-0.477
Radiación	0.525	0.550	0.622		0.542	0.588

De los guarismos se deduce una relación inversa con la humedad relativa en todos los escenarios, significativa solo en algunas estaciones, y que podría estar relacionada con la capacidad del vapor de agua como sumidero del ozono, aunque también se trata de una magnitud con un comportamiento fuertemente asociado a la dinámica atmosférica (con una clara anticorrelación con la temperatura). Las correlaciones con los óxidos de nitrógeno no resultan importantes en magnitud, en la mayor parte de los casos corresponde a una relación negativa, en una correspondencia difícil de encajonar en un único valor, al igual que ocurre con un factor como el viento.

En las figuras 6.7 a 6.12 se presentan los gráficos de dispersión de las magnitudes más relacionadas con el ozono según las tablas comentadas (radiación solar, temperatura y humedad relativa) para los valores máximos y los promedios diarios en las diferentes estaciones. En todos los casos la correlación positiva es clara con la radiación y la temperatura, siendo negativa con la humedad relativa. Gráficamente la radiación solar muestra un comportamiento más ajustado, aunque en general la dispersión es suficientemente elevada como para que para un mismo rango de la magnitud sean posibles un amplio rango de valores de ozono. Este hecho es además especialmente explícito en las estaciones costeras con la temperatura y la humedad, colimándose a medida que el emplazamiento se hace más interior. Parecería que la masa costera que alcanza los emplazamientos tuviese sus propias características termodinámicas, con independencia de los niveles de ozono, y fuese en el transporte hacia el interior en el que la temperatura y la humedad fuesen imprimiendo su influencia sobre los niveles de ozono. En todo caso resalta, como ya se comentó, la anticorrelación del ozono con la humedad, en un posible papel de este factor ambiental como propiciador de la deposición del contaminante.

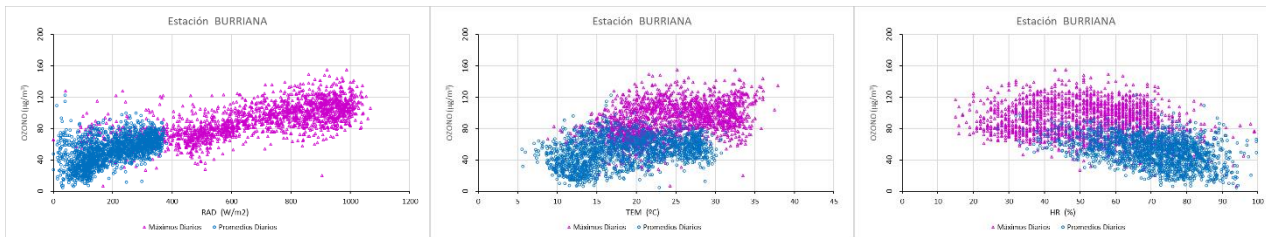


Figura 6.7: Gráficos de dispersión del ozono (máximos y promedios diarios) frente a la radiación solar temperatura y humedad relativa en la estación de Burriana.

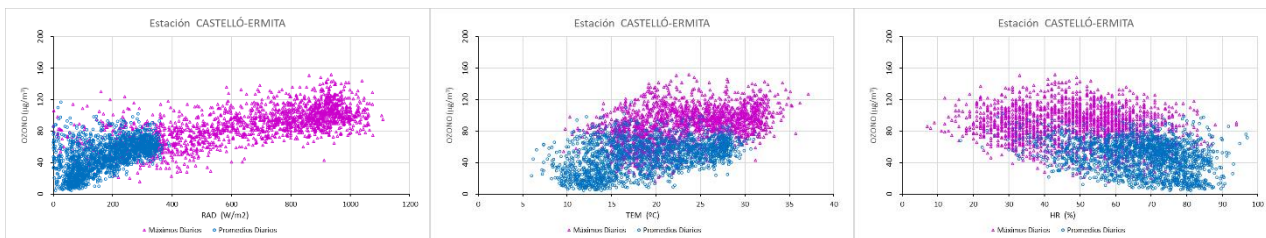


Figura 6.8: Gráficos de dispersión del ozono (máximos y promedios diarios) frente a la radiación solar temperatura y humedad relativa en la estación de Castelló-Ermita.

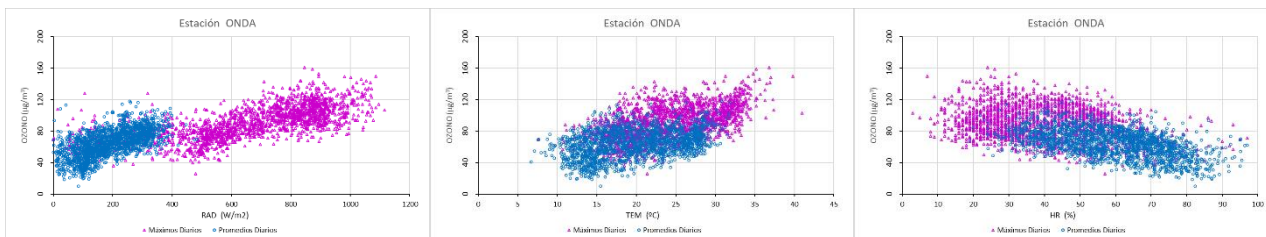


Figura 6.9: Gráficos de dispersión del ozono (máximos y promedios diarios) frente a la radiación solar temperatura y humedad relativa en la estación de Onda.

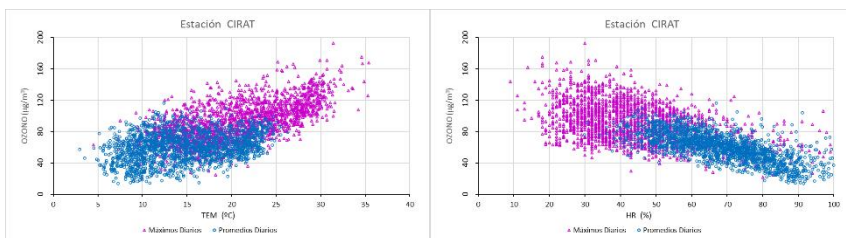


Figura 6.10: Gráficos de dispersión del ozono (máximos y promedios diarios) frente a la temperatura y humedad relativa en la estación de Cirat.

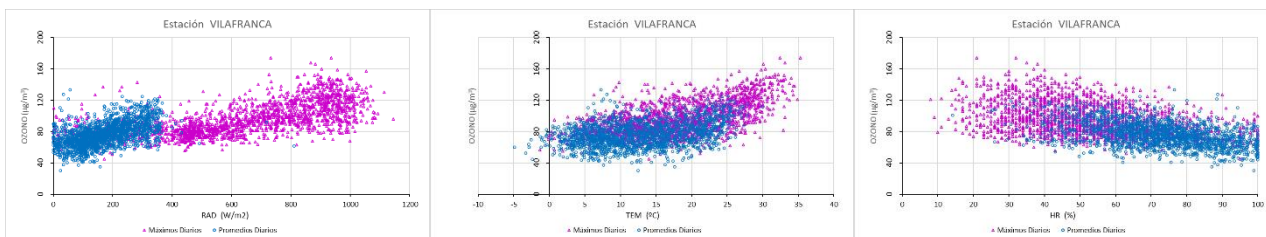


Figura 6.11: Gráficos de dispersión del ozono (máximos y promedios diarios) frente a la radiación solar temperatura y humedad relativa en la estación de Vilafranca.

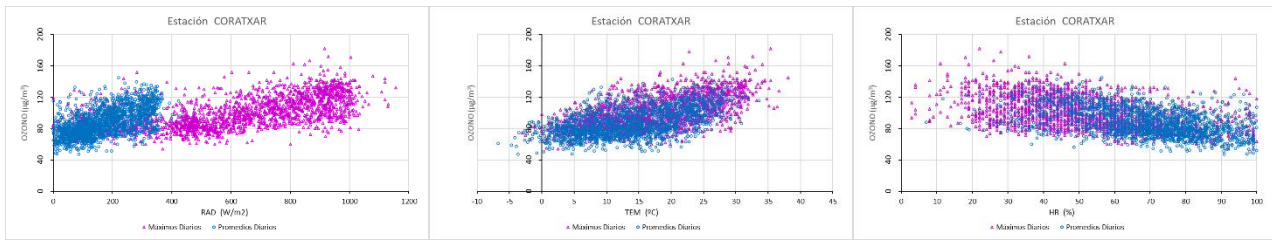


Figura 6.12: Gráficos de dispersión del ozono (máximos y promedios diarios) frente a la radiación solar temperatura y humedad relativa en la estación de Coratxar.

Finalmente, en las gráficas siguientes (6.13 a 6.18) se presenta, para cada estación analizada, las distribuciones de frecuencias de las concentraciones de ozono en función de la dirección del viento en el emplazamiento. Las figuras representan frecuencias de ocurrencia para cada pareja "concentración de ozono / dirección del viento", según una escala cualitativa de colores, cuya intensidad representa niveles crecientes de la magnitud representada. En todos los casos se utiliza la misma escala y se ilustra con la misma isocurva como referencia.

En las mismas se integra ya en gran medida el resultado de todos los procesos que determinan los niveles de ozono de la masa aérea que alcanza al emplazamiento. Para matizar la evaluación de los resultados se contrastan los gráficos para el banco de datos completo frente a los elaborados con el subconjunto de medidas solo en los meses estivales, en los que los procesos fotoquímicos son más intensos y el movimiento del aire en los niveles superficiales está dominado por las circulaciones locales/regionales, que también contribuyen en gran medida a potenciar algunas de las situaciones de elevados niveles de concentración ambiente (reducción de la ventilación, recirculaciones, etc). En muchos de los casos las diferencias son principalmente cuantitativas, en tanto que ambos destacan los rasgos principales del comportamiento del ozono en el contexto de las circulaciones atmosféricas de cada emplazamiento.

Burriana, situada en la franja costera, no muy lejos de la costa y en un entorno alejado de grandes focos de emisión, constituye un emplazamiento abierto. Los valores se agrupan en torno a los vientos de tierra (cuarto cuadrante), en el que se computan tanto la componente nocturna de la brisa (niveles bajos) como las circulaciones a mayor escala, que persisten durante el día y aportan niveles más elevados, y la componente marítima, sobre un rango más amplio de direcciones (primer y segundo cuadrante), con niveles de ozono más altos, pero en menor proporción en el conjunto. El patrón estival amplifica los rasgos anteriores, con los niveles altos de ozono correspondiendo a las direcciones preferentes de la brisa marina, NE-S, y en torno al NW una gran proporción de valores bajos, preferentemente nocturnos.

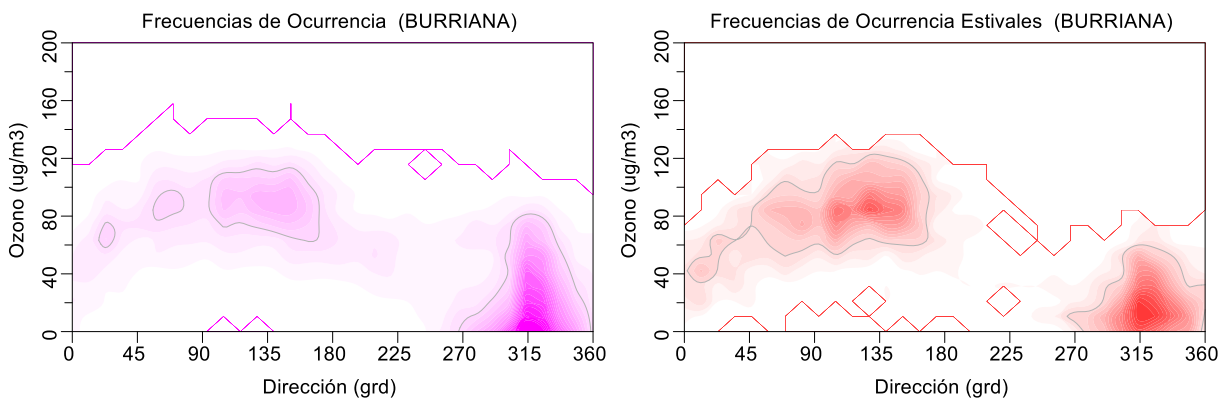


Figura 6.13: Distribución de frecuencias de ocurrencia de los niveles de ozono en función de la dirección del viento para la estación de Burriana, considerando el periodo completo (izquierda) o solo los meses estivales (derecha) (la intensidad del color indica una escala cualitativa de valores crecientes).

El punto de medida de la estación Castelló-Ermita se sitúa también en la plana costera, a menos de 4 km de la línea de costa, en un entorno abierto, pero con focos industriales y urbanos relativamente próximos, quedando a sotavento de potenciales emisiones tanto en el régimen de tierra como en el de vientos de componente marítima. Las figuras resultan muy similares al caso anterior, con valores más bajos en las direcciones de poniente, coincidentes en este caso para los dos conjuntos de datos, presumiblemente por situarse bajo la influencia de emisiones urbanas en tales situaciones.

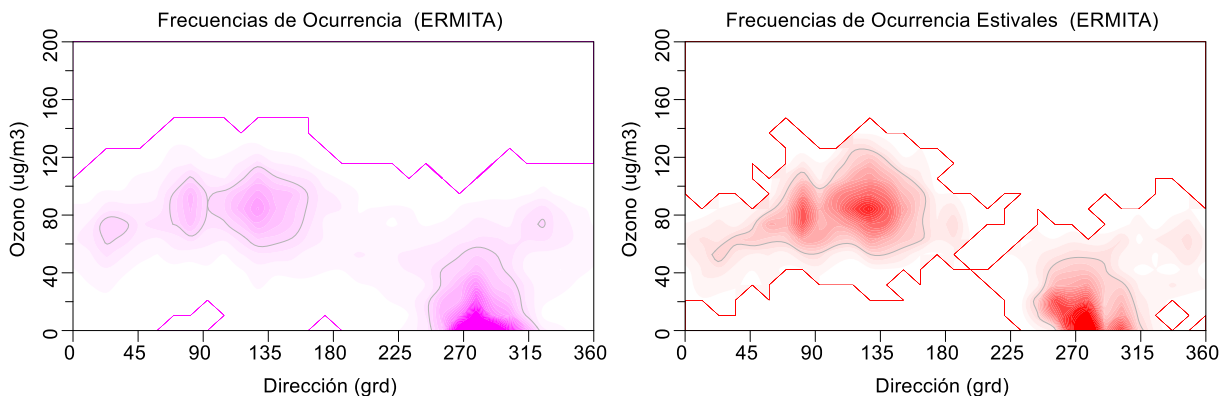


Figura 6.14: Similar a la figura 6.13 para la estación de Castelló-Ermita.

La estación de Onda se sitúa más al interior, en el cauce medio del río Mijares, en un entorno con alguna influencia del núcleo urbano próximo, y en el que los niveles elevados de ozono se asocian claramente a la entrada de la masa aérea por el valle, bien colimada en torno al sureste, mientras que los valores menores se organizan en torno al oeste, que incluye circulaciones locales nocturnas y del noroeste, correspondiendo también a vientos de derrame con el valle bien organizado, nocturnos, junto a canalizaciones de la circulación a mayor escala, que incluye periodos tanto diurnos como nocturnos. El intervalo más estival presenta rasgos similares, con mayores niveles de ozono diurnos y menores en las direcciones de componente oeste mayoritariamente nocturnas en este caso. Como se aprecia el emplazamiento no registra muchos valores nulos lo que indicaría que esta preservado de emisiones muy directas de contaminantes, especialmente durante la noche, que eliminan el ozono.

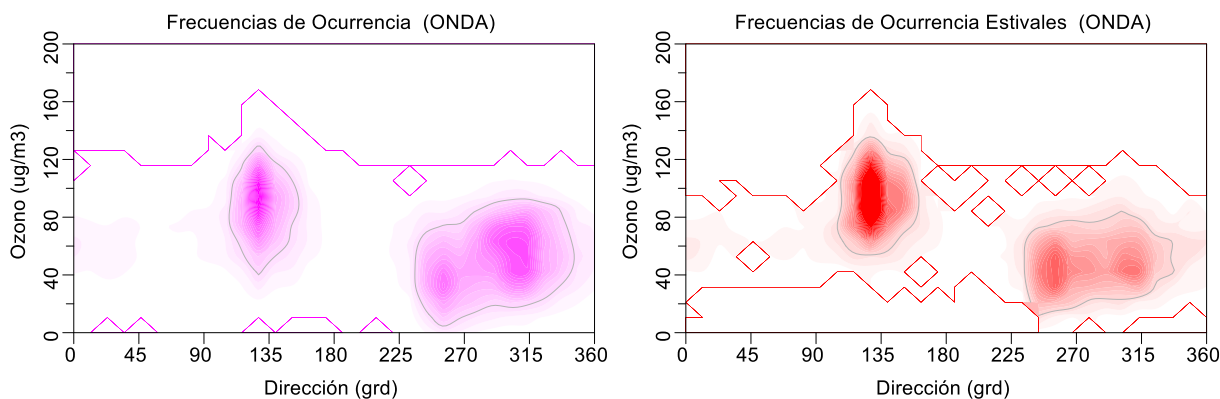


Figura 6.15: Similar a la figura 6.13 para la estación de Onda.

Cirat se sitúa en línea con la estación anterior, en la cuenca alta del río, en un emplazamiento bastante canalizado por la orografía, que se manifiesta en las gráficas de la figura siguiente con las medidas organizadas en torno a dos direcciones, valle-arriba y valle-abajo. En el primer caso se

concentran las situaciones diurnas, con valores más elevados de ozono en verano; en el segundo caso se incluyen situaciones de canalización de vientos generales junto a vientos locales de derrame, que en el periodo estival predominan sobre aquellas, con niveles de ozono consiguientemente menores. Aunque la estación no tiene emisiones próximas, los valores próximos a cero, eminentemente nocturnos, corresponderían a una deposición intensa en situaciones de estancamiento.

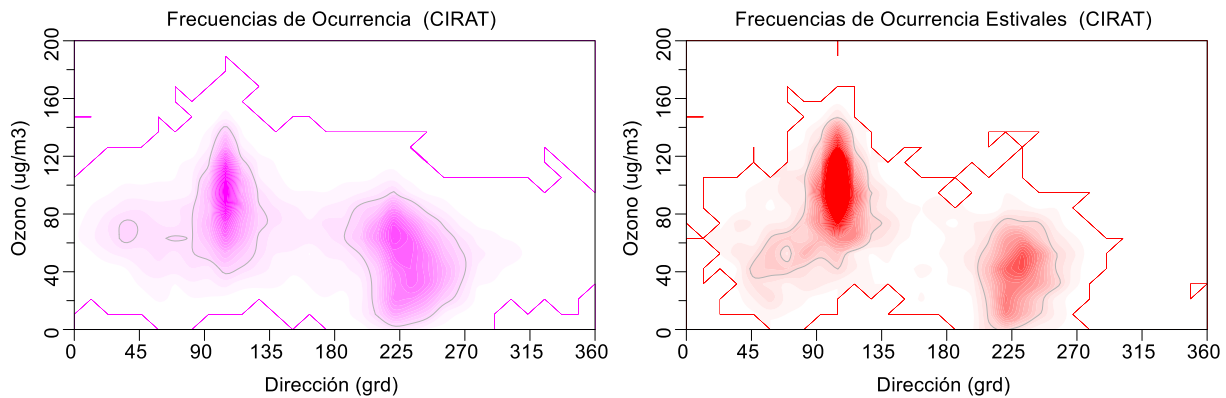


Figura 6.16: Similar a la figura 6.13 para la estación de Cirat.

La estación de Vilafranca canaliza las posibles emisiones costeras de la plana castellonense a lo largo de la Rambla de la Viuda, a lo largo de una amplia cuenca aérea en cuya parte alta recoge las transformaciones de los precursores que alcanzan el emplazamiento con la componente diurna (con dos direcciones preferentes próximas en torno al sureste). La influencia del valle en las concentraciones se vuelve a mostrar en los modos de transporte preferentes, a los que se asocian niveles de concentración de ozono sensiblemente distintos, con valores estivales superiores en el transporte valle arriba.

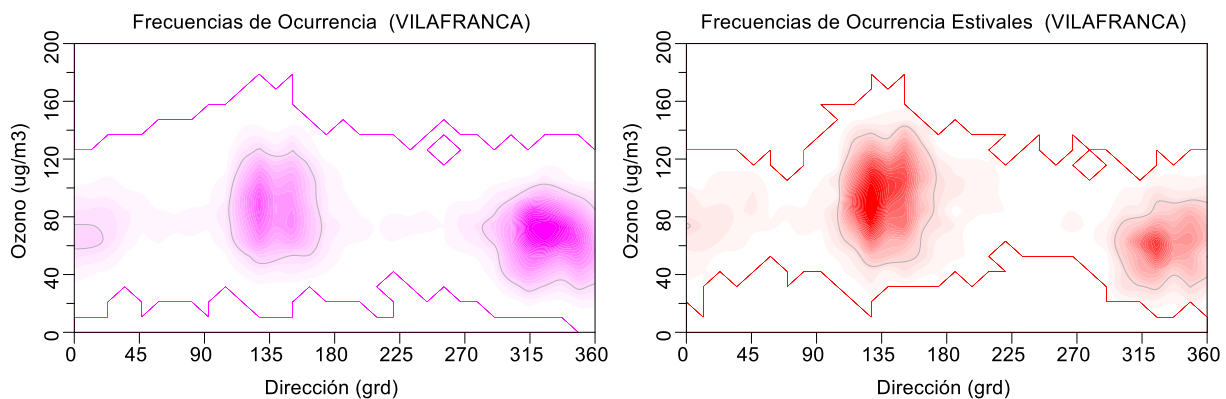


Figura 6.17: Similar a la figura 6.13 para la estación de Vilafranca.

El emplazamiento de Coratxar situado también en el interior, y el de mayor altura de todos ellos, no siempre participa de la misma dinámica atmosférica. El reflejo está en la preponderancia del ozono en los rangos de direcciones del oeste para los datos completos (gráfica izquierda de la figura 6.18), aportados en gran medida por la circulación general en niveles de la media troposfera. En verano esta contribución resulta menor, con las concentraciones más elevadas asociadas a los flujos a escala local/regional que alcanzan al emplazamiento en las horas diurnas, y que aparecen distribuidas sobre un rango de direcciones amplio, en un enclave poco canalizado.

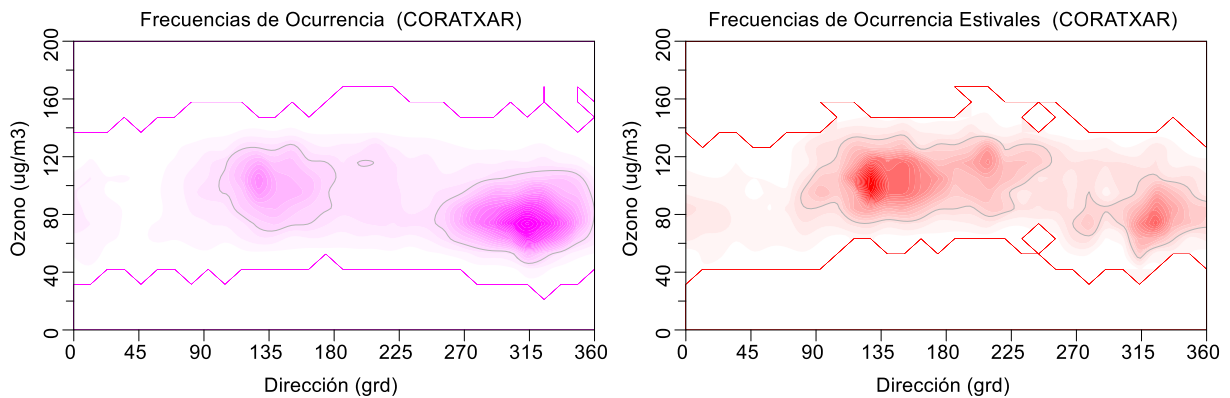


Figura 6.18: Similar a la figura 6.13 para la estación de Coratxar.

Recapitulación

En el estudio del comportamiento de los niveles superficiales de ozono se superponen una gran cantidad de procesos fisicoquímicos que actúan simultáneamente en diferentes escalas espaciales y temporales y que contribuyen, potenciando bien la formación, bien la eliminación, a las concentraciones que se registran en un punto determinado, en ocasiones muy cambiantes en pequeñas distancias. Así, es difícil aislar los cambios en los niveles de ozono relacionados con variaciones en la composición química de la atmósfera inducidas por modificaciones en las emisiones de precursores, de aquellos cambios debidos estrictamente a procesos meteorológicos. Se ha documentado suficientemente que la generación y deposición de ozono químico en la superficie se ve fuertemente afectada por las condiciones atmosféricas. Sin embargo, los diferentes factores meteorológicos pueden contribuir en diversos frentes, en ocasiones con implicaciones contrarias. Por ejemplo, los niveles de ozono tienden a ser más altos bajo un tiempo cálido y soleado, condiciones propicias para la producción fotoquímica en presencia de precursores. Al mismo tiempo, las temperaturas más altas hacen que se desarrolle la convección y la mezcla vertical (en lo que también influye la generación de turbulencia mecánica debido al viento), diluyendo las concentraciones si los estratos superiores son más pobres en ozono o desencadenando la fumigación de posibles capas enriquecidas en niveles altos. Los días nublados y poco soleados reducen las posibilidades de generación fotoquímica, pero también pueden estimular la deposición adicional de ozono en las gotas de agua. La relación positiva entre el ozono y la temperatura, que se refiere habitualmente como la “penalización climática del ozono”, depende a su vez de factores que pueden funcionar en sentidos contrarios, y que en general resultan muy dependientes de cada entorno, identificándose cuatro vías principales de actuación de la temperatura: sobre las emisiones de VOCs, sobre las fuentes biogénicas de NO_x (actividad microbiana del suelo), a través de las especies reservorios de NO_x (p.e. el PAN) y sobre los procesos de eliminación por deposición sobre la cubierta vegetal y otras superficies.

La investigación de la influencia de las condiciones de la meteorología local sobre las concentraciones de ozono superficial para un emplazamiento en particular a través de los procesos fotoquímicos in situ, deposición y mezcla vertical, se complica adicionalmente por la advección horizontal, de manera que las masas de aire que alcanzan el lugar pueden presentar características muy diferentes, no solo relativas a las propias concentraciones de ozono advectadas, sino su contenido en precursores y productos intermedios de reacción, que pueden modificar sustancialmente la reactividad del sistema.

Los modelos de correlación in situ del ozono frente a los diferentes parámetros meteorológicos son capaces de justificar estadísticamente una parte (en ocasiones sustancial) de la variabilidad de las concentraciones, pero no representan relaciones directas causa-efecto, en un sistema atmosférico complejo con múltiples dependencias.

7. Estudio singularizado de episodios de elevada concentración.

Para el análisis de los episodios de elevada contaminación por ozono se han revisado los registros de la red valenciana desde el año 2008 al 2019, que en la secuencia de la vigilancia de la contaminación por ozono supone un periodo de cierta estabilidad, respecto a la inflexión que supuso la drástica reducción de emisiones (principalmente de SOx y NOx) derivadas de los planes de reducción en el marco de las políticas de techos nacionales, y que en gran medida provino de las actuaciones sobre la producción de electricidad (centrales térmicas).

La figura 7.1 refleja la evolución de los parámetros legales registrados por la RVVCCA desde su puesta en marcha, junto a la propia variación en la dotación de puntos de medición. En este intervalo de doce años se registraron un total de 26 superaciones del umbral de información a la población, con dos años en los que no se produjo ninguna. Las superaciones de los máximos diarios del promedio octohorario suponen varios miles en todo el periodo, con algo más de setecientos en promedio anual; respecto a los casos que se superan más de 25 ocasiones en el año (la norma exige que se produzca durante tres ejercicios consecutivos) involucra a ciento diez estaciones de vigilancia, lo que representa un promedio de nueve anuales.

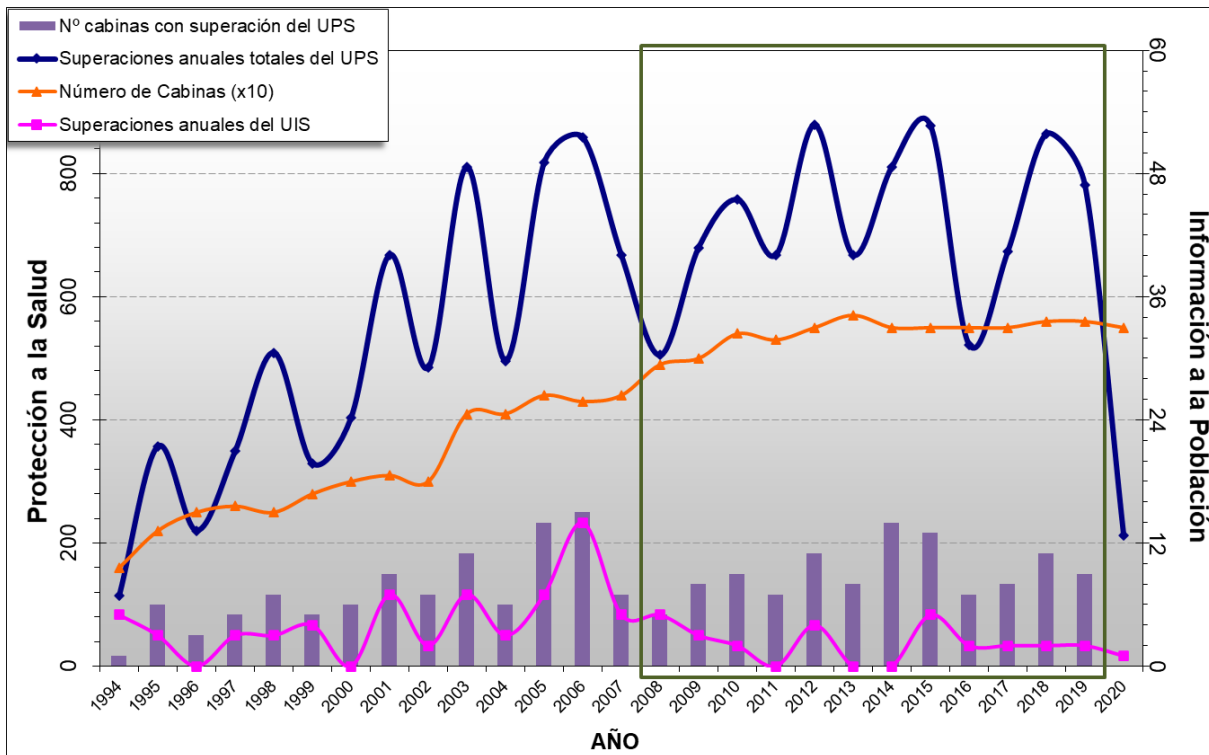


Figura 7.1: Evolución anual del número de medidas del máximo octohorario diario por encima de 120 mg/m³ (curva azul), del número de medidas del máximo horario diario por encima de 180 mg/m³ (curva magenta), del número de estaciones que superaron el umbral de protección a la salud (columnas), en el contexto de la variación de la dotación de la red valenciana de vigilancia (número de estaciones operativas, línea marrón). Fuente: Informe Previozono/2020, Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica.

Las superaciones de los niveles que constituyen las referencias normativas presentan una distribución que se concentra lógicamente en los meses estivales y en las horas centrales del día, tal y como se muestra en las dos gráficas de la figura 7.2 (los promedios octohorarios se asignan a la hora final, de ahí su desfase). A lo largo del año los niveles por encima de la referencia horaria de 120 µg/m³ tiene una distribución bastante simétrica, salvo por el efecto vacacional de agosto. Por el contrario, las superaciones del umbral de información a la población aparecen más volcadas hacia

el final del verano, sin ocurrencias en ninguno de los dos parámetros en los dos meses de principio y fin de año.

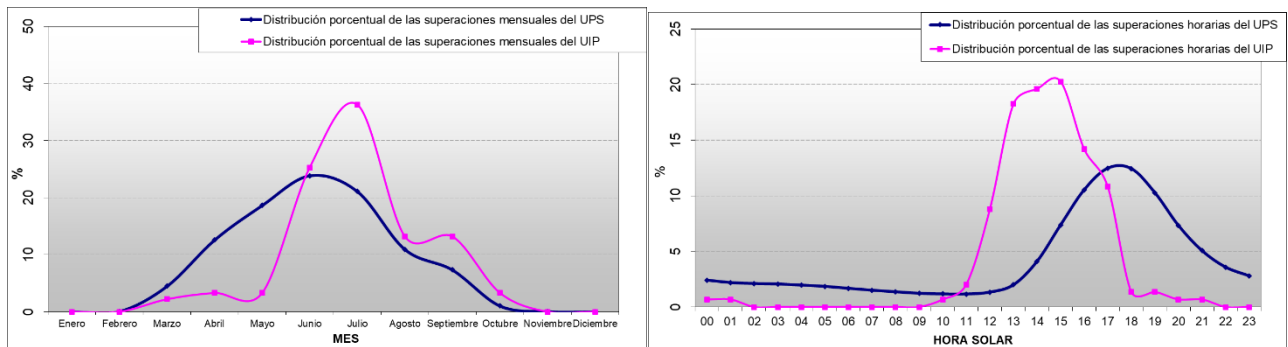


Figura 7.2: Distribución porcentual de las superaciones históricas de la RVVCCA del valor máximo octohorario de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y del máximo horario de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en función del mes del año y de la hora del día (misma fuente que la figura anterior).

Espacialmente la distribución de los diferentes parámetros legales se muestra en las gráficas de la figura 7.3 para el intervalo seleccionado de doce años. Visualmente se aprecia que los episodios agudos de contaminación se localizan en la banda zonal de la Comunitat entre Valencia y Castellón, en emplazamientos tanto de costa como más interiores, con clara preferencia por el sotavento de la capital. La distribución de las superaciones del valor máximo octohorario de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se produce de manera más homogénea, cubriendo también emplazamientos desde la costa hacia el interior, aunque podría parecer que las superaciones en más de 25 ocasiones al año, que suponen el incumplimiento de la normativa con relación a la protección a la salud, se concentrarían preferentemente en emplazamientos de interior.

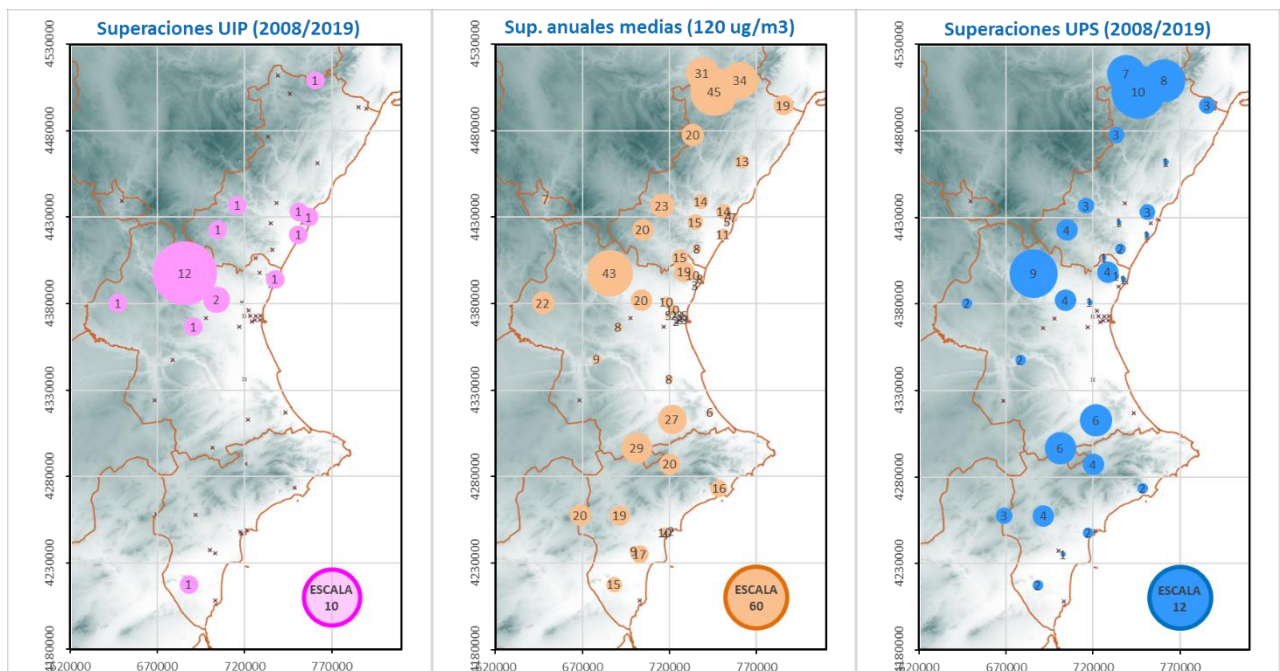


Figura 7.3: Distribución espacial sobre la red de la C.V. sobre el periodo 2008-2019 del número de superaciones del umbral de información a la población (izquierda), de las superaciones medias anuales del máximo octohorario de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (centro) y del umbral de protección a la salud (derecha).

Superaciones del umbral de Información a la Población.

En el periodo de los doce años considerados se registraron un total de veinticuatro superaciones del umbral de información a la población, con tres de los años en que no se produjo ninguna, y uno de ellos con un máximo de cinco. Las ocurrencias se produjeron solo en doce de las cabinas que conforman la red valenciana, generalmente con uno o dos casos, salvo Villar del Arzobispo que ostenta el récord con doce (ver tabla 7.1 y distribución espacial en figura 7.2). Los casos de superación nunca representan concentraciones muy elevadas respecto al umbral de referencia, con un máximo absoluto de 207 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo el promedio de todas las contabilizadas de 191 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tampoco los episodios de contaminación más aguda duran mucho tiempo, generalmente suponen solo una hora y, muy excepcionalmente, han persistido durante tres horas consecutivas.

Geográficamente las estaciones no muestran un patrón espacial claro, con episodios tanto en las estaciones costeras como interiores. De nuevo solo la cabina de Villar del Arzobispo mantiene una diferencia destacada de ocurrencias, sin duda ligado a su ubicación a sotavento de la gran conurbación de la ciudad de Valencia, en una posible zona de máxima producción de las emisiones urbanas canalizadas cuenca (del Turia) arriba. En todos los casos la naturaleza de las superaciones, como representantes de situaciones agudas de contaminación fotoquímica, parecen responder a episodios puntuales, ligados a procesos muy localizados, asociados a un estrato rico en ozono que alcanza al emplazamiento, sin una correspondencia importante en zonas próximas, lo que descarta la posibilidad de una masa aérea extensa (con valores muy elevados toda ella).

Tabla 7.1: Relación de superaciones del umbral de información a la población y estaciones de ocurrencia.

Año	Nº Sp Tot	Fecha	Nº Sup	Estaciones
2008	2	26/06	1	Villar del Arzobispo
		01/07	1	Villar del Arzobispo
2009	3	24/04	1	Villar del Arzobispo
		01/07	1	Villar del Arzobispo
		02/07	1	Villar del Arzobispo
2010	2	07/07	1	Villar del Arzobispo
		16/07	1	Villar del Arzobispo
2011				
2012	4	28/03	2	Castelló-Grao; Burriana
		21/08	1	Villar del Arzobispo
		12/09	1	Villar del Arzobispo
2013				
2014				
2015	5	13/05	1	Villar del Arzobispo
		09/06	1	Orihuela
		28/06	1	Coratxar
		07/07	2	Castelló-Penyeta; Villar del Arzobispo
2016	2	26/07	2	Viver; Villar del Arzobispo
2017	2	15/06	1	Caudete de las Fuentes
		25/10	1	Buñol-Cemex
2018	2	21/06	1	Vilamarxant
		05/08	1	Sagunt Port
2019	2	28/06	1	Vilamarxant
		12/07	1	Cirat
TOTAL	24			

En los puntos siguientes se revisan algunas de las anteriores situaciones que dieron lugar a superaciones del valor horario de 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en algún punto de la Comunitat y que se consideran de interés. Se ilustrarán con la secuencia de concentraciones registradas en el contexto de la semana en que se produce el episodio, resaltando solo aquellas cabinas con niveles horarios por encima del valor de 160 (por simplificar la representación), insertas en la banda de los márgenes correspondientes a los percentiles 10-90 de todos los registros de la RVVCCA (la línea punteada representa el promedio conjunto). La distribución espacial y el mapa sinóptico representativo de las condiciones atmosféricas a gran escala en que se produce completan la documentación de cada episodio.

La superación de Villar del Arzobispo de junio de 2008 se produce en un escenario habitual de fuerte estabilidad atmosférica anticiclónica, bajo la presencia de una poderosa dorsal en altura que propició una jornada de fuerte insolación y temperaturas elevadas, propicia para la formación fotoquímica de ozono. Los niveles de la red se encontraban en torno a valores no muy altos, y solo las estaciones de Viver, Vilafranca y Zorita llegaron a superar valores horarios por encima de los 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Todas las cabinas resaltadas se encuentran dispersas en el interior del territorio de la Comunitat, sin solución de continuidad entre ellas, en otras tantas cuencas aéreas, susceptibles de canalizar las emisiones costeras hacia el interior. La ocurrencia de los máximos es tardía, lo que confirmaría la idea de una masa aérea en transformación que alcanza los emplazamientos con niveles de ozono en diferentes grados de acumulación, y con un alcance muy puntual.

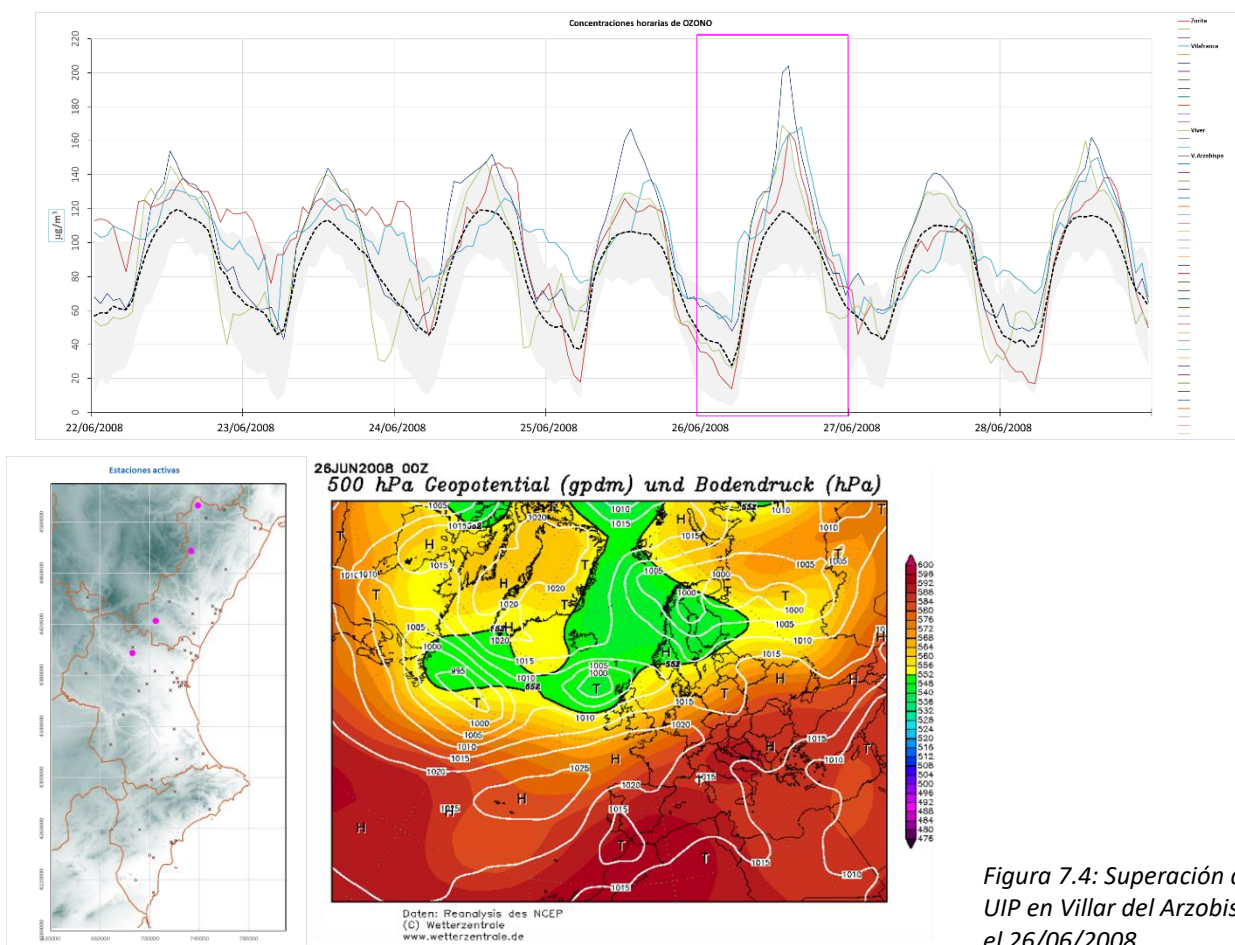


Figura 7.4: Superación del UIP en Villar del Arzobispo el 26/06/2008.

El episodio de superación de abril de 2009 se registra únicamente en la cabina de Villar del Arzobispo, con dos horas consecutivas por encima del umbral normativo de información a la población, y con un cierto conjunto de estaciones marcando también valores elevados (al menos ocho superando el máximo diario de 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio horario). El escenario meteorológico corresponde también a una situación anticiclónica estable, persistente durante varios días bajo la presencia de un anticiclón de bloqueo en latitudes escandinavas. Puede apreciarse que la red en conjunto va incrementando los niveles en jornadas anteriores hasta alcanzar la jornada en que se producen los valores más elevados en la red. Especialmente los máximos del día de referencia se localizan en puntos muy distantes de toda la Comunitat, de norte a sur y desde emplazamientos costeros a otros muy interiores. Parecería que la culminación en los valores elevados de concentración es el resultado de un proceso de acumulación generalizado, fruto de una pobre ventilación atmosférica en toda la vertiente mediterránea, que va envejeciendo la masa aérea en conjunto, que arroja niveles altos de concentración ambiente desde la entrada por la franja costera durante la circulación de brisa, sobre la que se van desarrollando las transformaciones fotoquímicas de las emisiones frescas en su desplazamiento hacia el interior.

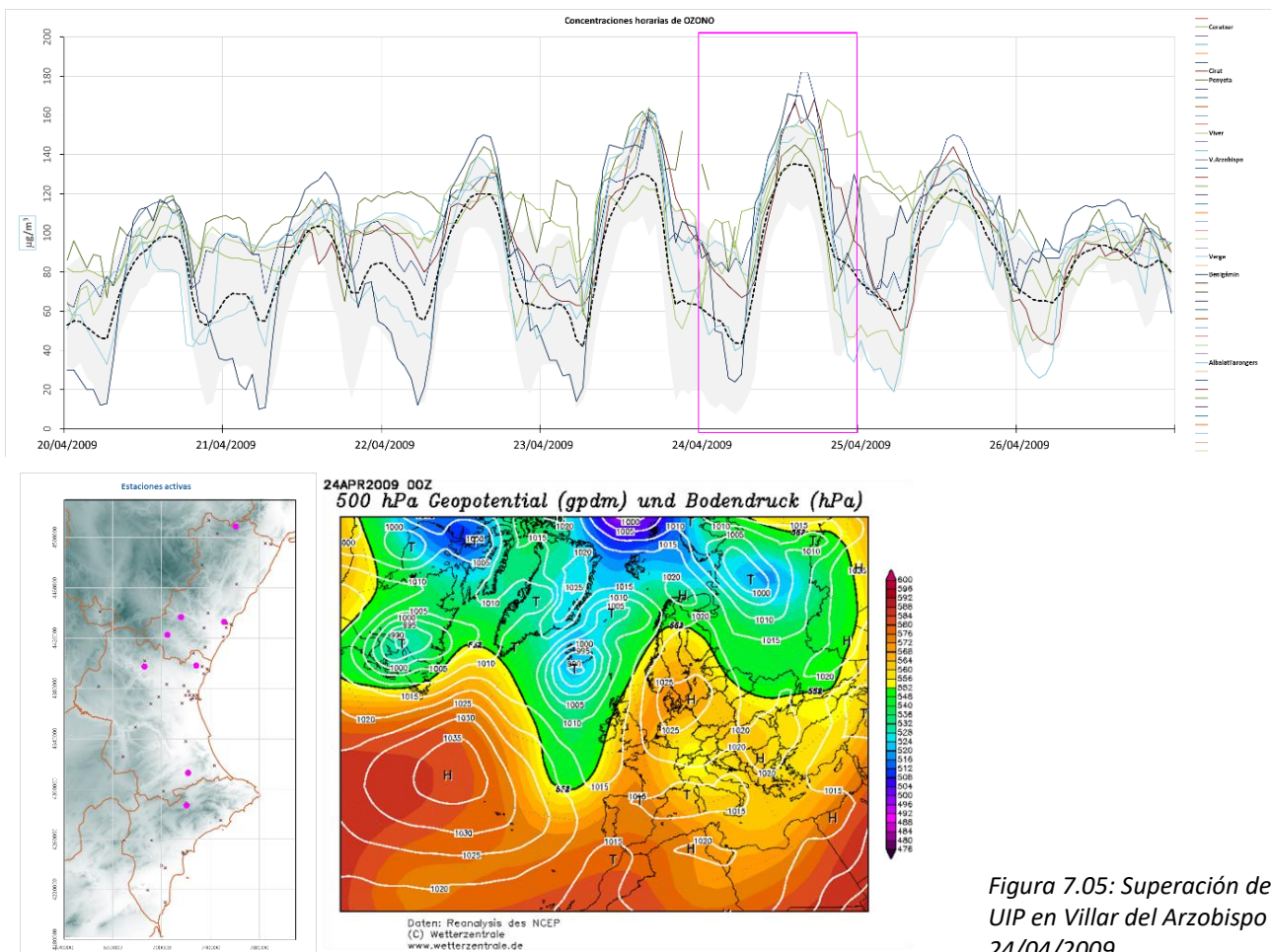


Figura 7.05: Superación del UIP en Villar del Arzobispo el 24/04/2009.

El episodio de superación de Burriana y Grao de Castellón en marzo del año 2012 resulta ilustrativo por tratarse de un periodo muy temprano en el año, en el que no suelen ser frecuentes episodios elevados de concentración. Las superaciones se registran en emplazamientos costeros del litoral central de la Comunitat, con niveles máximos alcanzados incluso en entornos urbanos. La situación meteorológica muestra una situación estable que persiste durante varios días, con un núcleo anticiclónico sobre el archipiélago británico en posición de bloqueo, y que determina una advección general del noreste sobre todo el litoral mediterráneo Peninsular. Los registros de ozono de la red reflejan valores muy modestos previos, que crecen notablemente en el día de la superación (y el anterior) con poca dispersión durante el día y valores elevados durante la noche (que se distribuyen sobre un amplio rango de niveles, pero con valores en proporción altos). El periodo en el que se producen las subidas, y su localización geográfica sugiere un aporte externo con la masa aérea que alcanza al levante Peninsular procedente de las costas mediterráneas del sur de Europa. Ello justificaría los altos valores en primera línea de costa que no aumentan hacia el interior bajo una presión fotoquímica aún poco intensa en el periodo en curso como para dar lugar a picos especialmente elevados de concentración.

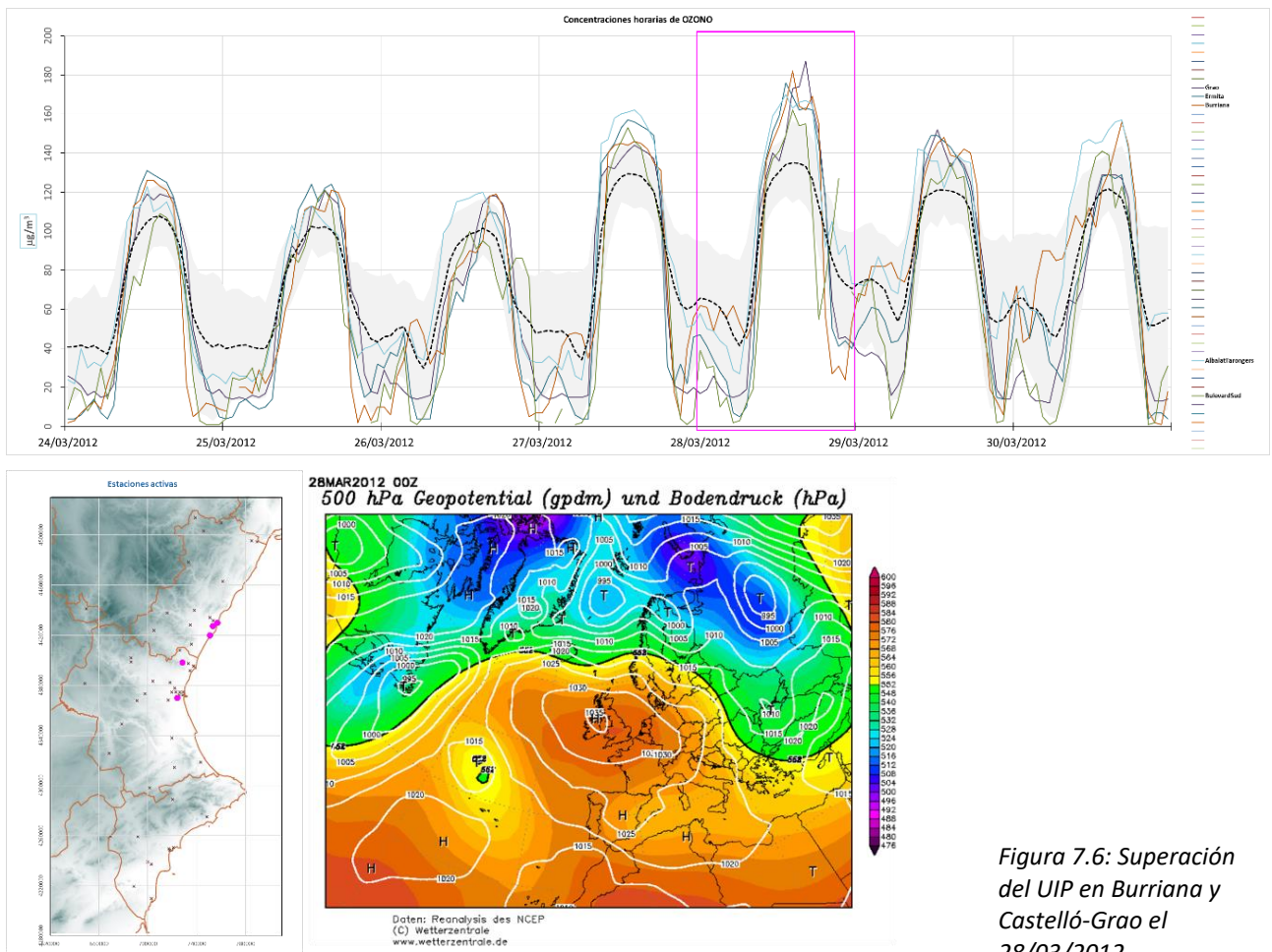


Figura 7.6: Superación del UIP en Burriana y Castelló-Grao el 28/03/2012.

La siguiente superación seleccionada del umbral de información a la población recoge la alerta en la estación de Villar del Arzobispo, de nuevo en un periodo de fuerte estabilidad atmosférica bajo la persistencia de las altas presiones atlánticas extendidas a toda la cuenca mediterránea. Las concentraciones previas se mantienen moderadamente elevadas, realmente con una tendencia decreciente, aunque culminan con el fuerte incremento reseñado, evolucionando posteriormente a la baja al establecerse condiciones advectivas en todo el litoral. Los incrementos ilustrados afectan a estaciones situadas en línea sobre la misma cuenca aérea, lo que sugiere una situación de producción fotoquímica especialmente favorable en la masa aérea que se transporta con la brisa hacia el interior, a partir de la transformación de las emisiones de precursores en zona de cabecera, que en el caso actual sería la ciudad de Valencia. De nuevo este caso sugiere condiciones muy episódicas, que no persisten durante periodos largos (una hora por encima de la referencia del UIP), que no tienen un alcance espacial grande (los niveles muy altos se limitan a un conjunto pequeñísimo de estaciones) y que parece ligado a una situación de oportunidad entre una escasa renovación atmosférica general, condiciones meteorológicas favorables para la reactividad fotoquímica y disponibilidad de emisiones locales partícipes en las transformaciones durante su transporte y dispersión en el seno de las circulaciones locales.

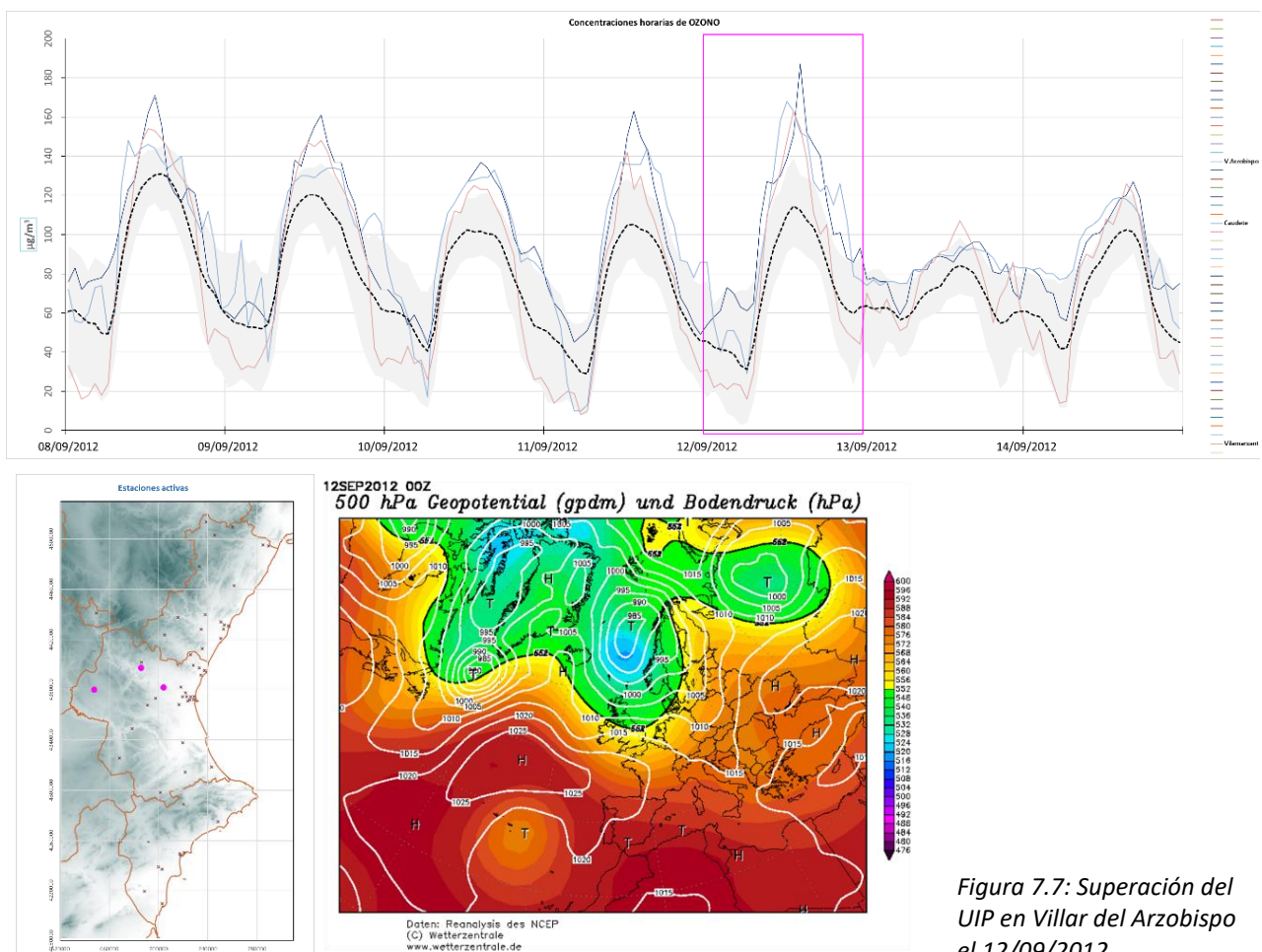


Figura 7.7: Superación del UIP en Villar del Arzobispo el 12/09/2012.

La superación de Vilamarxant de septiembre de 2019 responde a un episodio puntual en el que se registran aumentos súbitos en un grupo de emplazamientos que no están conectados dinámicamente entre sí. En el caso actual, además de Vilamarxant con la superación, es la estación de Cirat la que registra subidas por encima de los $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En ambos casos el máximo aparece en las primeras horas de la tarde, a diferencia de otras situaciones en que se producen en una segunda onda diurna. Meteorológicamente responde también a una situación de fuerte estabilidad atmosférica, con vientos muy flojos a escala general, con el consiguiente predominio de las circulaciones locales. La singularidad de la situación reside precisamente en la intensidad de los incrementos respecto a los niveles medios de la red, en general elevados pero alejados del UIP, tempranos en la tarde y desconectados entre sí, lo que no sugiere la continuidad de las transformaciones fotoquímicas a lo largo de las cuencas preferentes de transporte como en otras ocasiones, con la posibilidad de que estratos ricos en ozono no muy extensos alcancen de manera discontinua diferentes emplazamientos, incluyendo la posibilidad de fumigación desde estratos superiores, con subida puntual y rápida de las concentraciones.

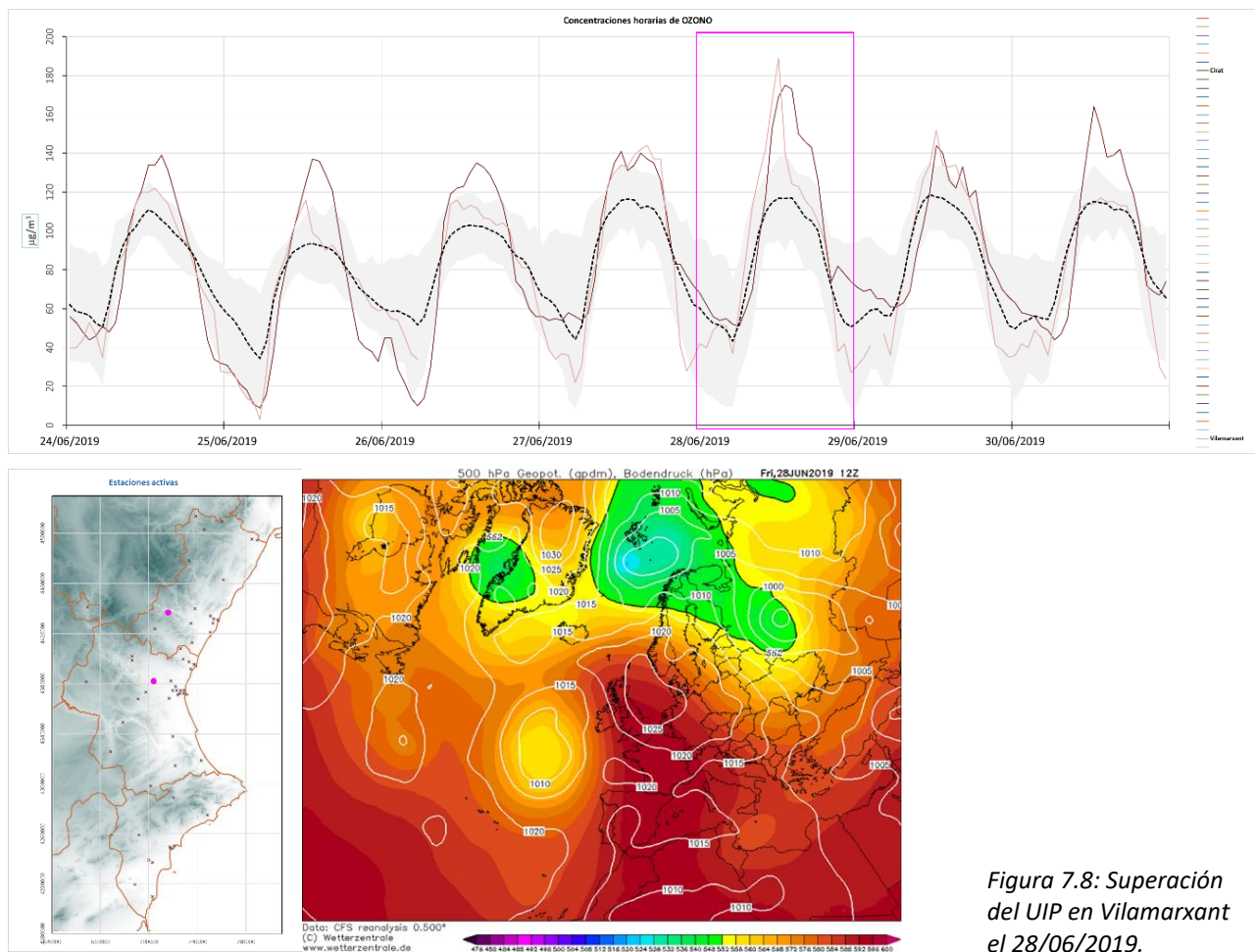


Figura 7.8: Superación del UIP en Vilamarxant el 28/06/2019.

El episodio de julio de 2019 de nuevo es un ejemplo de situación de recarga de la atmósfera a escala regional, bajo la persistencia de varios días en los que una dorsal sobre la cuenca mediterránea occidental proporciona condiciones de intensa estabilidad y poca ventilación a gran escala de los niveles superficiales de la atmósfera, donde rigen los movimientos locales de tipo brisa. Los valores medios de ozono registrados por la red en su conjunto se van incrementando progresivamente durante los días previos al episodio, culminando en subidas notables simultáneamente en varias estaciones interiores (solo una de ellas, Cirat, supera el umbral normativo) sugiriendo el efecto de una producción fotoquímica en una atmósfera previamente envejecida debido a una ventilación general muy limitada, en el que las emisiones costeras transportadas por las circulaciones de brisa dan lugar a incrementos de las concentraciones en determinados puntos cuenca arriba en su dinámica habitual de transporte diurno.

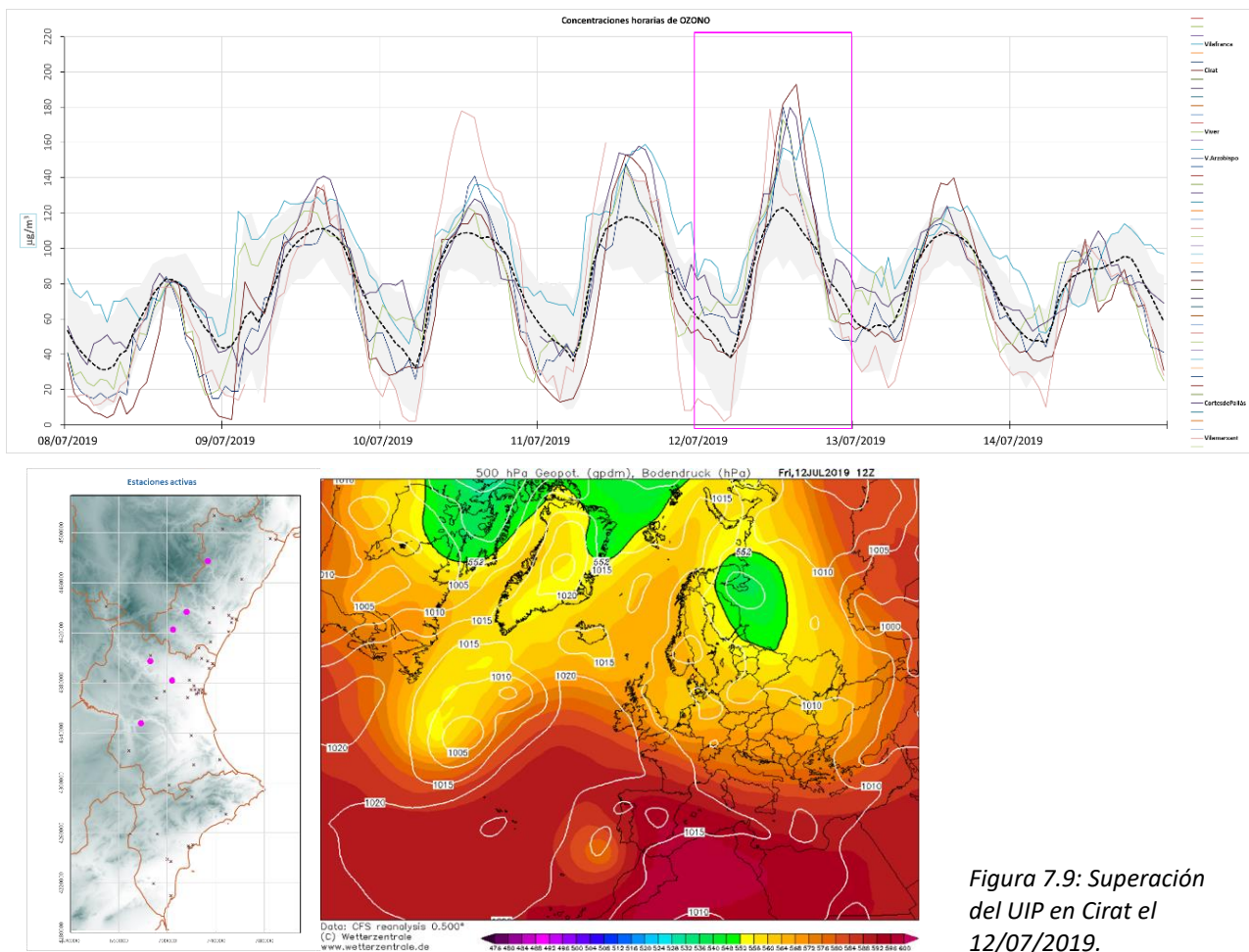


Figura 7.9: Superación del UIP en Cirat el 12/07/2019.

Superaciones del umbral de Protección a la Salud.

El valor de referencia para protección a la salud se define en función de la concentración máxima diaria de los promedios octohorarios de las concentraciones, y se establece en $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (UPS), que podrá ser superado un máximo de veinticinco ocasiones a lo largo de un año (en promedio de los tres últimos) de acuerdo a la definición del *valor objetivo* y que se debería mantener por debajo en todo momento para el cumplimiento del *valor objetivo a largo plazo*. La situación de las concentraciones registradas por la red valenciana de vigilancia para el periodo considerado (2008-2019) se refleja en la figura 7.1 y mapas de la 7.3.

Como puede apreciarse algunos rasgos generales se evidencian de las gráficas: salvo el año 2020, afectado por el efecto de las restricciones derivadas de la pandemia:

- no se aprecia una tendencia definida en la evolución de las superaciones, tanto del valor objetivo como del objetivo a largo plazo;
- la ocurrencia de las superaciones alcanza prácticamente a todas las estaciones de medida de la RVVCCA, lo que significa que afectan a todo el territorio de la Comunitat.

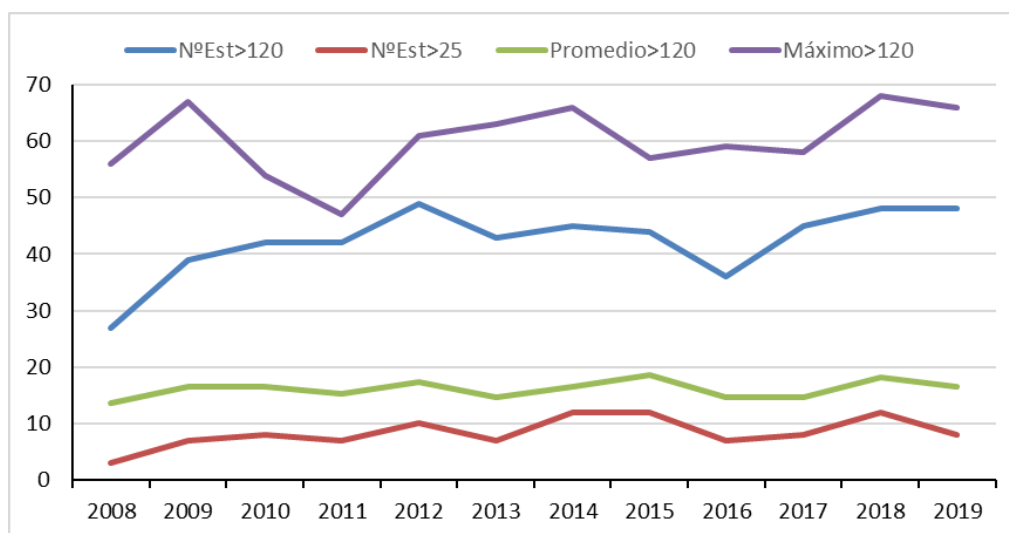


Figura 7.10: Evolución anual del número de cabinas que registran alguna superación del valor objetivo para el ozono ($N^{\circ}\text{Est}>120$), del número de cabinas que superan el valor objetivo a largo plazo ($N^{\circ}\text{Est}>25$), del promedio anual de superaciones del valor octohorario de 120 ($\text{Promedio}>120$) y del caso con mayor número de superaciones ($\text{Máximo}>120$).

En la figura anterior (7.10) se explicita la evolución anual de diferentes aspectos de la ocurrencia de las superaciones del UPS en el conjunto de la RVVCCA. Según se ilustra en la siguiente, un porcentaje elevado de tales superaciones se producen en secuencias de varios días consecutivos, lo que tiene relevancia en lo que se refiere a las posibilidades de actuar una vez desencadenado el evento de excedencias (siempre con el objetivo del cumplimiento del valor objetivo). Las situaciones más frecuentes corresponden a jornadas aisladas. No obstante, si se consideran solo las cabinas en las que se registran más de 25 superaciones, tal y como establece el valor objetivo, la proporción de persistencias más largas aumenta considerablemente.

Otro aspecto relevante en este sentido es la extensión espacial en el que se producen los valores elevados (reflejado en la gráfica de la figura 7.12 en términos de número de cabinas con superación en la misma jornada), lo que condicionaría drásticamente el alcance de las posibles medidas a adoptar. Puede apreciarse que la mayor parte de las excedencias involucran simultáneamente a un

número reducido de estaciones, si bien se dan también muchas jornadas con un número elevado de aquellas marcando concentraciones por encima de los umbrales normativos de referencia.

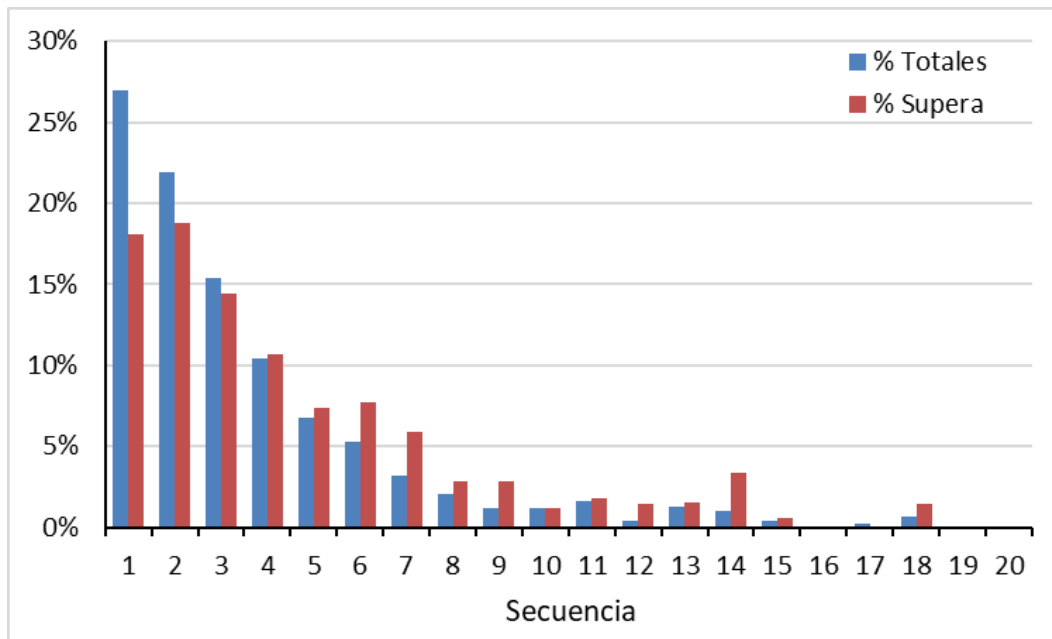


Figura 7.11: Porcentajes de contribución a al número de días con superación del umbral de 120 µg/m³ del máximo octohorario diario en el conjunto de la red valenciana en función de la duración del periodo de días consecutivos con superación para toda la red y solo para los casos de incumplimiento del valor objetivo.

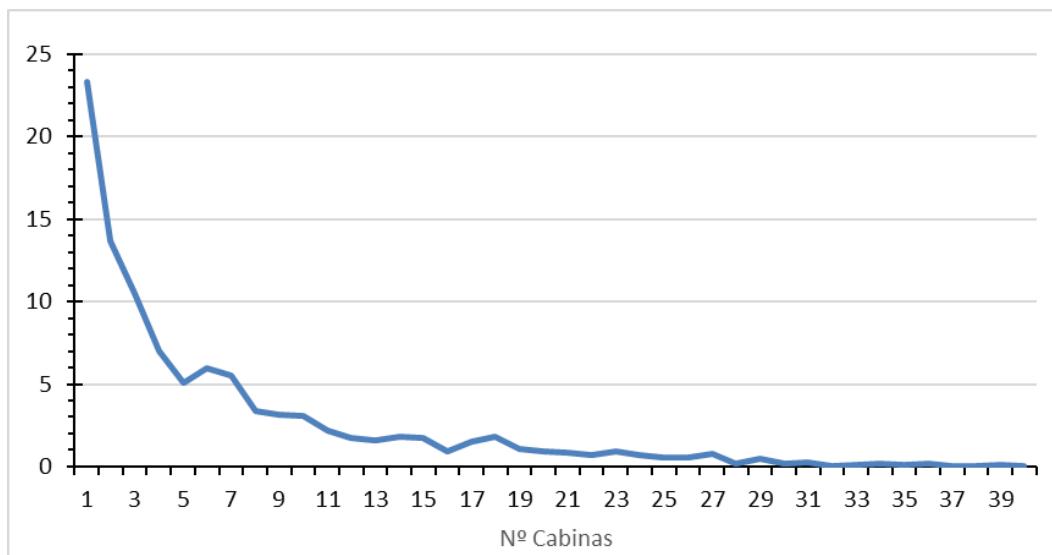


Figura 7.12: Número medio de días al año en que se producen superaciones del valor del UPS simultáneamente en varias cabinas (eje de abcisas).

La contribución de los factores no ambientales (entendiendo que se trataría de las emisiones) en la ocurrencia de superaciones se puede valorar en la distribución de las superaciones del valor octohorario de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en función del día de la semana, reflejado en las gráficas de la figura 7.13. Puede apreciarse que en el conjunto completo de estaciones hay un incremento de las ocurrencias con los días laborables, con el máximo en el sábado y una disminución del domingo (con mayor variabilidad). Distinguiendo por tipo de emplazamiento, este comportamiento responde realmente a la tipología suburbana, con las situadas en entornos urbanos marcando el máximo en el fin de semana (algo inferior el domingo), mientras que las rurales marcan un claro descenso precisamente los dos días finales de la semana. Más allá de las condiciones meteorológicas favorables (discutidas más adelante), las emisiones antropogénicas, con un marcado ciclo semanal, tienen un efecto de carga de la masa atmosférica a lo largo de la semana, con una respuesta diferenciada el sábado y domingo (en el que en general bajan las emisiones, más intensamente el festivo) tienen una repercusión diferenciada según el tipo de emplazamiento, que estaría relacionado con la ratio de disponibilidad de precursores (NO_x/VOCs) y el mayor o menor grado de limitación por NO_x o VOCs de la reactividad fotoquímica local.

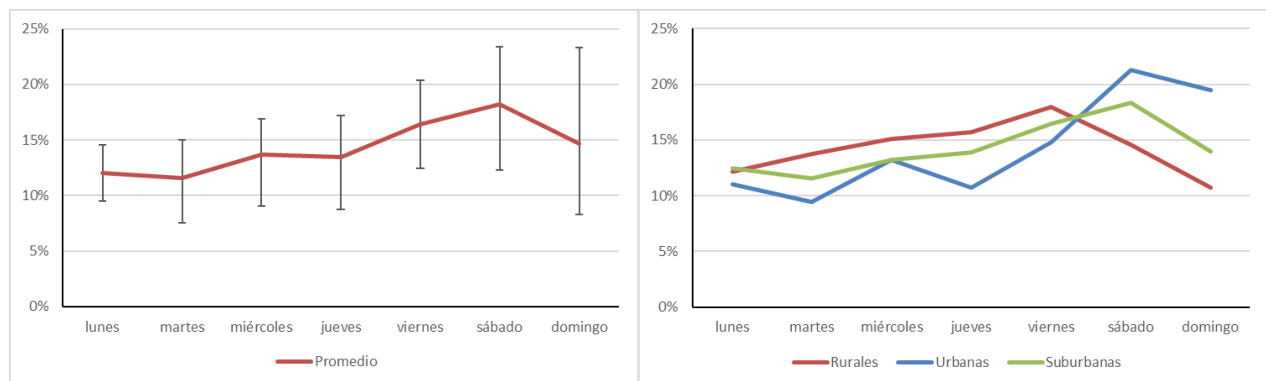


Figura 7.13: Porcentaje de superaciones del valor objetivo a largo plazo en función del día de la semana: en la gráfica de la izquierda se presenta el promedio total (con los valores del percentil 10 y 90) y diferenciado por el tipo de emplazamiento.

En el caso siguiente se muestra una situación característica en la que durante dos jornadas consecutivas 36 estaciones de la red de vigilancia presentaron máximos octohorarios por encima del valor de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y que representan algo más de la mitad del total de los puntos de vigilancia de la Comunitat. Especialmente se distribuyen necesariamente a lo largo de todo el territorio, incluyendo emplazamientos de muy diversa naturaleza. La situación meteorológica repite un patrón habitual en que el anticiclón atlántico se posiciona en latitudes septentrionales, sobre territorio británico o escandinavo, en una situación típica de bloqueo que tiende a mantenerse durante varios días.

La presencia de una dorsal en altura sobre la Península refuerza la estabilidad general, sucediéndose jornadas despejadas, soleadas y calurosas. Sin un gradiente definido, las circulaciones locales dominan el movimiento del aire en niveles superficiales, brisas de mar/montaña en toda la franja costera de la Comunitat. La persistencia de las altas presiones favorece un proceso de subsidencia, más acusada en la franja marítima litoral, reforzada por los ciclos de brisa y, ocasionalmente, también potenciada por la presencia habitual en esta configuración de un centro de bajas presiones sobre las costas atlánticas.

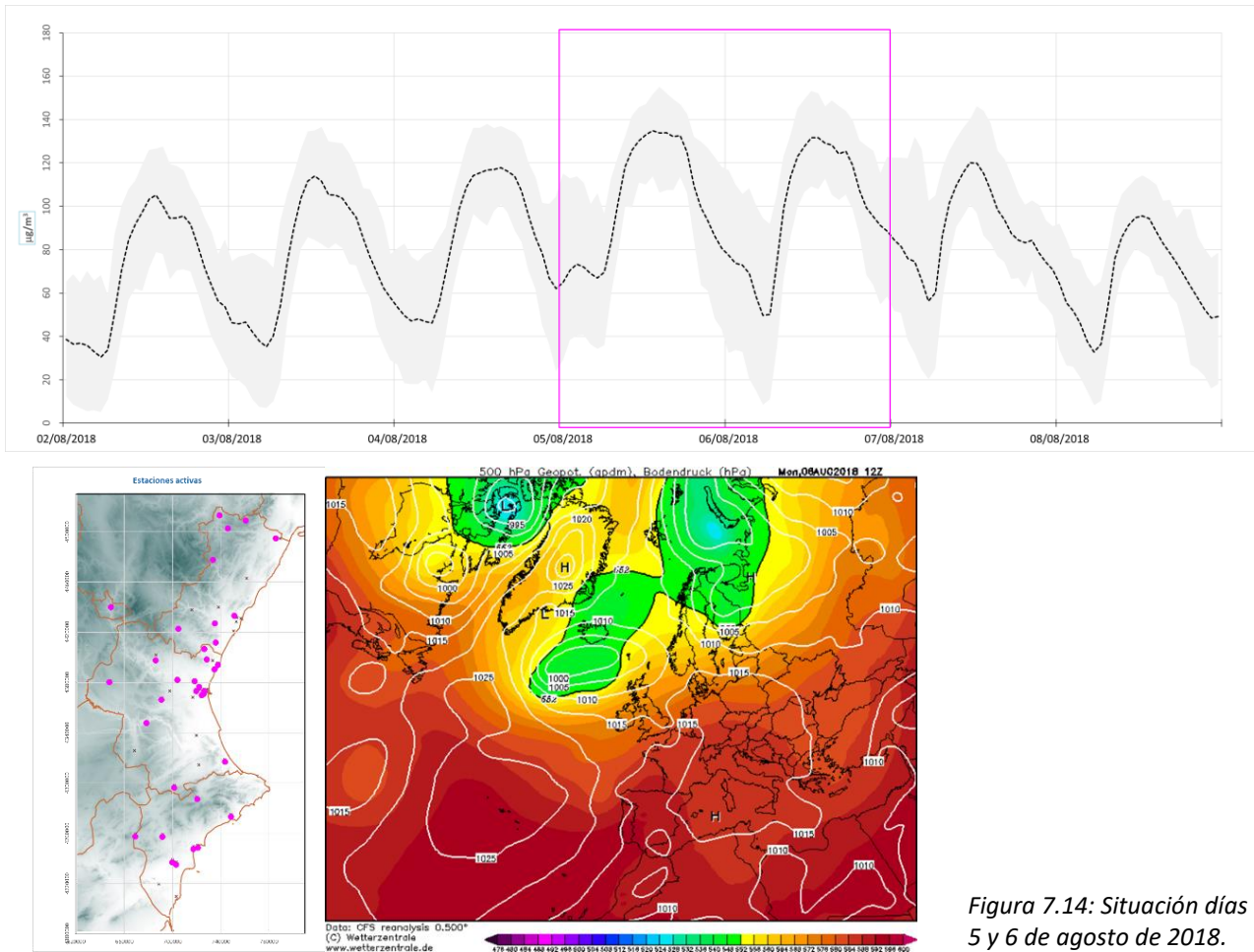


Figura 7.14: Situación días 5 y 6 de agosto de 2018.

Estabilidad, elevada insolación y poca renovación general de la masa aérea superficial, constituyen el escenario propicio para la formación fotoquímica y acumulación de ozono en las capas bajas que, como muestran los registros de la figura adjunta, se van cargando progresivamente hasta que un cambio en las condiciones meteorológicas (la entrada de una vaguada en niveles altos asociada a una borrasca polar sobre territorio británico en el caso mostrado) renuevan la masa aérea y reducen las concentraciones.

Recapitulación.

La revisión a través de los casos anteriores de las situaciones de elevada concentración superficial de ozono, a través del reducido número de superaciones del umbral de información a la población (UIP) en las estaciones de la RVVCCA (como defintorios de episodios agudos de contaminación fotoquímica), pone de manifiesto algunos de los rasgos característicos de tales episodios. En general el aspecto más destacado es su excepcionalidad: se producen en pocas ocasiones durante el año, en días aislados, casi siempre en una única estación, suelen durar poco tiempo (habitualmente una hora y muy raramente hasta tres) y no superan por mucho el valor de la referencia normativa. Siempre están asociados a situaciones meteorológicas de estabilidad, elevada insolación y poca renovación, lo que favorece la formación y acumulación de ozono de una masa aérea que se va envejeciendo a escala regional, enriqueciéndose en ozono, y que puntualmente da lugar a un incremento de los registros en alguno de los emplazamientos, por encima de las referencias legales.

Siendo estas situaciones habituales, no siempre resulta fácil entender las razones últimas del aumento en el lugar producido, frente a los restantes candidatos de la red. Todo sugiere la ocurrencia de situaciones puntuales muy propicias, en los complejos procesos fotoquímicos de transformación de las emisiones de precursores, siempre en un contexto meteorológico favorable a gran escala, que desencadenarían tales incrementos. Estas situaciones de superación suelen producirse preferentemente en estaciones del interior (cuenca media), a sotavento de las zonas de emisión de precursores, a última hora de la tarde, con el transporte de los productos de transformación desde las zonas costeras, en lo que aparecería como una segunda onda, superpuesta al ciclo normal local del emplazamiento.

En algunas situaciones las superaciones no se producen en un ambiente general de niveles de concentración ambiente de ozono especialmente elevados, y parecen estar relacionadas con aportes puntuales desde estratos o masas que alcanzan el emplazamiento con valores elevados de contaminantes. En ocasiones los episodios se relacionan con fumigaciones desde estratos más altos, que tendrían su origen en recirculaciones locales y procesos de acumulación de valores elevados en capas de reserva, que ocasionalmente pueden fumigar por mezcla convectiva, produciendo incrementos súbitos en superficie. Se producirían preferentemente al inicio de la tarde, reforzando el crecimiento de la onda diurna de ozono (que en gran medida se produce por transporte vertical -mezcla- desde capas más altas), pudiendo ocurrir en cualquier punto del territorio.

Finalmente pueden identificarse algunas situaciones en las que los incrementos procederían de la advección de una masa de aire rica en ozono, y que generalmente se asocia a una situación de vientos generales del primer cuadrante (noreste), que transportaría niveles altos de contaminantes por transporte desde alguna zona productora y/o acumulación sobre la propia cuenca mediterránea occidental. Conduciría a patrones en los que el incremento se registra preferentemente en puntos litorales, con un alcance espacial variable dependiendo de la potencial extensión de la masa intrusiva. Estas situaciones desencadenarían incrementos tempranos, con la entrada de la componente de brisa marina, con la particularidad adicional que la llegada de una masa envejecida puede estimular la reactividad de las emisiones frescas locales en el desarrollo de las transformaciones fotoquímicas tierra adentro.

En el caso de las mucho más frecuentes superaciones del valor objetivo a largo plazo, los factores ambientales que condicionan la ocurrencia son también del mismo tipo, con la particularidad de que se alcanzan en un rango de situaciones mucho más amplias, afectando a todo el territorio de la Comunitat. Las fuertes restricciones a la movilidad que impuso la lucha contra la pandemia durante el 2020, y que supuso una fuerte reducción del movimiento de vehículos, tuvieron como consecuencia una disminución inusitada de las superaciones del valor objetivo a largo plazo, sin que se alcanzase en ningún momento el valor objetivo. Sin que la contribución sustancial de la actividad industrial, que no se vio limitada sustancialmente, la reducción de las emisiones antropogénicas permitió un importante grado de mejora, por encima de las condiciones mediterráneas propicias a la formación y acumulación de ozono en los estratos bajos de la atmósfera a partir de las transformaciones fotoquímicas de sus precursores.

8. Resultados de la campaña experimental de medidas en Castellón (julio/2020)

Con objeto de documentar el efecto de la compleja dinámica del ozono en un escenario propicio a la producción fotoquímica en el ámbito de la Comunitat Valenciana, se llevó a cabo una campaña experimental de medidas en el área de influencia de la Plana de Castellón, entre los días 14 al 24 de julio de 2020, bajo la dirección del profesor Xavier Querol del Institute of Environmental Assessment and Water Research (IDAEA) del CSIC, con la participación del Instituto de Tecnología Cerámica (ITC) de la Universidad Jaume I de Castellón.

El despliegue instrumental consistió en la colocación de una red de mediciones de O₃, NO₂ y COVs mediante captadores pasivos, que se complementaron con equipos de medida en continuo de partículas ultrafinas (UFP), O₃ y black-carbon (BC), instrumentando dos emplazamientos en la población de L'Alcora y del edificio del ITC, en el campus de la UJI en Castellón; las diferentes estaciones automáticas pertenecientes a la RVVCCA en la zona proporcionaron soporte adicional de medidas ambientales y meteorológicas.

Entorno orográfico y redes de medida

La disponibilidad de puntos de medición en su contexto cartográfico se muestra en los mapas de la siguiente figura, en que se ubican los nodos de los 19 captadores pasivos y las 13 estaciones de vigilancia localizadas sobre la misma ventana. La distribución de los captadores pasivos se realizó procurando definir diferentes transectos paralelos a la costa, algunos de ellos dispuestos progresivamente tierra adentro, y otros transversales, siguiendo los cauces de las cuencas principales del Mijares (C08- C09- C10- C11- C12- C13- C14) y de la Rambla de la Viuda (C15-C16- C17-C18-C19).

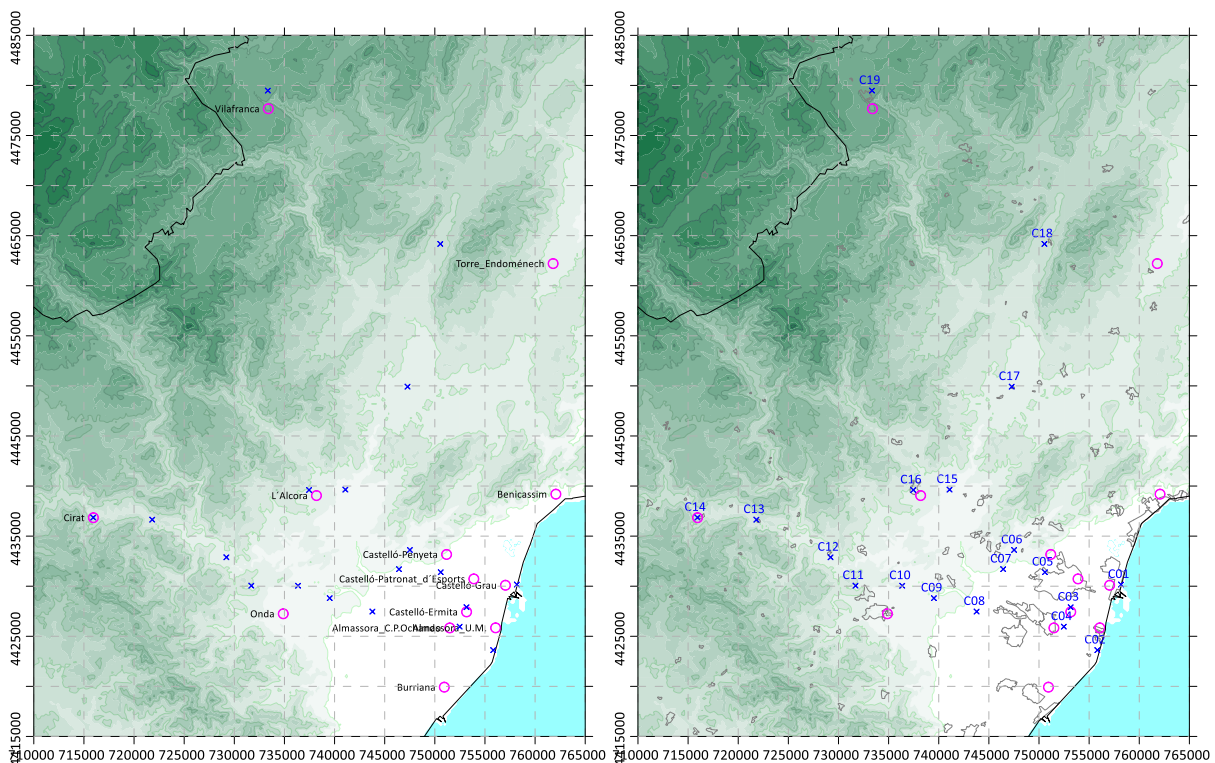


Figura 8.1: Disposición de los nodos de muestreo de la red dosimétrica desplegada y de las estaciones de medida de calidad del aire perteneciente a la RVVCCA.

Los nodos C05 y C116 corresponden también a los instrumentados adicionalmente con los equipos de O₃, UFP y BC, en el ITC y L'Alcora respectivamente.

Los nodos se sitúan en emplazamientos alejados de la influencia próxima de focos importantes (solo el C16 está en un entorno plenamente urbano de L'Alcora), quedando los de la primera línea de costa próximos al mar (C01-C02), a los que les alcanzaría aire limpio marítimo, mientras que los siguientes ya estarían a sotavento del polígono industrial de El Serrallo (C03-C04) respecto a una circulación de levante, al mismo tiempo que bajo un régimen similar al de los plantados más hacia el interior (C05, C06-C07-C08) quedarían bajo la influencia también de las emisiones del casco urbano de la ciudad. El curso de la cuenca del río Mijares se prolonga hasta la cabina de vigilancia de Cirat, en un trazado angosto por el que se canalizan, bajo muchas situaciones dispersivas, las emisiones de la Plana. También el cauce de la Rambla de la Viuda vehicula el movimiento de la masa de aire costera hacia el norte de la Comunitat, en un trazado mucho más abierto, y que recoge adicionalmente emisiones de la gran zona cerámica que se extiende hasta la población de L'Alcora.

Tabla 8.1: Coordenadas de los nodos en su ubicación final (los colores de las celdas sugieren su agrupación según los diferentes transectos que determinan, ver mapa en figura 8.1) y detalle de la colocación en algunos de los emplazamientos.



NODO	Coordenadas		Nº de Pasivos		
	Longitud	Latitud	COVs	NO ₂	O ₃
C01	0.023611	39.982222	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>
C02	-0.006547	39.924026	<i>simpl</i>	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>
C03	-0.036087	39.963592	<i>simpl</i>	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>
C04	-0.044722	39.946111	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>
C05	-0.064662	39.995629	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>	
C06	-0.099837	40.016492	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>
C07	-0.113474	39.999372	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>
C08	-0.145728	39.962249	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>
C09	-0.195129	39.975680	<i>simpl</i>	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>
C10	-0.231666	39.987226	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>
C11	-0.286020	39.989214	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>
C12	-0.314254	40.014995	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>
C13	-0.399497	40.050771	<i>simpl</i>	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>
C14	-0.468504	40.054369	<i>simpl</i>	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>
C15	-0.172275	40.073217	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>
C16	-0.204919	40.091182	<i>simpl</i>	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>
C17	-0.096350	40.163278	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>
C18	-0.052500	40.290556	<i>simpl</i>	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>
C19	-0.255990	40.428482	<i>simpl</i>	<i>dobl</i>	<i>dobl</i>

En cada punto se dispusieron captadores para la medida de ozono, dióxido de nitrógeno, COVs y OVOCs. Los orgánicos se segregaron en dos grandes familias: los COVs mayoritarios, en los que se encuentra la familia de los aromáticos BTEX (benceno, tolueno, xileno y etilbenceno), procedentes de la ruptura de cadenas largas, mayoritariamente primarios y en muchos casos de origen natural (entre los que se encuentra regulado el benceno) y los COVOs (compuestos orgánicos oxigenados), de cadena más corta y habitualmente de origen secundario

La tabla anterior proporciona las coordenadas geográficas finales de la red desplegada, junto con su dotación de pasivos (duplicados o no) de las diferentes especies. Los emplazamientos, siempre aprovechando elementos disponibles del entorno, se eligieron libres de influencias directas de focos próximos.

Condiciones ambientales

Los diez días de exposición de los captadores pasivos se sucedieron con rasgos muy similares, bajo condiciones típicamente estivales, que a gran escala meteorológicamente estuvieron presididas por la influencia de las altas presiones atlánticas, cuyo centro de acción se mantuvo sin grandes variaciones en su posición (ejemplos en figura 8.2). Ello contribuyó a mantener condiciones de general estabilidad durante casi todos los días de campaña, solo con breves incursiones de aire frío en altura que ocasionaron alguna precipitación dispersa, como sucedió la misma jornada de inicio, o los días 20 y 22, en todos los casos muy poco relevantes. Sí se mantuvo una circulación general de poca intensidad en superficie, lo que propició el desarrollo de brisas costeras bien establecidas, con una componente diurna del segundo cuadrante, con vientos moderados, como muestra la rosa de vientos (figura 8.3), y dos direcciones con intensidades bajas, correspondientes a la componente nocturna y que apuntan a las dos cuencas principales de la zona, ya aludidas.

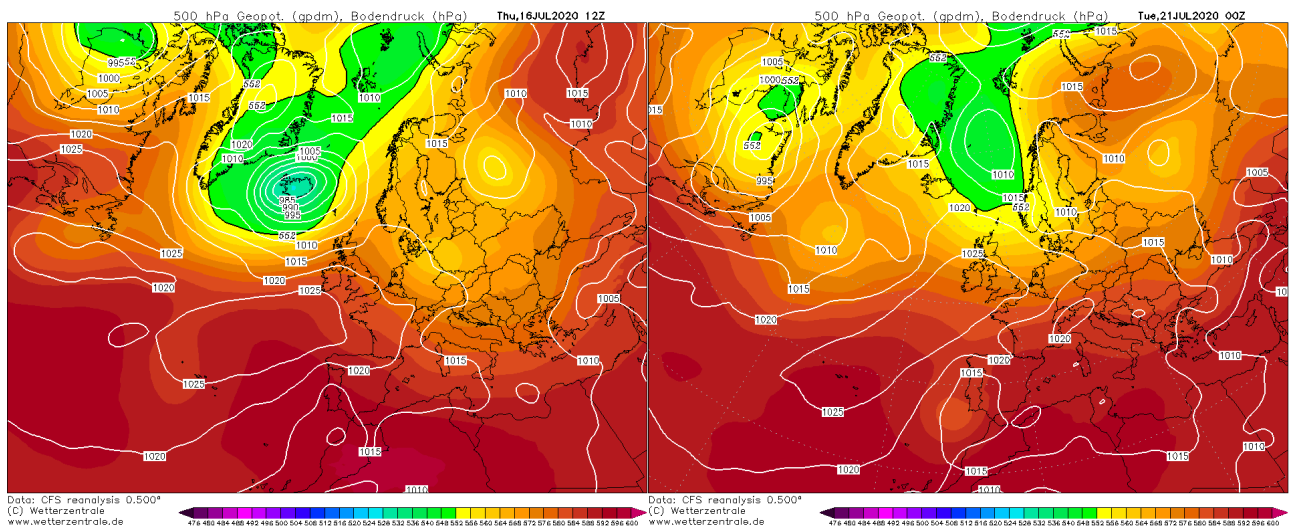


Figura 8.2: Condiciones meteorológicas a gran escala registradas en dos momentos del periodo de muestreos dosimétricos.

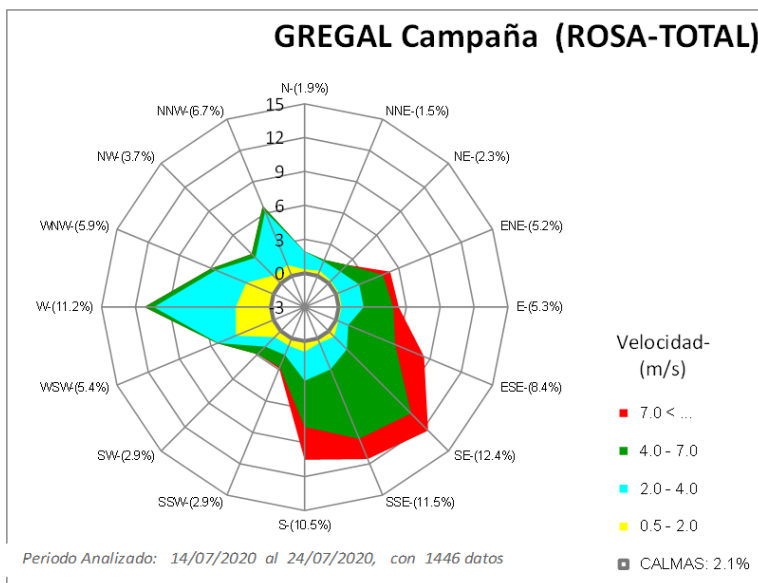


Figura 8.3: Rosa de vientos elaborada para el periodo de muestreos dosimétricos (valores procedentes de la misma estación " CASTELLÓ AP GREGAL", perteneciente a la RVVCCA).

La secuencia temporal de las magnitudes meteorológicas (figura 8.4) marca este ciclo diario que, con pequeñas alteraciones, refleja la alternancia de las dos componentes de la brisa, con una onda de velocidad también bien definida.

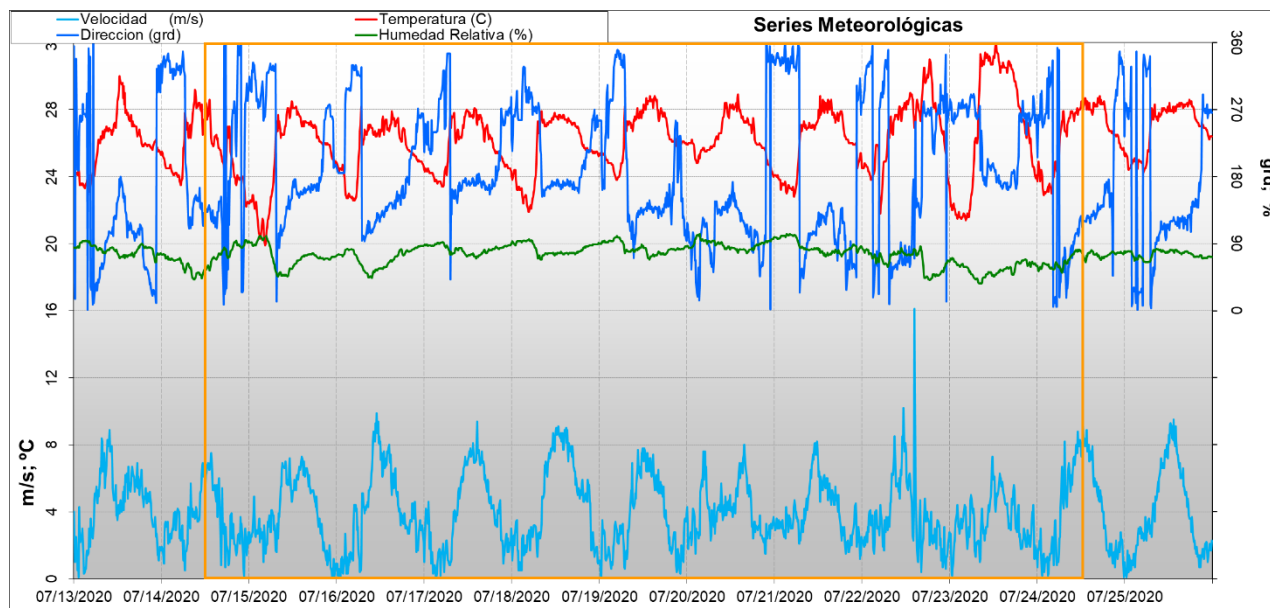


Figura 8.4: Series temporales de los principales parámetros meteorológicos registrados durante el periodo de muestros dosimétricos (valores procedentes de la estación " CASTELLÓ AP GREGAL", perteneciente a la RVVCCA).

Los registros de contaminantes primarios (NO₂, figura 8.5) dibujan también esta onda diaria, con el mínimo en las horas centrales del día, bajo condiciones de buena ventilación, con una tendencia descendente general en la primera parte, hasta concluir en el mínimo del fin de semana, para recuperarse en las jornadas finales.

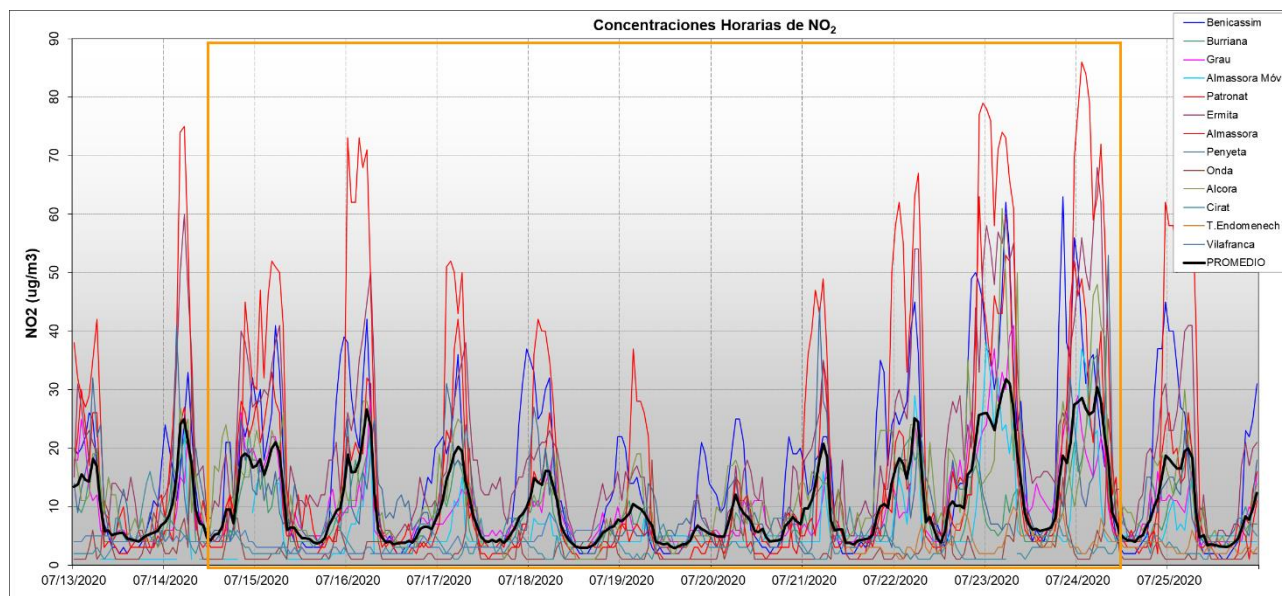


Figura 8.5: Series temporales de los niveles de concentración horaria de NO₂ registrados en las distintas estaciones de la RVVCCA durante el periodo de muestros dosimétricos.

Los patrones individuales se diferencian entre las distintas estaciones, con un doble pico característico en aquellas dominadas por las emisiones de tráfico (es más marcado el matutino) frente a los impactos preferentemente nocturnos del sotavento de los núcleos urbanos o industriales en algunas otras. El mínimo durante las horas centrales del día es común en todos los casos, efecto de la eficaz dilución durante el régimen meteorológico diurno. También se aprecia claramente la influencia del fin de semana, marcando el domingo los valores más bajos de concentración ambiente, tanto en las estaciones más industriales como aquellas más embebidas en el tráfico urbano.

Aunque puntualmente algunas concentraciones superan el valor numérico de referencia legal de protección a la salud (referido este al promedio anual), en ningún caso los valores medios del periodo (ni los diarios para ninguna de las estaciones) llegan a alcanzar guarismos próximos.

El registro de los niveles de ozono para los diferentes emplazamientos (figura 8.6) muestra valores relativamente moderados, marcando una onda diurna con las diferentes morfologías que imprimen el tipo de ubicación y su situación en el contexto de la circulación atmosférica local. En términos generales los niveles también se reducen moderadamente hacia el fin de semana, con una recuperación posterior, finalizando la campaña con alguna estación por encima del umbral de protección a la salud. Las propias trazas de las curvas muestran la gran variabilidad del sistema, con fuertes variaciones no solo entre los registros de diferentes emplazamientos, sino que la evolución temporal tampoco es homogénea en cada uno de ellos.

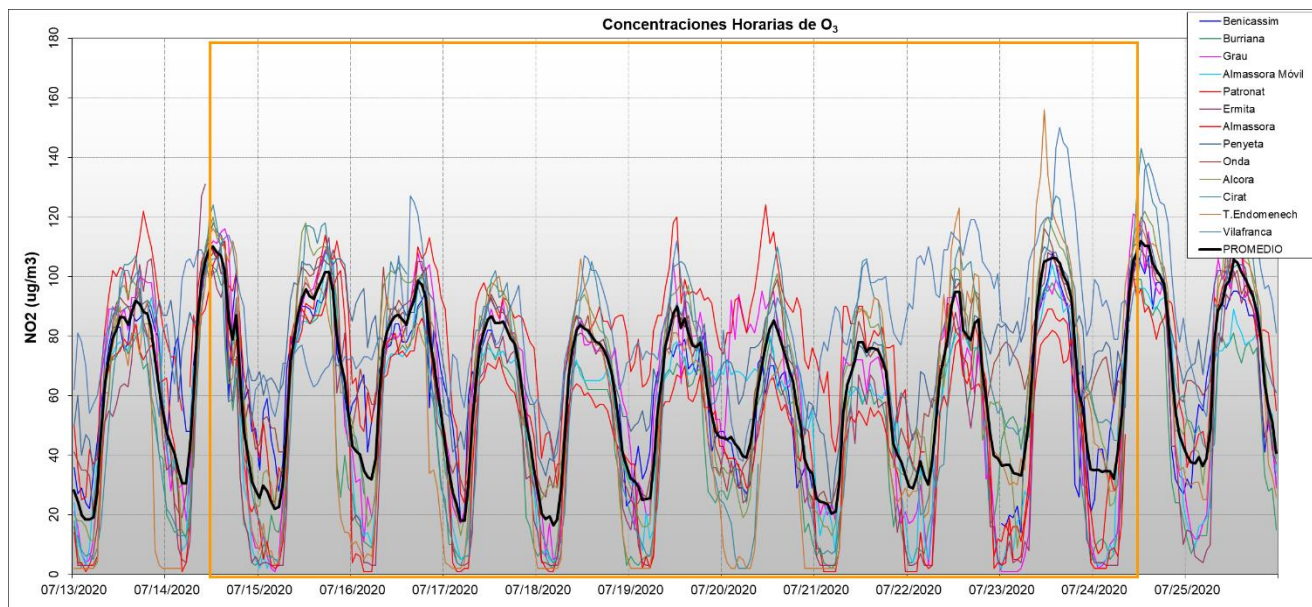


Figura 8.6: Series temporales de los niveles de concentración horaria de O₃ registrados en las distintas estaciones de la RVVCCA durante el periodo de muestreos dosimétricos.

Una primera diferenciación se manifiesta en la amplitud de la onda, con valores que en ocasiones descienden mucho durante la noche, indicando que el punto se encuentra a sotavento de zonas de emisión de contaminantes que consumen el ozono local, frente a estaciones que miden en un aire más limpio que durante el periodo nocturno mantiene valores de ozono más elevados. Este comportamiento en ocasiones aparece fuertemente alterado, como las noches del sábado al

domingo y de este al lunes, en que las cabinas más litorales y urbanas mantienen valores nocturnos especialmente elevados.

La altura del máximo diurno también presenta diferencias, dependiendo de los niveles de contaminación de la masa de aire que alcanza al emplazamiento (horizontal y desde niveles superiores), la producción de ozono a partir de las emisiones nuevas a lo largo del recorrido, más la formación local. Puede apreciarse que muchos de los días se registran varias ondas sucesivas, que responden a la combinación de los procesos anteriores, altamente dependientes de la dinámica atmosférica que está desarrollándose en cada momento.

Puede observarse que los primeros días las estaciones más costeras registran los valores más altos a lo largo de la tarde, tras un incremento sobre los niveles alcanzados durante el día, mientras que las estaciones más interiores presentan concentraciones más sostenidas durante el día, con valores superiores a primera hora que aquellas, pero que tienden a igualarse con los niveles más vespertinos. Parecería que se está produciendo ozono en la masa de aire que desde la costa se traslada hacia el interior, entrando niveles más elevados por la costa a partir de cierto momento, lo que podría suponer el resultado de la recirculación de la masa previamente desplazada tierra adentro.

La potencial disponibilidad de valores elevados de ozono en estratos altos (resultado del transporte directo y/o de recirculaciones locales) explicaría registros máximos a primera hora de la mañana en la costa debido a la mezcla vertical, apareciendo ahora una segunda onda tardía en los emplazamientos más interiores, resultado de la formación de ozono en el proceso de transporte de la masa aérea, y que es lo que parece ocurrir en los últimos días de campaña. Esta dinámica de aparente acumulación local conduciría a las superaciones de las dos cabinas mostradas el día 23 (de las cinco en total que se produjeron dicha jornada en todo el territorio de la Comunitat).

La interpretación con detalle del comportamiento de las concentraciones de ozono en los diferentes emplazamientos tiene pues mucho que ver con las transformaciones fotoquímicas de los compuestos precursores emitidos desde sus focos respectivos (muchos de ellos antropogénicos, pero en buena parte de origen natural, liberados por la vegetación) que se desarrollan en el seno de una masa aérea que se mueve y se mezcla. El predominio de circulaciones locales introduce condicionantes, por las propias peculiaridades de aquellas (alternancia día/noche, recirculaciones en altura, poca renovación, etc.) que modulan fuertemente un registro de los niveles muy variable.

Resultados

Se muestran a continuación los resultados de las medidas dosimétricas registradas en la red de muestreo descrita durante el periodo de exposición de diez días, que se presentan en diferentes formatos gráficos para su mejor interpretación. Los valores numéricos absolutos se consignan en la tabla 8.2 para los tres tipos de compuestos (unidades en $\mu\text{g}/\text{m}^3$), que gráficamente se muestran en la figura 8.7. La tabla siguiente 8.3 presenta los niveles obtenidos en las diferentes estaciones de la red de vigilancia para el mismo intervalo de tiempo (y en la que se incluyen los promedios junto a los máximos horarios y octohorarios de ozono referidos siempre al tiempo de exposición dosimétrica).

Tabla 8.2: Niveles de concentración ambiente de las tres especies muestreadas mediante captadores pasivos para la red de emplazamientos.

NODO	O3	NO ₂	COVs
Cast_01	66	11	21
Cast_02	55	13	14
Cast_03	62	16	24
Cast_04	74	19	19
Cast_05		15	34
Cast_06	78	11	17
Cast_07	60	14	20
Cast_08	69	12	14
Cast_09	73	8	14
Cast_10	79	6	13
Cast_11	79	6	17
Cast_12	70	4	15
Cast_13	77	4	14
Cast_14	65	3	16
Cast_15	56	8	17
Cast_16	61	12	30
Cast_17	63	5	10
Cast_18	71	4	9
Cast_19	81	1	11

Los valores de dióxido de nitrógeno resultan bajos, alejados de las referencias legales, pero en ningún caso despreciables y solo se hacen pequeños en los nodos más alejados de la cuenca. Los picos suelen coincidir con el grado de influencia urbana del emplazamiento, diluyéndose cuenca arriba. Los orgánicos totales muestran niveles moderados, con un par de picos en los entornos más urbanizados (en gran medida procedentes de emisiones del tráfico próximas), que se mantienen más estables a lo largo de las cuencas previsiblemente debido al aumento proporcional de las emisiones biogénicas (figuras 11 y 15). El ozono dosimétrico correlaciona pobremente con los registros de óxidos de nitrógeno y de orgánicos (figuras 8.7, 8.12, 8.13 y 8.14). Según la representación de la figura 8.7, en los tramos sucesivos paralelos a la costa no se aprecia un gradiente sistemático norte-sur, y las diferencias son más bien reflejo de efectos locales que de comportamientos sistemáticos. Los registros a lo largo de las dos cuencas monitorizadas reflejarían un incremento continuado a lo largo de la Rambla de la Viuda, desde las zonas de emisiones, mientras que la cuenca del Mijares situaría un máximo de producción en algún punto entre la plana costera y el emplazamiento final documentado de la cabina de vigilancia de Cirat.

La comparación conjunta de los niveles dosimétricos en cada nodo se muestra en la figura 8.7 siguiente, en la que se separan los nodos por los distintos transectos que definen.

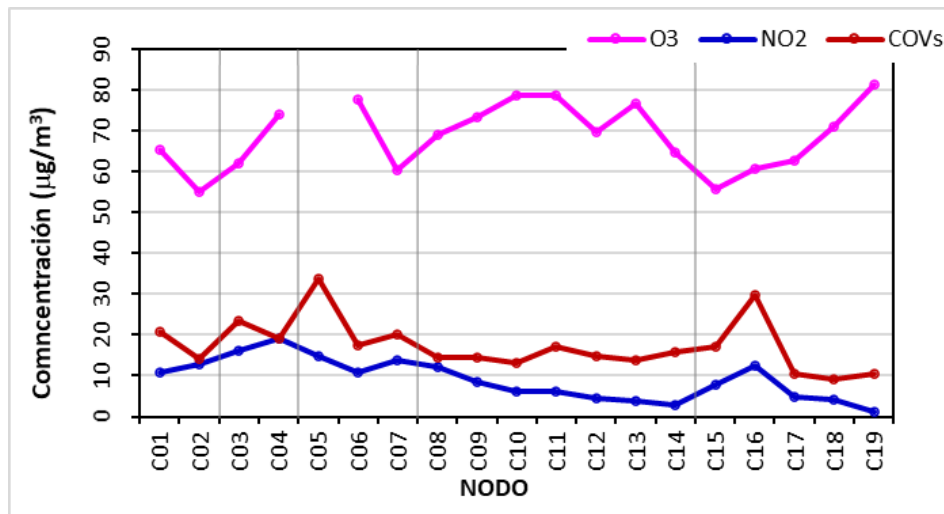


Figura 8.7: Niveles de concentración dosimétrica de las especies muestreadas para los diferentes nodos de la red (se indican con las separaciones verticales aproximadamente los diferentes transectos).

Los valores dosimétricos registrados simultáneamente por las estaciones de medida (tabla 8.3) resultan coherentes con los valores dosimétricos, con las diferencias propias de los diferentes emplazamientos. El máximo de NO₂ corresponde a la cabina de Almassora, con impactos industriales importantes, seguida de Ermita, a la que se une además una fuerte presión de tráfico, con niveles propios de fondo en los puntos más alejados.

Tabla 8.3: Niveles de concentración ambiente de ozono y dióxido de nitrógeno registrados en la red automática RVVCCA en las estaciones próximas a la zona de medidas con pasivos, promediados para el mismo intervalo de tiempo de exposición de aquellos (para el ozono se incluyen los máximos horarios/octohorarios absolutos registrados en el mismo periodo).

CABINA	O ₃			NO ₂ promedio
	promedio	Max Hor	Max Oct	
Benicassim	63	109	101	16
Burriana	47	103	99	8
Grau	59	121	109	10
Almassora Móvil	53	110	104	7
Patronat	73	124	108	12
Ermita	48	120	108	19
Almassora	46	108	105	20
Penyeta	76	118	109	10
Onda	67	116	105	3
Alcora	65	120	112	12
Cirat	60	143	115	4
T.Endomenech	54	156	127	4
Vilafranca	84	150	134	4

Los promedios de ozono son también comparables a los dosimétricos, apreciándose que el valor medio es un estimador muy pobre de los niveles máximos horarios/octohorarios registrados en un

periodo largo, que son los referentes legales. La comparación de los tres parámetros de la tabla 8.3 se representan en la siguiente figura 8.8, en orden creciente de los niveles promedio para las trece cabinas consideradas. No se aprecia una relación lineal y, por ejemplo, las dos superaciones del umbral de protección a la salud registradas se produjeron en puntos con niveles medios medidos durante todo el periodo bien diferentes. La incidencia de las características específicas de cada emplazamiento en la dinámica atmosférica, en relación a la producción fotoquímica, juega por tanto un papel fundamental en los registros medios/máximos a los que se ve sometido.

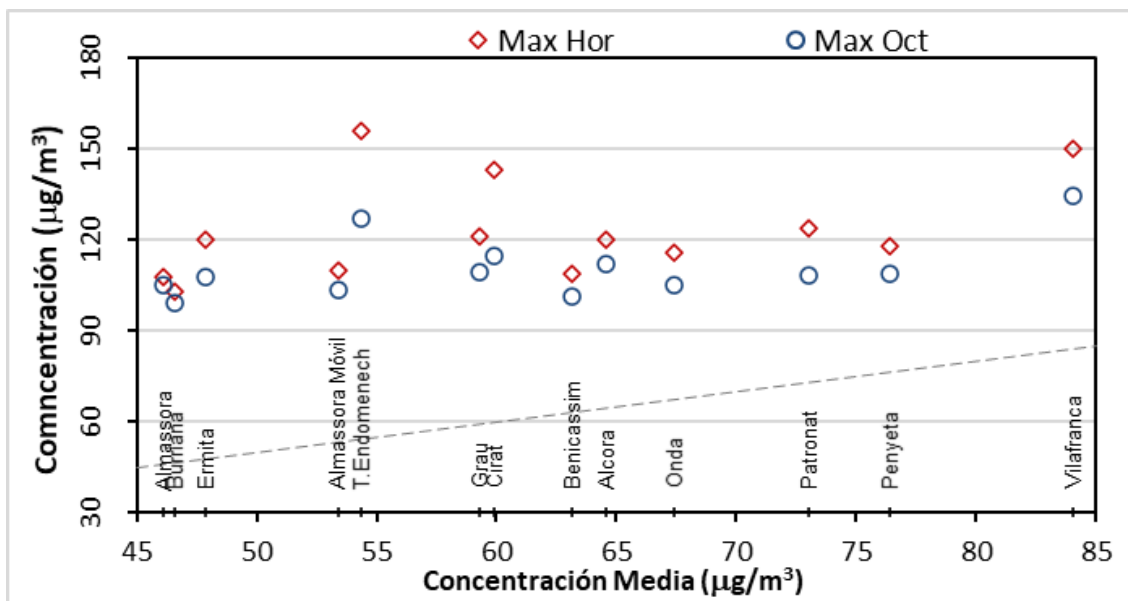


Figura 8.8: Comparación de los niveles medios, máximos horarios y máximos octohorarios durante el periodo de exposición dosimétrica registrados en las estaciones de vigilancia de la RVCCA (tabla 8.3).

Las figuras siguientes, 8.9 a 8.11, muestran la distribución espacial de los tres tipos de mediciones sobre el entorno de la red dosimétrica (se indican también con círculos vacíos, sobre la misma escala, los valores medios simultáneos registrados en las cabinas de la RVCCA). El patrón de ozono no muestra un gradiente espacial definido, como ya se comentó, con valores que previsiblemente varían notablemente en función del entorno próximo, en un compromiso entre los procesos de consumo (en muchos casos nocturno) y la producción local. Este gradiente es claramente apreciable para el NO_2 , donde se destacan claramente los emplazamientos que recogen focos urbanos/industriales próximos, con mínimos a medida que el entorno se aleja hacia el interior. Finalmente los COVs participan de una naturaleza mixta, con previsible emisiones naturales a lo largo de las cuencas por las que la masa aérea transporta tanto las emisiones originales como los productos de su transformación en la cadena fotoquímica.

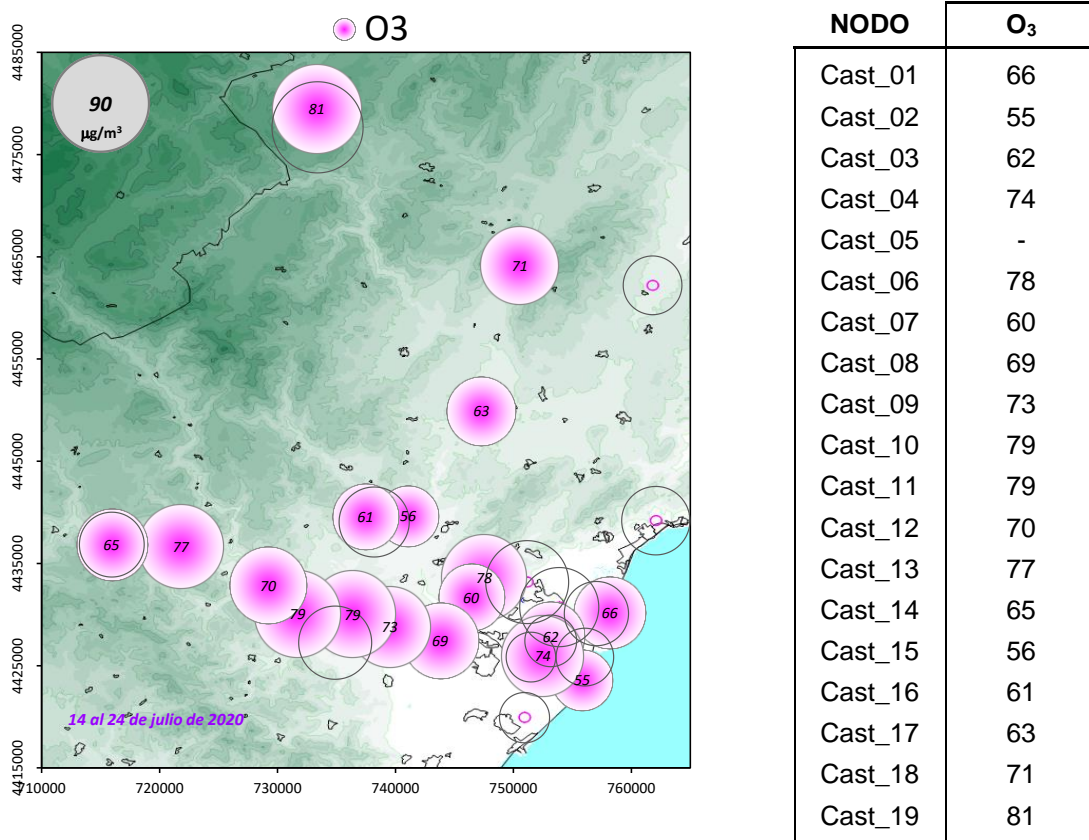


Figura 8.9: Distribución espacial de los niveles dosimétricos de ozono para la red desplegada, junto a los valores de la red automática (representados solo por una circunferencia sobre la misma escala -tabla 8.2-).

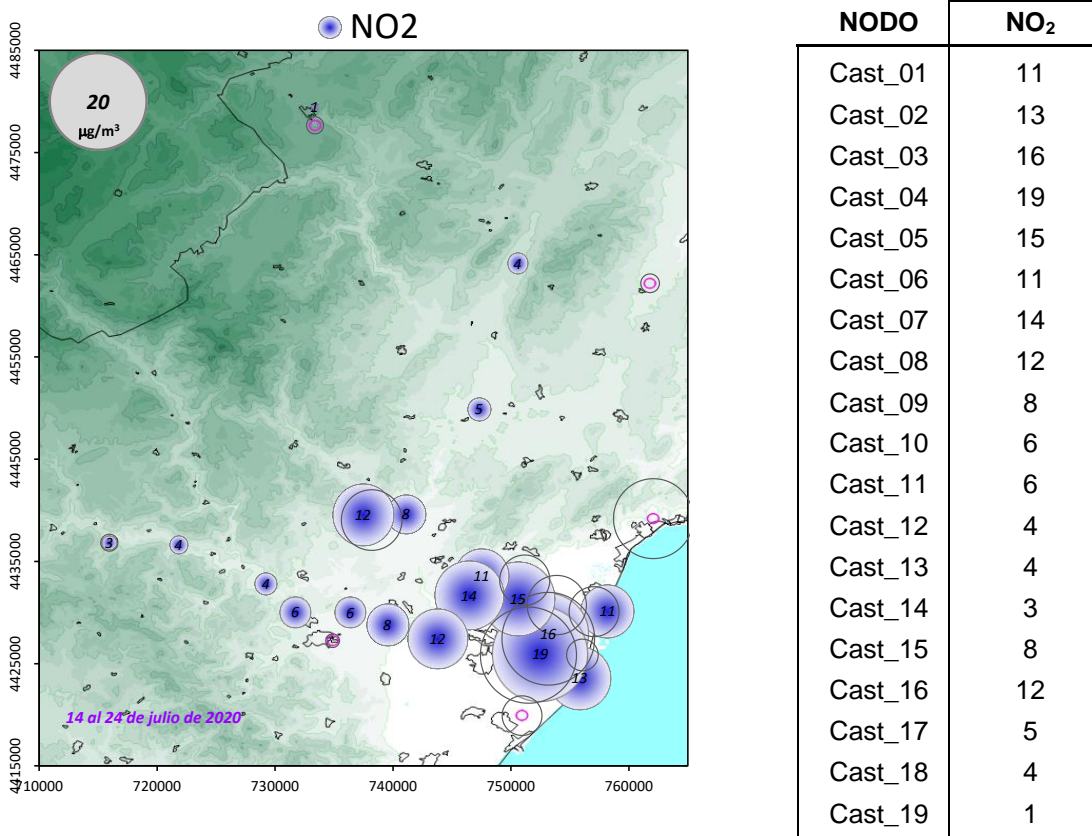


Figura 8.10: Similar a la figura anterior para el caso de las concentraciones de dióxido de nitrógeno.

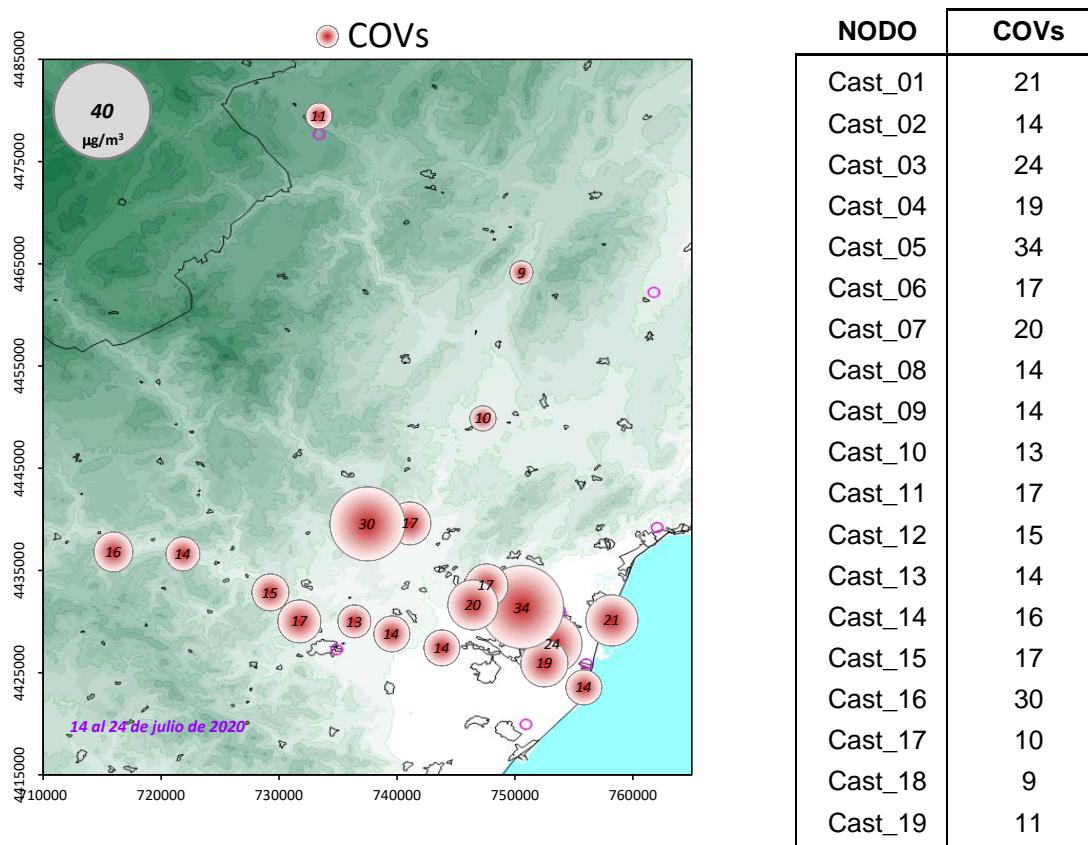


Figura 8.11: Similar a las figuras anteriores para las concentraciones dosimétricas de compuestos orgánicos volátiles totales (concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

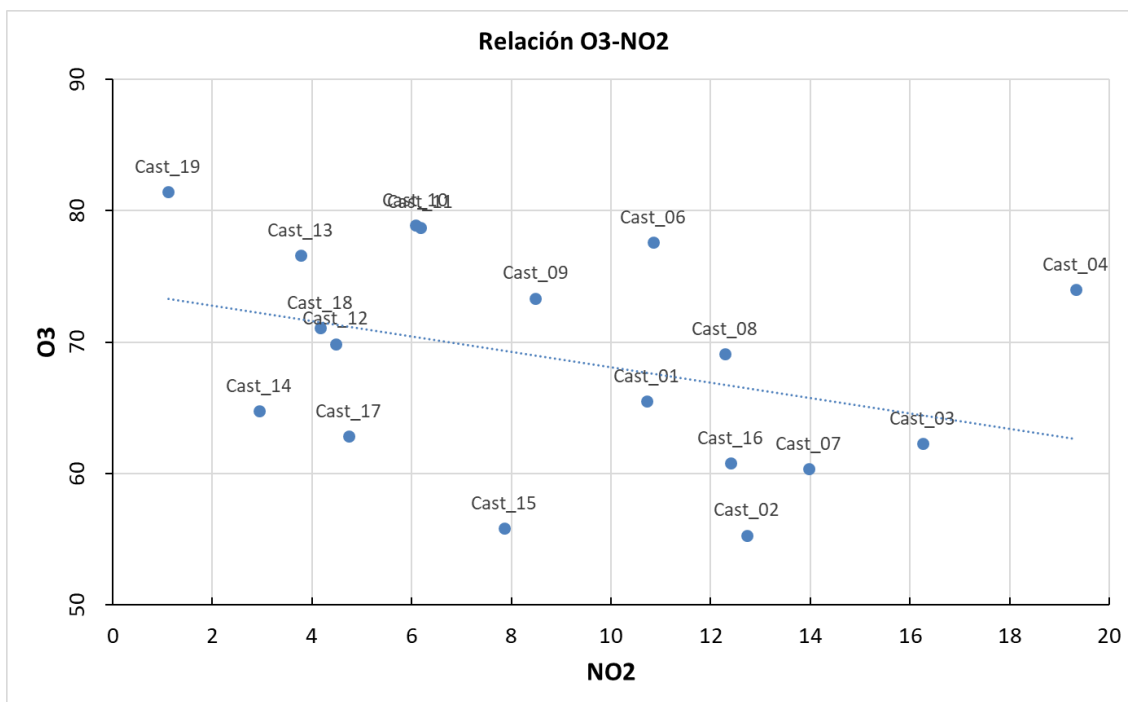


Figura 8.12: Correlación de las medidas de dióxido de nitrógeno y ozono.

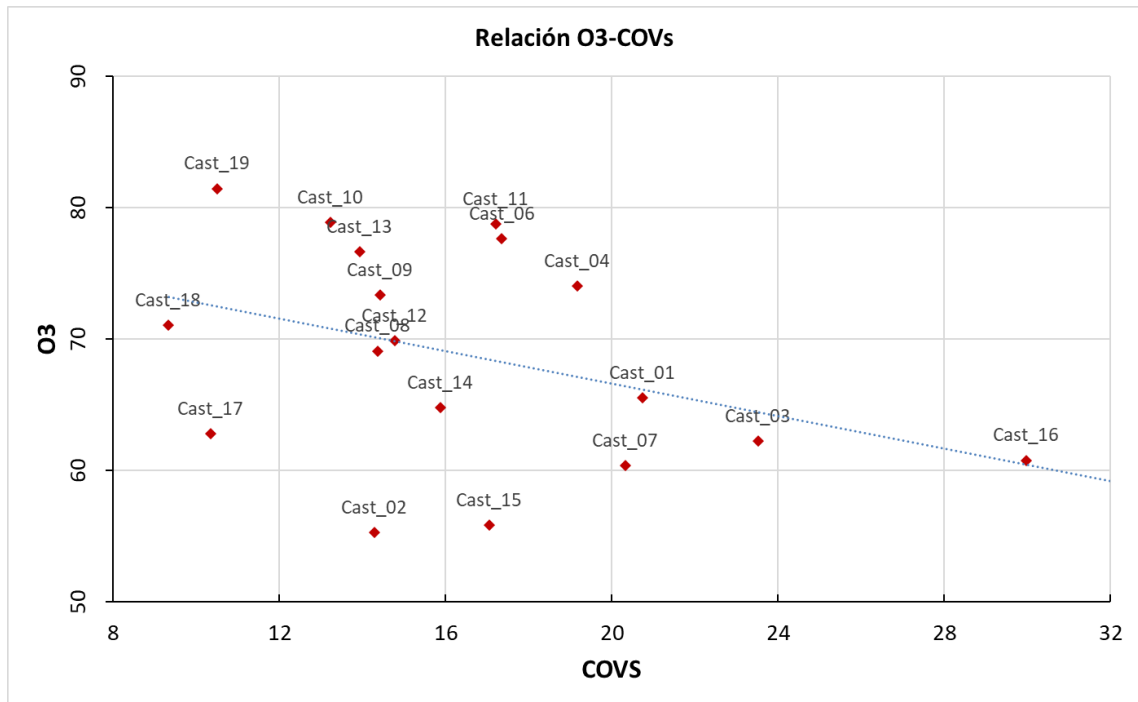


Figura 8.13: Correlación de las medidas de orgánicos volátiles y ozono.

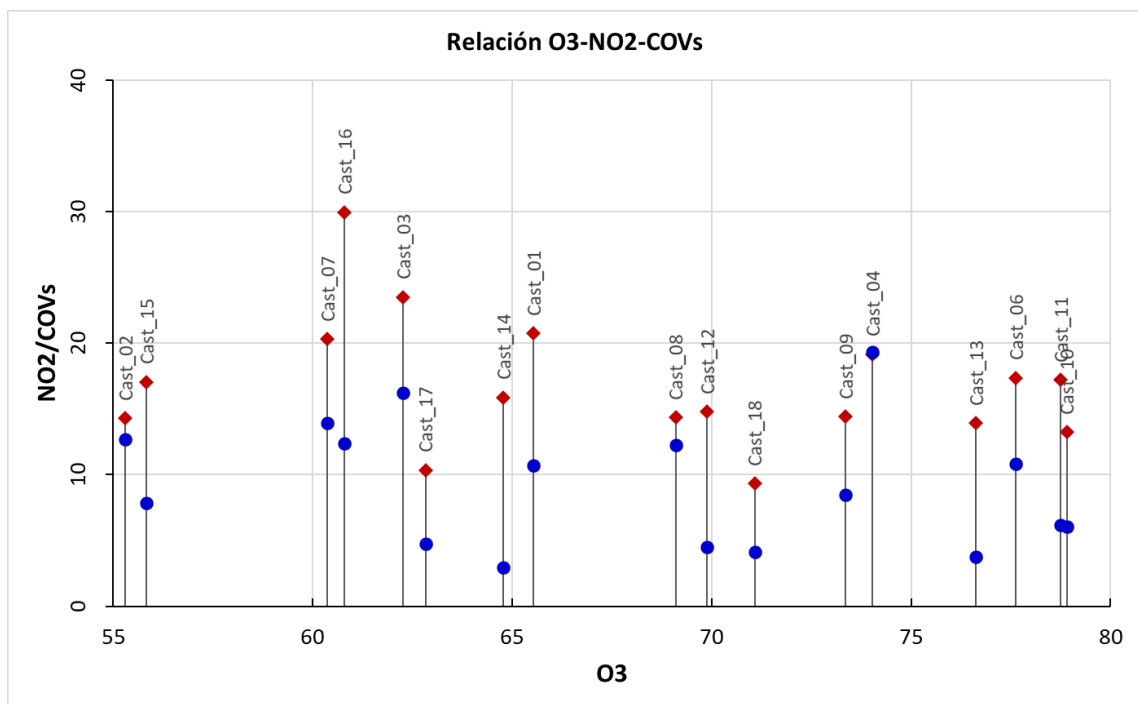


Figura 8.14: Correlación conjunta de las medidas de dióxido de nitrógeno y orgánicos volátiles frente al ozono.

Las medidas dosimétricas de compuestos volátiles orgánicos proporcionan una amplia información sobre la presencia de este tipo de compuestos en el ambiente (tablas 8.4 y 8.5), que juegan un papel fundamental en los procesos fotoquímicos atmosféricos. Las medidas dosimétricas reflejan un estado promedio de esta dinámica, fuertemente variable en el tiempo y en el espacio, por lo que en muchos casos se mezclan los valores de emisiones con los de los productos de reacción, en diferentes estadios de transformación. En las figuras siguientes se presentan los resultados de la especiación de la familia de COVS para aquellos compuestos presentes en mayor proporción, indicándose en cada caso su distribución espacial y la contribución porcentual de la especie al total de los hidrocarburos medidos en cada emplazamiento. El tolueno es el compuesto más abundante en un escenario en el que en general los niveles totales no son excesivamente elevados. Su origen en emisiones industriales y de tráfico asegura una distribución más ubicua en el entorno, aunque las diferencias son notables entre los distintos puntos. Normativamente solo el benceno aparece regulado, pero las concentraciones registradas resultan siempre muy inferiores a las que se establece como referencia de media anual en la normativa.

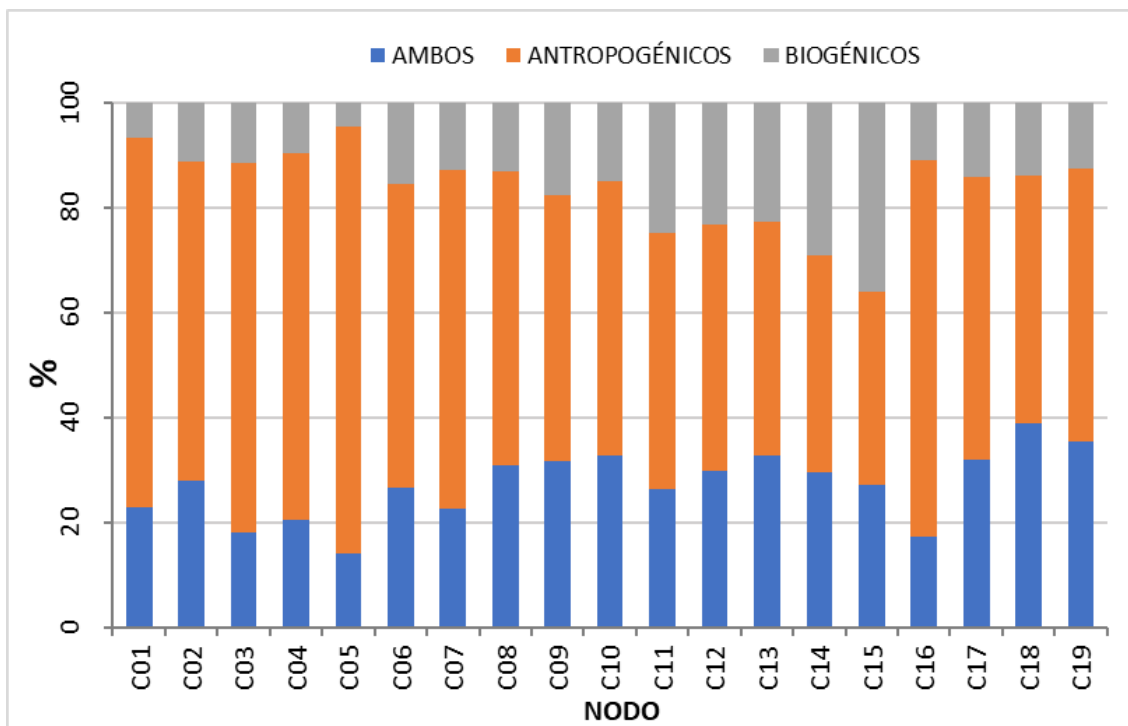


Figura 8.15: Distribución porcentual del origen de los compuestos orgánicos registrados en cada nodo de muestreo.

La figura anterior compila el posible origen de las diferentes especies en función de su origen, antropogénico y/o natural, lo que no siempre es una realidad unívoca, siendo numerosas las especies emitidas en los dos ámbitos. No se aprecia un gradiente espacial, con referencia a los posibles transectos, bien definido, siendo que todos los nodos participan de ambos orígenes. No parece que los más alejados cuenten con mayor proporción de especies naturales, lo que significaría que, aunque los niveles absolutos decrezcan, se ven alcanzados también por una masa aérea en la que se producen las transformaciones fotoquímicas.

Tabla 8.4: Relación de especies de hidrocarburos discriminadas en los análisis dosimétricos ordenadas según la concentración media en los 19 emplazamientos (se adjunta el valor máximo alcanzado en alguno de los nodos); se indica el número de carbonos cuando es posible y su peso molecular, junto a otras características.

Compuesto	Formula Molecular	nº C	Pm	Origen	Estructura	Grupos funcionales	Promedio	Máximo
Tolueno	C7H8	7	92	Antropogénico	Aromático	Hidrocarburo	2.84	21.67
2,2-Dimetilbutano	C6H14	6	86	Antropogénico	Lineal	Hidrocarburo	2.31	8.51
Dodecano	C12H26	12	170	Antropogénico	Lineal	Hidrocarburo	1.40	3.26
Camfeno	C10H16	10	136	Biogénico	Aromático	Hidrocarburo	1.12	4.02
1-Octeno	C8H16	8	112	Antropogénico	Lineal	Hidrocarburo	0.92	2.25
Tetradecano	C14H30	14	198	Antropogénico	Lineal	Hidrocarburo	0.79	1.73
Estireno	C8H8	8	104	Antropogénico	Aromático	Hidrocarburo	0.71	1.48
Desconocido_5	-	-	170	-	-	-	0.68	0.87
Hexametildiclotrisiloxano	C6H18O3Si3	6	222	Antropogénico	Cíclico	Siloxano	0.64	1.36
β-Pineno	C10H16	10	136	Biogénico	Aromático	Hidrocarburo	0.55	1.47
Etilbenceno	C8H10	8	106	Antropogénico	Aromático	Hidrocarburo	0.52	1.36
o-Xileno	C8H10	8	106	Antropogénico	Aromático	Hidrocarburo	0.48	1.17
m-Cimeno	C10H14	10	134	Biogénico	Aromático	Hidrocarburo	0.39	0.75
Sabinaketona	C9H14O	9	138	Biogénico	Aromático	Oxigenado	0.39	0.70
Desconocido_1	-	-	60	-	-	-	0.37	0.62
m,p-Xileno	C8H10	8	106	Antropogénico	Aromático	Hidrocarburo	0.37	0.87
Butilacetato	C6H12O2	6	116	Ambos	Lineal	Oxigenado	0.29	0.71
Nonano	C9H20	9	128	Antropogénico	Lineal	Hidrocarburo	0.24	1.15
Desconocido_4	-	-	92	-	-	-	0.24	0.54
1,2,4-Trimetilbenceno	C9H12	9	120	Antropogénico	Aromático	Hidrocarburo	0.23	1.87
Trimetilbenceno isomero_1	C9H12	9	120	Antropogénico	Aromático	Hidrocarburo	0.18	0.24
a-pineno	C10H16	10	136	Biogénico	Aromático	Hidrocarburo	0.15	0.32
Decano	C10H22	10	142	Antropogénico	Lineal	Hidrocarburo	0.12	0.16
4-Etiltolueno	C9H12	9	120	Antropogénico	Aromático	Hidrocarburo	0.12	0.24
Limoneno	C10H16	10	136	Biogénico	Aromático	Hidrocarburo	0.11	0.28
1,3,5-Trimetilbenceno	C9H12	9	120	Antropogénico	Aromático	Hidrocarburo	0.11	0.26
Benceno	C6H6	6	78	Ambos	Aromático	Hidrocarburo	0.10	0.31
Octano	C8H18	8	114	Antropogénico	Lineal	Hidrocarburo	0.10	0.17
Undecano	C11H24	11	156	Antropogénico	Lineal	Hidrocarburo	0.09	0.23
Valerolactona	C5H8O2	5	100	Biogénico	Lineal	Oxigenado	0.08	0.35
Tetracloroetileno	C2Cl4	2	166	Antropogénico	Lineal	Halogenado	0.08	0.26
Propilbenceno	C9H12	9	120	Antropogénico	Aromático	Hidrocarburo	0.06	0.11
Desconocido_7	-	-	152	-	-	-	0.06	0.12
Acetofenona	C8H8O	8	120	Ambos	Aromático	Oxigenado	0.05	0.09
Octametildiclotetrasiloxano	C8H24O4Si4	8	296	Antropogénico	Cíclico	Siloxano	0.05	0.17
Trimetilbenceno isomero_2	C9H12	9	120	Antropogénico	Aromático	Hidrocarburo	0.05	0.22
Heptano	C7H16	7	100	Antropogénico	Lineal	Hidrocarburo	0.04	0.14
1-Hepteno	C7H14	7	98	Antropogénico	Lineal	Hidrocarburo	0.04	0.12
Desconocido_9	-	-	226	-	-	-	0.04	0.06
Dimetilestireno	C10H10	10	132	Antropogénico	Aromático	Hidrocarburo	0.04	0.08
o-Propiltolueno	C9H10	9	120	¿?	Aromático	Hidrocarburo	0.03	0.06
Metilciclohexano	C7H14	7	98	Antropogénico	Cíclico	Hidrocarburo	0.03	0.08
Desconocido_6	-	-	134	-	-	-	0.03	0.17
m-Propiltolueno	C9H10	9	120	Biogénico	Aromático	Hidrocarburo	0.03	0.04
Indano	C9H10	9	118	Antropogénico	Aromático	Hidrocarburo	0.03	0.06
Desconocido_2	-	-	102	-	-	-	0.02	0.17
Desconocido_8	-	-	176	-	-	-	0.02	0.04
o-Cimeno	C10H16	10	134	Biogénico	Aromático	Hidrocarburo	0.02	0.09
Benzonitrilo	C7H5N	7	103	Antropogénico	Aromático	Nitrogenado	0.02	0.12
Hexano	C6H14	6	86	Antropogénico	Lineal	Hidrocarburo	0.02	0.10
2-Metilpentano	C6H14	6	86	¿?	Lineal	Hidrocarburo	0.01	0.07
Desconocido_3	-	-	120	-	-	-	0.01	0.03
1,2,3-Trifluorobenceno	C6H3Cl3	6	182	Antropogénico	Aromático	Halogenado	0.01	0.02
Hexilalcohol	C6H14O	6	102	Biogénico	Lineal	Oxigenado	0.01	0.02
Ácido propanoico	C3H6O2	3	74	Biogénico	Lineal	Oxigenado	0.00	0.02
Isopreno	C5H8	5	68	Biogénico	Lineal	Hidrocarburo	0.00	0.00
Metilfurano	C5H6O	5	82	Biogénico	Aromático	Hidrocarburo	0.00	0.00
Fenol	C6H5OH	6	94	Ambos	Aromático	Oxigenado	0.00	0.00
n-Propilacetato	C5H10O2	5	102	Antropogénico	Lineal	Oxigenado	0.00	0.00
Feniletino	C8H6	8	102	Antropogénico	Aromático	Hidrocarburo	0.00	0.00
Metoxibenceno	C7H8O	7	108	Antropogénico	Aromático	Oxigenado	0.00	0.00
Benzilalcohol	C7H8O	7	108	Biogénico	Aromático	Oxigenado	0.00	0.00
Ácido Benzoico	C7H6O2	7	122	Ambos	Aromático	Oxigenado	0.00	0.00
1-Metoxi-2-propil acetato	C6H12O3	6	132	Antropogénico	Lineal	Oxigenado	0.00	0.00
Ácido Ftálico	C8H6O4	8	166	Antropogénico	Aromático	Oxigenado	0.00	0.00
Tribromometano	CHBr3	1	352	Antropogénico	Lineal	Halogenado	0.00	0.00

Tabla 8.5: Similar a la tabla anterior para los hidrocarburos oxigenados.

Compuesto	Formula Molecular	nº C	Pm	Origen	Estructura	Grupos funcionales	Promedio	Máximo
Acetone		3	58	Ambos	Lineal	Cetona	0.40	0.71
Formaldehyde		1	30	Ambos	Lineal	Aldehído	0.24	0.42
Acetaldehyde		2	44	Ambos	Lineal	Aldehído	0.20	0.58
Butyraldehyde		4	72	Ambos	Lineal	Aldehído	0.19	0.33
Hexanal		6	100	Ambos	Lineal	Aldehído	0.10	0.14
Acrolein		3	56	Antropogénico	Lineal	Aldehído	0.09	0.09
Glycolaldehyde		2	60	Ambos	Lineal	Aldehído	0.09	0.09
Crotonaldehyde		4	70	Ambos	Lineal	Aldehído	0.09	0.09
3-Buten-2-one/MVK		4	70	Ambos	Lineal	Cetona	0.09	0.09
Methacrolein		4	70	Ambos	Ramificado	Aldehído	0.09	0.09
Isobutanal		4	72	Ambos	Ramificado	Aldehído	0.09	0.09
Methylglyoxal		3	72	Ambos	Ramificado	Aldehído	0.09	0.09
2-Butanone		4	72	Ambos	Lineal	Cetona	0.09	0.09
Hydroxyacetone		3	74	Ambos	Lineal	Cetona	0.09	0.09
4-penten-1-al		5	84	Ambos	Lineal	Aldehído	0.09	0.09
trans-2-pentenal		5	84	Ambos	Lineal	Aldehído	0.09	0.09
2-butenedial		4	84	Ambos	Lineal	Aldehído	0.09	0.09
Valeraldeyde		5	86	Ambos	Lineal	Aldehído	0.09	0.09
Biacetyl/2,3-butanedione		4	86	Ambos	Lineal	Cetona	0.09	0.09
Pivalaldehyde		5	86	Ambos	Ramificado	Aldehído	0.09	0.09
2-Pentanone		5	86	Ambos	Lineal	Cetona	0.09	0.09
Isovaleraldehyde		5	86	Ambos	Ramificado	Aldehído	0.09	0.09
Pyruvic acid		3	88	Ambos	Lineal	Ácido Carboxílico	0.09	0.09
4-oxo-2-pentenal		5	98	Ambos	Lineal	Aldehído	0.09	0.09
Cyclohexanone		6	98	Ambos	Cíclico	Cetona	0.09	0.09
Hexanone		6	100	Ambos	Lineal	Cetona	0.09	0.09
Glutaraldehyde		5	100	Antropogénico	Lineal	Aldehído	0.09	0.09
4-Methyl-2-pentanone		6	100	Ambos	Lineal	Cetona	0.09	0.09
5-hydroxy-2-pentanal		5	102	Ambos	Lineal	Aldehído	0.09	0.09
2,4-hexadiendial		6	110	Ambos	Lineal	Aldehído	0.09	0.09
Heptanone		7	114	Ambos	Lineal	Cetona	0.09	0.09
Heptanal		7	114	Ambos	Lineal	Aldehído	0.09	0.09
2,5-hexadione		6	114	Ambos	Lineal	Cetona	0.09	0.09
Acetophenone		8	120	Ambos	Aromático	Cetona	0.09	0.09
P-Tolualdehyde		8	120	Ambos	Aromático	Aldehído	0.09	0.09
Phenyl acetaldehyde		8	120	Ambos	Aromático	Aldehído	0.09	0.09
o-Tolualdehyde		8	120	Ambos	Aromático	Aldehído	0.09	0.09
m-Tolualdehyde		8	120	Ambos	Aromático	Aldehído	0.09	0.09
3-Hydroxybenzaldehyde		7	122	Ambos	Aromático	Aldehído	0.09	0.09
2-Hydroxybenzaldehyde		7	122	Ambos	Aromático	Aldehído	0.09	0.09
Toluquinone		7	122	Ambos	Aromático	Cetona	0.09	0.09
4-Hydroxybenzaldehyde		7	122	Ambos	Aromático	Aldehído	0.09	0.09
Octanone		8	128	Ambos	Lineal	Cetona	0.09	0.09
Octanal		8	128	Ambos	Lineal	Aldehído	0.09	0.09
3,5-Dimethylbenzaldehyde		9	134	Ambos	Aromático	Aldehído	0.09	0.09
2,6-Dimethylbenzaldehyde		9	134	Ambos	Aromático	Aldehído	0.09	0.09
2,5-Dimethylbenzaldehyde		9	134	Ambos	Aromático	Aldehído	0.09	0.09
3,4-Dimethylbenzaldehyde		9	134	Ambos	Aromático	Aldehído	0.09	0.09
Nopinone		9	138	Biogénico	Terpenoide	Cetona	0.09	0.09
Nonanone		9	142	Ambos	Lineal	Cetona	0.09	0.09
Nonanal		9	142	Ambos	Lineal	Aldehído	0.09	0.09
Pinonaldehyde		10	168	Biogénico	Terpenoide	Aldehído+Cetona	0.09	0.09
Endolim		10	168	Biogénico	Terpenoide	Aldehído+Cetona	0.09	0.09
Caronaldehyde		10	168	Biogénico	Terpenoide	Aldehído+Cetona	0.09	0.09
Pinonic acid		10	184	Biogénico	Terpenoide	Ácido Carboxílico	0.09	0.09
2,3-Pentanedione		5	100	Ambos	Lineal	Cetona	0.09	0.09
Glyoxal		2	58	Ambos	Lineal	Aldehído	0.09	0.09
Benzoquinone		6	108	Ambos	Aromático	Cetona	0.08	0.09
Propionaldehyde		3	58	Ambos	Lineal	Aldehído	0.08	0.09
Benzaldehyde		7	106	Ambos	Aromático	Aldehído	0.08	0.09

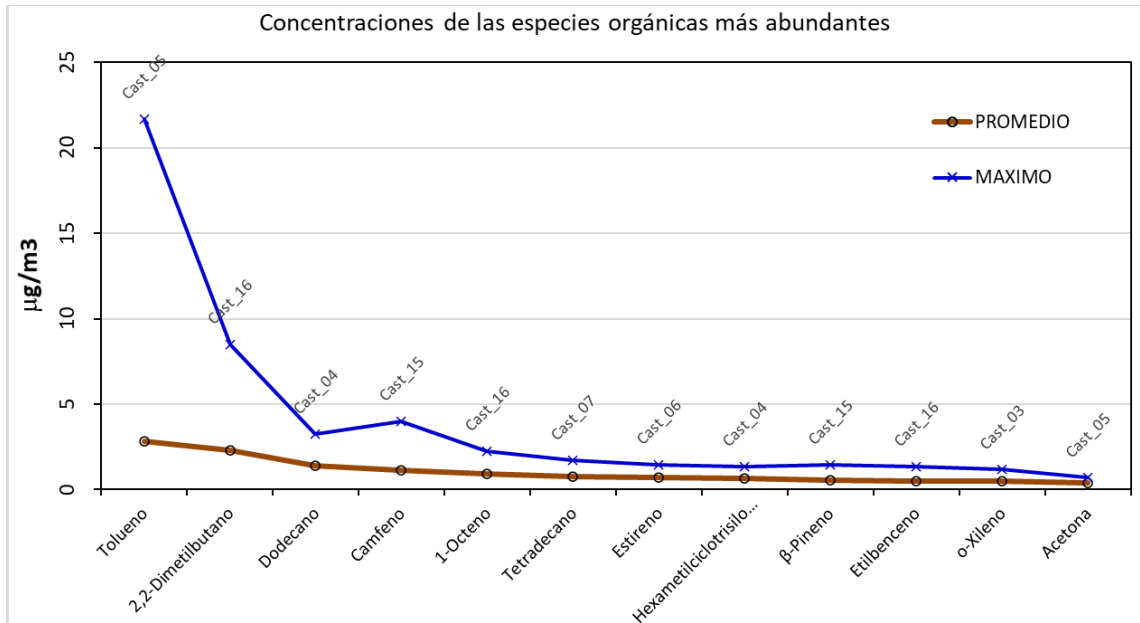


Figura 8.16: Relación de las doce especies de compuestos orgánicos volátiles más abundantes obtenidas en las medidas, ordenadas por su valor medio en toda la red, junto a la concentración puntual máxima en el nodo correspondiente.

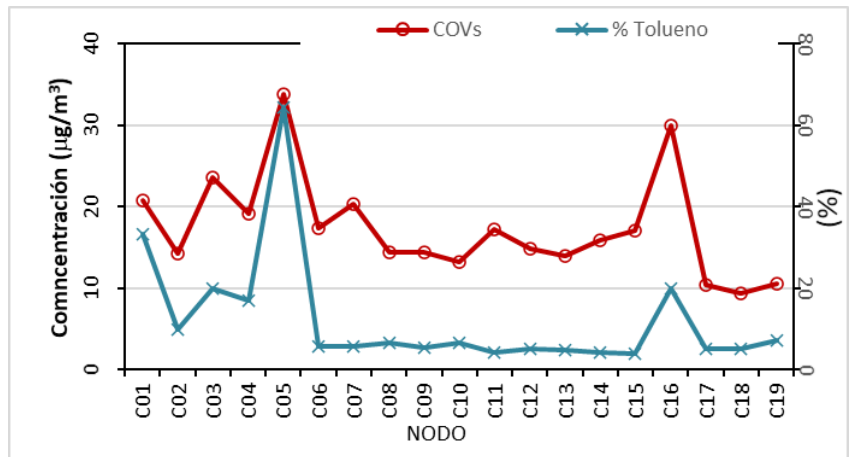
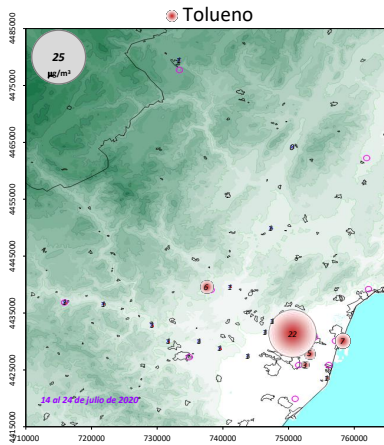


Figura 8.17: Distribución espacial del tolueno y su contribución porcentual a los niveles de COVs para cada emplazamiento.

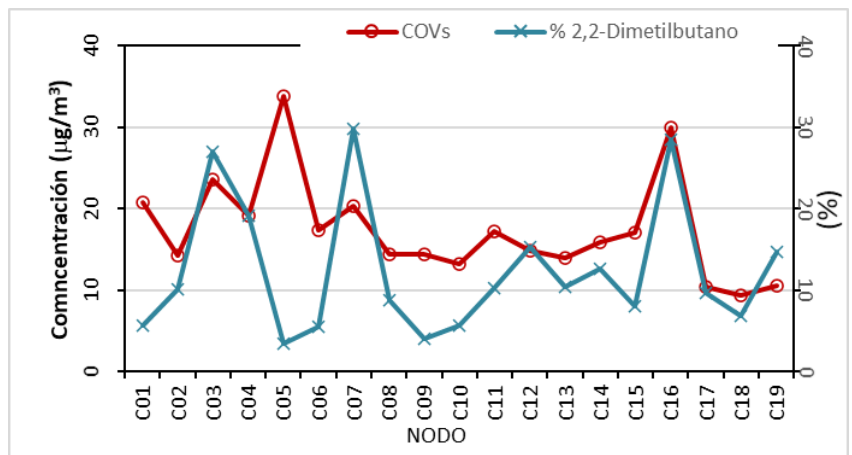
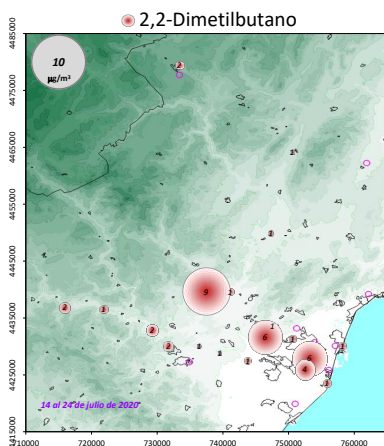


Figura 8.18: Distribución espacial del 2,2-dimetilbutano y su contribución porcentual a los niveles de COVs para cada emplazamiento.

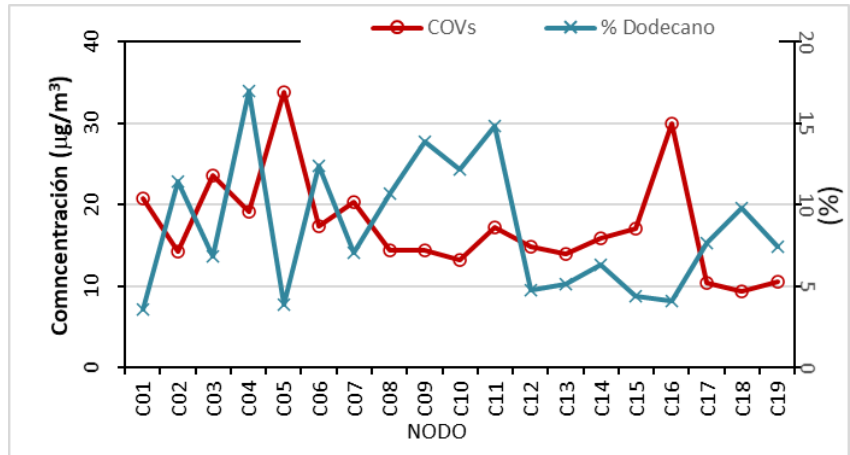
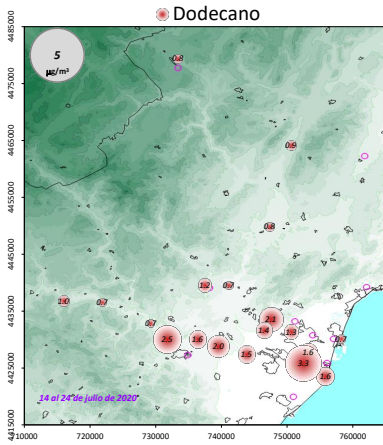


Figura 8.19: Distribución espacial del dodecane y su contribución porcentual a los niveles de COVs para cada emplazamiento.

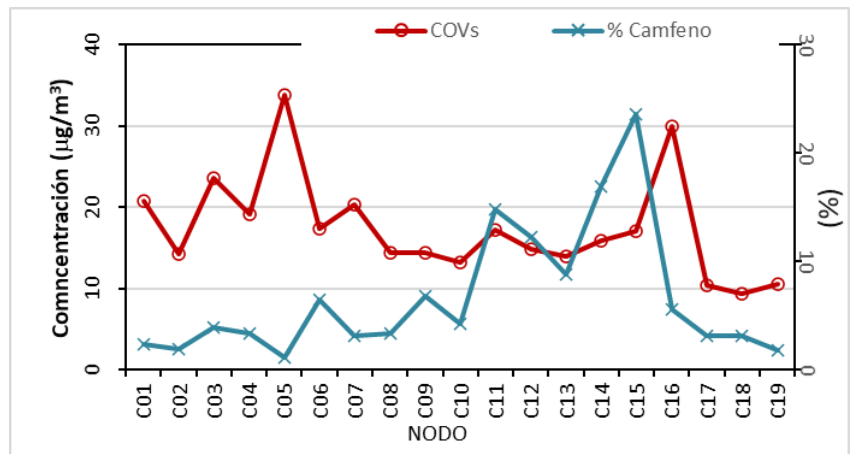
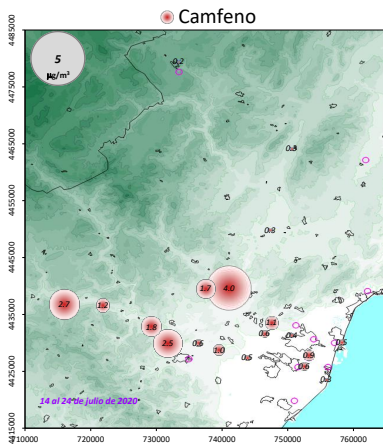


Figura 8.20: Distribución espacial del camfeno y su contribución porcentual a los niveles de COVs para cada emplazamiento.

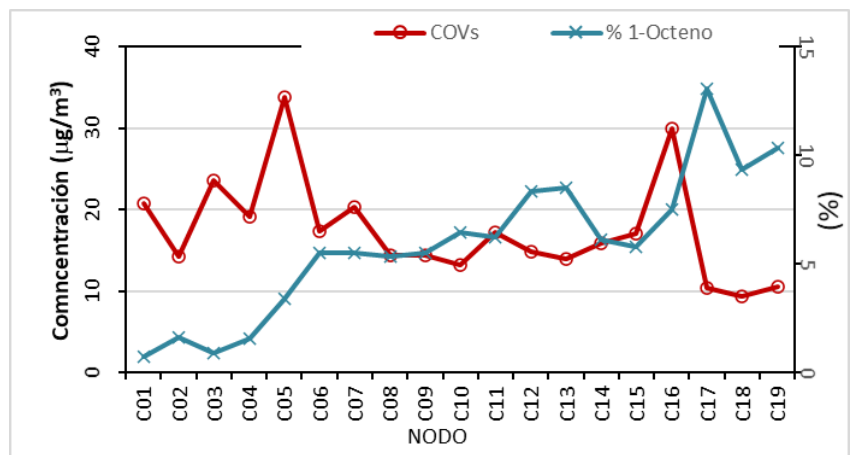
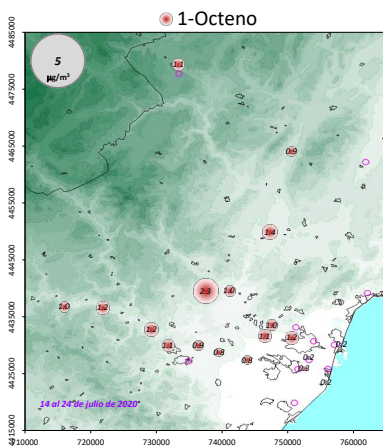


Figura 8.21: Distribución espacial del octeno y su contribución porcentual a los niveles de COVs para cada emplazamiento.

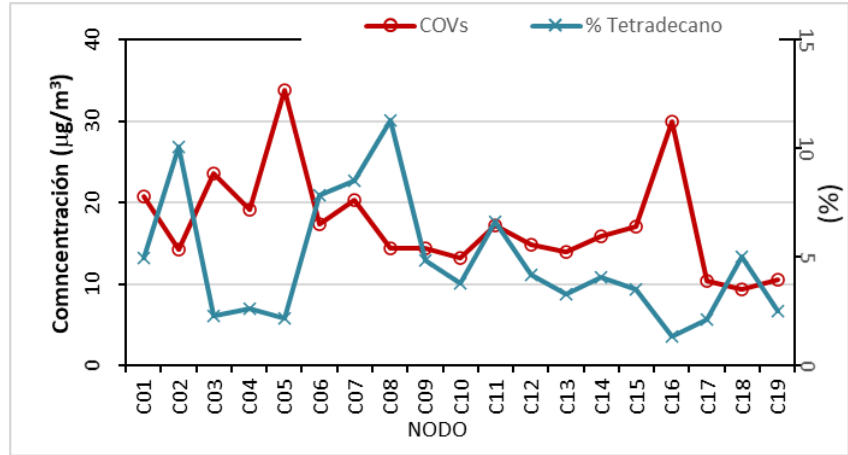
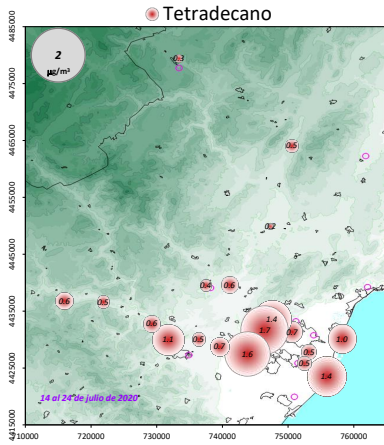


Figura 8.22: Distribución espacial del tetradecano y su contribución porcentual a los niveles de COVs para cada emplazamiento.

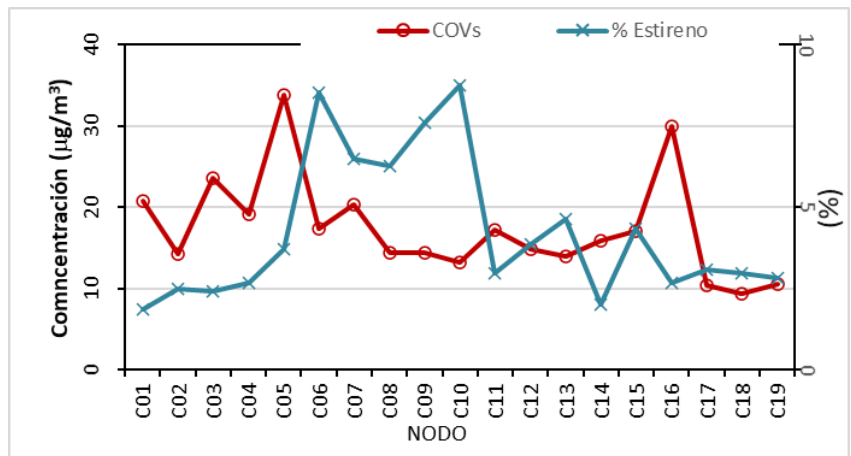
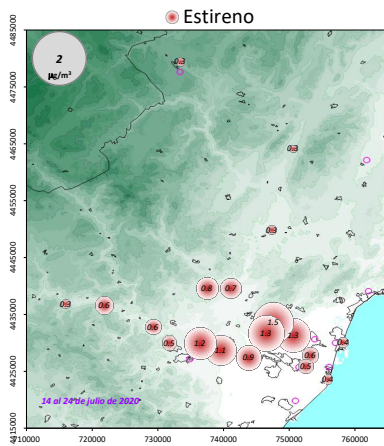


Figura 8.23: Distribución espacial del estireno y su contribución porcentual a los niveles de COVs para cada emplazamiento.

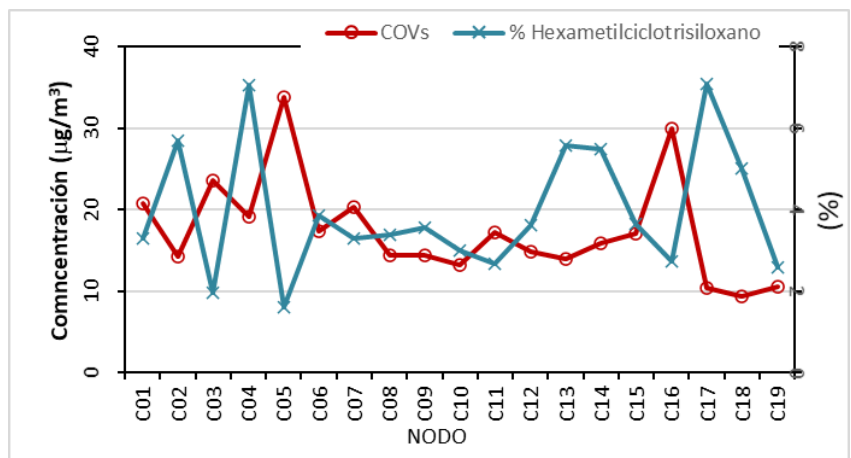
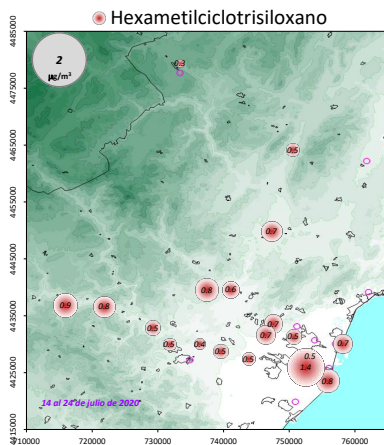


Figura 8.24: Distribución espacial del hexametilciclotrisiloxano y su contribución porcentual a los niveles de COVs para cada emplazamiento.

PARTE B:

Impacto del confinamiento en las concentraciones de contaminantes en la C.V.

El decreto del estado de alarma el 15 de Marzo de 2020, y las consiguientes medidas de confinamiento para combatir la pandemia del COVID-19, supusieron, entre otras cosas, una reducción drástica y prolongada de las emisiones de contaminantes a la atmósfera en muchos sectores de la actividad industrial y humana, a causa de las severas restricciones impuestas a la movilidad, y en particular al tráfico rodado. Desde el punto de vista de la calidad del aire esta reducción, sin precedentes tanto por su magnitud como por su duración, ofrece una oportunidad única para el estudio de las consecuencias sobre las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente a todas las escalas geográficas, desde la local y regional a la global, puesto que la reducción de emisiones, aunque con distinta intensidad, ha ocurrido en numerosos países del mundo.

Este informe analiza la situación en la Comunitat Valenciana a partir de las series de datos de contaminantes registrados por la **Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica** (R.V.V.C.C.A.) durante el periodo de confinamiento. En particular, se examina con detalle el comportamiento de las concentraciones entre el 15 de marzo y el 15 de mayo, periodo de 62 días en el que se mantuvieron las restricciones más estrictas y de manera homogénea a nivel estatal. Entre otros análisis se comparan los registros de las concentraciones de contaminantes con las del mismo periodo promediado para los años 2015-2019, en base a los cuales se ha establecido el “año promedio de referencia”. Este año de referencia es representativo de los niveles de contaminantes en condiciones normales (sin las restricciones a la movilidad), incorporando la variabilidad propia inherente a los cambiantes escenarios ambientales, y al limitarse al periodo de los 5 años anteriores no está afectado por las variaciones y tendencias resultantes de los últimos años de la crisis iniciada en 2008 y posterior recuperación de la actividad.

El análisis se centra en los contaminantes de referencia, para cuyas concentraciones se establecen valores límite/objetivo en la legislación²: SO₂, CO, NO₂, NO_x, PM_{2.5}, PM₁₀ y O₃, que se miden en continuo por métodos automáticos, y para los que, con algunas diferencias, la R.V.V.C.C.A tiene una buena cobertura espacial en todo el territorio de la CV. Otros contaminantes también contemplados en la normativa como benceno, plomo, arsénico, cadmio, níquel, y mercurio, no se incluyen en este análisis, bien porque su vigilancia se limita a unos pocos puntos muy concretos (caso del benceno), o porque no se obtienen por equipos automáticos, sino que requieren un muestreo “manual” y posterior análisis en laboratorio, que retrasa la disponibilidad de los resultados (caso de los metales). Por otra parte, este segundo grupo presenta niveles sistemáticamente bajos, inferiores a los umbrales de evaluación, y por esta razón la normativa establece para ellos la necesidad únicamente de medidas indicativas, con una exigencia en la cobertura temporal, en torno al 14% de los días del año, mucho menor que en el primer grupo.

Dado su interés en la documentación del efecto de la restricción de la movilidad sobre los niveles de contaminación ambiente, se incluye un anexo con los resultados de un muestreo extraordinario de las concentraciones de dióxido de nitrógeno en la ciudad de Valencia, efectuado al final del periodo de confinamiento considerado en el presente análisis, y que se encuadra en un programa sistemático de medidas de la contaminación urbana de la ciudad mediante dosimetría pasiva.

² R.D. 102/2011 relativo a la mejora de la calidad del aire.

9. Comportamiento de las concentraciones de contaminantes en la Comunitat Valenciana durante el periodo de confinamiento.

Como primera aproximación a la evaluación del efecto sobre la calidad del aire en la C.V. de las restricciones aplicadas en el periodo 15/marzo - 15/mayo, la tabla 9.1 recoge las diferencias para el conjunto de contaminantes analizados, expresadas en (%), de los promedios para este periodo del 2020 respecto al mismo periodo en el año de referencia. En cada caso los porcentajes van precedidos por los valores de concentración promedio para el periodo de estudio en el año de referencia. La primera columna recoge las variaciones para el conjunto de la red, y las siguientes para tres grupos de estaciones clasificadas por el tipo de entorno (urbano, suburbano y rural). Los cálculos se han obtenido a partir de los datos de todas las estaciones de la red operativas en 2020 y con una cobertura mínima de tres años en el intervalo 2015-2019.

Tabla 9.1: Concentraciones promediadas en la RVVCCA, totales y por tipo de entorno, para el periodo 15/3-15/5 el año de referencia (2015-2019) y variación en el mismo periodo de 2020.

	RVVCCA	RURALES	SUBURBAN	URBANAS
SO₂ (µg/m ³)	3.8 (-8%)	3.4 (-2%)	3.5 (-3%)	4.2 (-15%)
CO (mg/m ³)	0.1 (-14%)	0.1 (-18%)	0.1 (-10%)	0.1 (-16%)
NO₂ (µg/m ³)	14.3 (-59%)	6.0 (-45%)	12.7 (-55%)	20.8 (-64%)
NO_x (µg/m ³)	20.4 (-55%)	9.2 (-39%)	17.5 (-51%)	29.9 (-61%)
PM₁₀ (µg/m ³)	14.1 (-24%)	10.5 (-6%)	11.7 (+2%)	20.0 (-54%)
PM_{2.5} (µg/m ³)	8.4 (-6%)	6.9 (+1%)	8.0 (+15%)	9.9 (-36%)
O₃ (µg/m ³)	73.9 (-11%)	80.6 (-16%)	73.1 (-13%)	69.4 (-3%)

La tabla 9.2 recoge las variaciones porcentuales de los mismos contaminantes en 6 áreas geográficas consistentes en las franjas costera e interior de cada una de las tres provincias. Dada la estructura geográfica de la Comunitat Valenciana, con una disposición longitudinal en la que una amplia franja costera concentra gran parte de la actividad humana y un interior montañoso a sotavento de las emisiones litorales, la distinción por zonas geográficas refleja bien el efecto de este ordenamiento.

Tabla 9.2: Mismos cálculos que tabla 1 por áreas geográficas (costa e interior de las tres provincias).

	CAST-INT	CAST-COS	VAL-INT	VAL-COS	ALI-INT	ALI-COS
SO₂	0%	-24%	+7%	-4%	-1%	+1%
CO	-11%	-16%	-12%	-12%	-10%	-14%
NO₂	-53%	-49%	-42%	-64%	-46%	-67%
NO_x	-42%	-45%	-41%	-61%	-48%	-66%
PM₁₀	-21%	-21%	+17%	-40%	-4%	+27%
PM_{2.5}	-4%	-1%	+25%	-16%	+14%	+9%
O₃	-14%	-12%	-15%	-10%	-16%	-2%

Los resultados generales muestran un descenso generalizado en las concentraciones promedio para el periodo de confinamiento en la mayor parte del territorio de la C.V. y en todo tipo de entorno, con la excepción de SO₂ y PMs en Valencia-Interior y Alicante-Costa. Los descensos más importantes afectan a los NO_x, especialmente en áreas urbanas (-60%) y suburbanas (-50%), donde se produce la mayor parte de estas emisiones, con el tráfico rodado como fuente principal. Del mismo orden es

la reducción de PM10 en entornos urbanos (-54%). Sin embargo, las partículas, en sus dos fracciones PM10 y PM2.5, muestran un comportamiento desigual en ambas clasificaciones que responde, entre otras razones, a la variedad de fuentes (tráfico, industria, resuspensión del suelo, intrusiones de polvo sahariano, etc.), y la mayor incertidumbre de los equipos automáticos de medida. A ello también podría influir el efecto del posible sesgo derivado de la menor cobertura espacial de estos equipos automáticos³, que da lugar a algunos agrupamientos con un escaso número de puntos y un mayor peso de emplazamientos que tuvieron un comportamiento “anómalo” en el periodo de estudio (caso de Villar del Arzobispo, Buñol-Cemex y Rabassa).

En el caso del SO₂, y lo mismo puede decirse del CO, se trata de pequeñas variaciones sobre concentraciones ya muy bajas de partida (muchas de las estaciones de la red registran habitualmente valores próximos al límite de detección de estos monitores, 1 µg/m³ para el SO₂ y 0.1 mg/m³ para el CO, la mayor parte del año). Solo en Castellón-Costa el descenso en SO₂ es significativo (-24%), y está probablemente relacionado con la parada de la producción del sector cerámico durante varios días a principios de abril.

Por su parte, el ozono muestra una leve caída en entornos urbanos (-3%), y un descenso algo mayor en entornos suburbanos y rurales (-13% y -16% respectivamente). Estas cifras, muy inferiores a las de los NO_x, se explican por la propia naturaleza del ozono, contaminante secundario cuya formación, de origen fotoquímico, sigue una química no-lineal (la reducción de precursores no implica necesariamente la reducción de la concentración de ozono⁴, y en todo caso no necesariamente proporcional), y cuyos niveles son la suma de componentes tanto de origen local como “externo”, incluyendo un aporte de fondo regional-mediterráneo, todas ellas también muy dependientes de las condiciones meteorológicas dominantes.

En los apartados 11 y 12 se analizan con mayor detalle los gradientes espaciales de estas variaciones, y la evolución temporal de las concentraciones en comparación con el año promedio de referencia.

³ En parte del territorio los niveles de PMs se miden por un método semiautomático, mediante muestreos de 24h que se analizan posteriormente en laboratorio (en estos análisis se obtienen también las medidas de las concentraciones de los metales pesados). Estos datos no se han utilizado en este estudio.

⁴ En entornos urbanos está bien documentado el incremento de ozono los fines de semana, debido al descenso de las emisiones de NO_x (“efecto fin de semana”).

10. Variaciones espaciales de las concentraciones en el periodo de confinamiento.

Este apartado recoge, sobre mapas de la CV, la distribución espacial de las variaciones en las concentraciones que aparecen de forma agregada en las tablas 9.1 y 9.2 del apartado anterior. Las figuras 10.1(a)-(d) muestran, para cada contaminante y estación de la red, los valores absolutos de las diferencias y los valores relativos respecto al valor del año medio de referencia. El tamaño de los círculos es proporcional a la variación (ver la referencia de la escala). Los puntos en azul corresponden a reducciones y en rojo a incrementos.

En ambas representaciones, aparte de las estaciones que no miden el contaminante representado, se han omitido aquellas estaciones cuyas diferencias absolutas son inferiores a $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y aquellas con una cobertura inferior a 3 años en el periodo de referencia (la única excepción es Torrevieja para PM10 y PM2.5, donde se iniciaron las mediciones en continuo en noviembre de 2018, y que, aunque pueda proporcionar resultados menos representativos, se incluyen para compensar la escasa disponibilidad de datos de este contaminante en la provincia de Alicante, y por resultar coherentes con los resultados generales para emplazamientos urbanos).

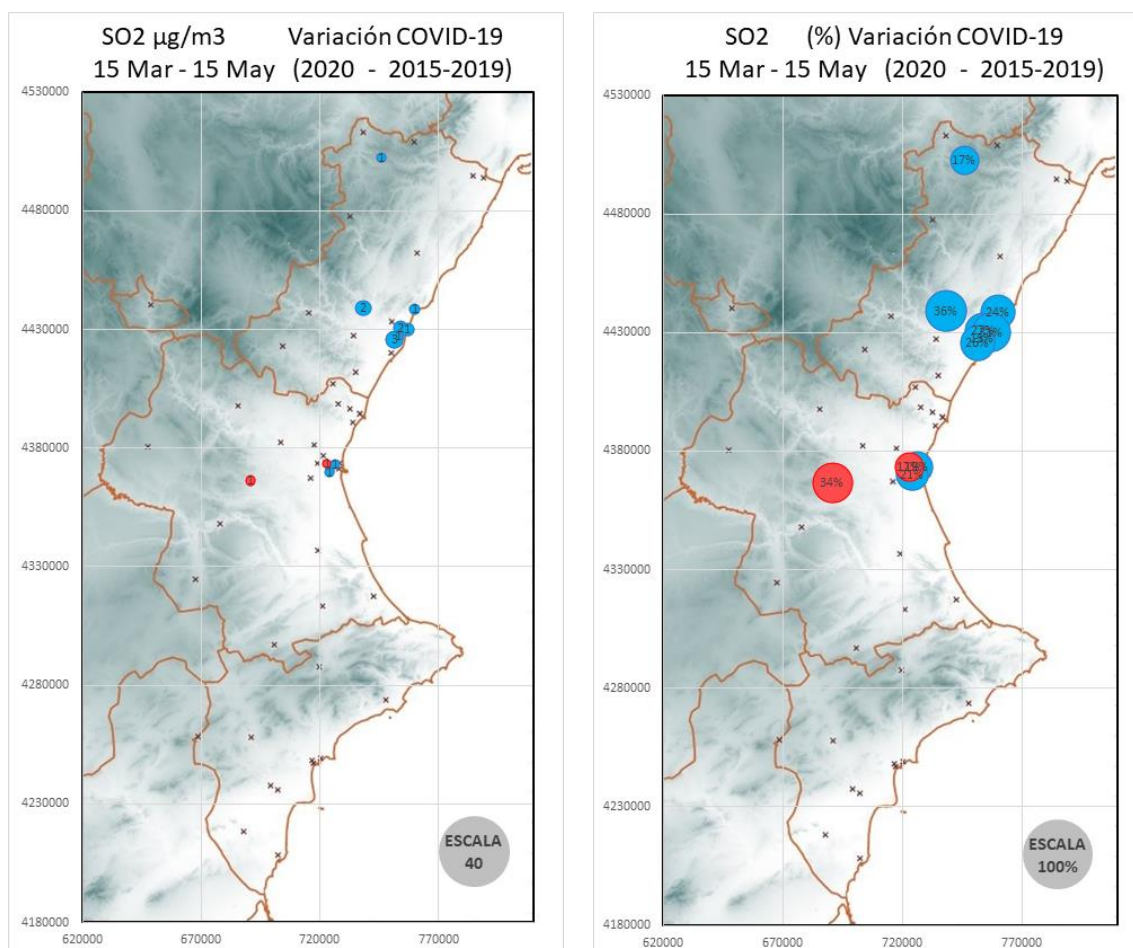


Figura 10.1(a): Variaciones absolutas (izda) y relativas (dcha) de SO₂ entre el año 2000 y el año promedio de referencia para el periodo de confinamiento. En azul se representan reducciones y en rojo incrementos.

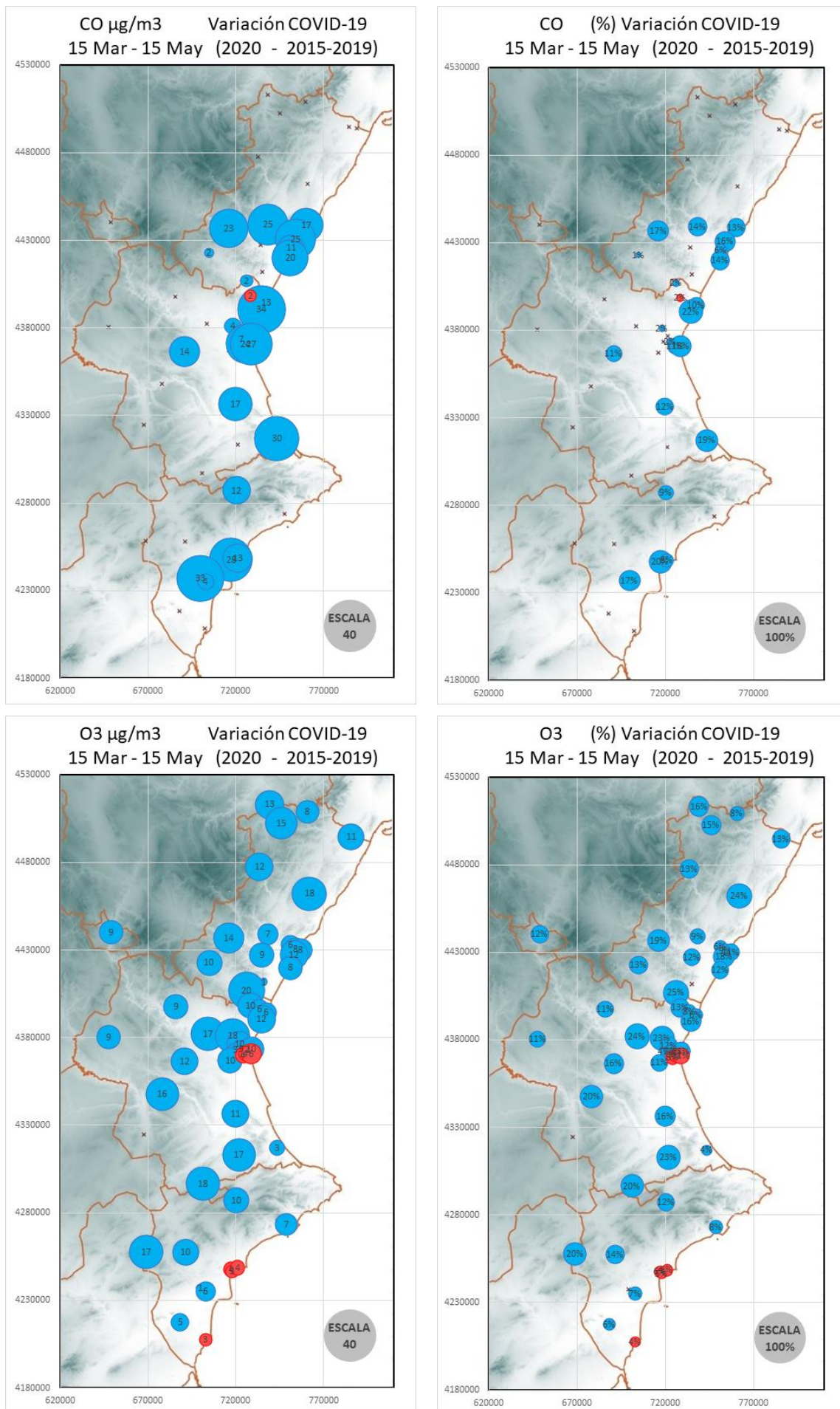


Figura 10.1(b): Variaciones absolutas (izda) y relativas (dcha) de CO y O₃ entre el año 2020 y el año promedio de referencia para el periodo de confinamiento. En azul se representan reducciones y en rojo incrementos.

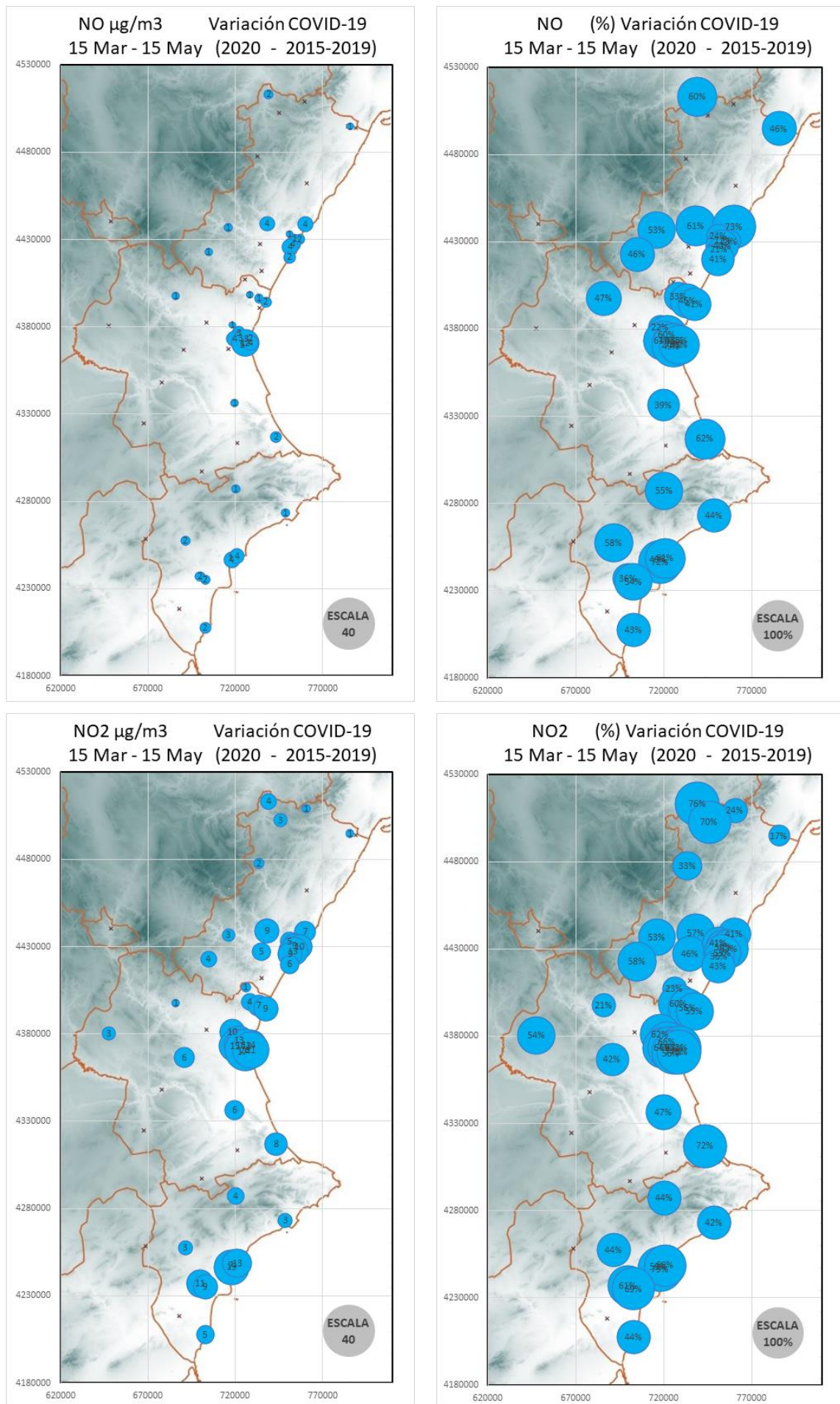


Figura 10.1(c): Variaciones absolutas (izda) y relativas (dcha) de NO y NO₂ entre el año 2000 y el año promedio de referencia para el periodo de confinamiento. En azul se representan reducciones y en rojo incrementos.

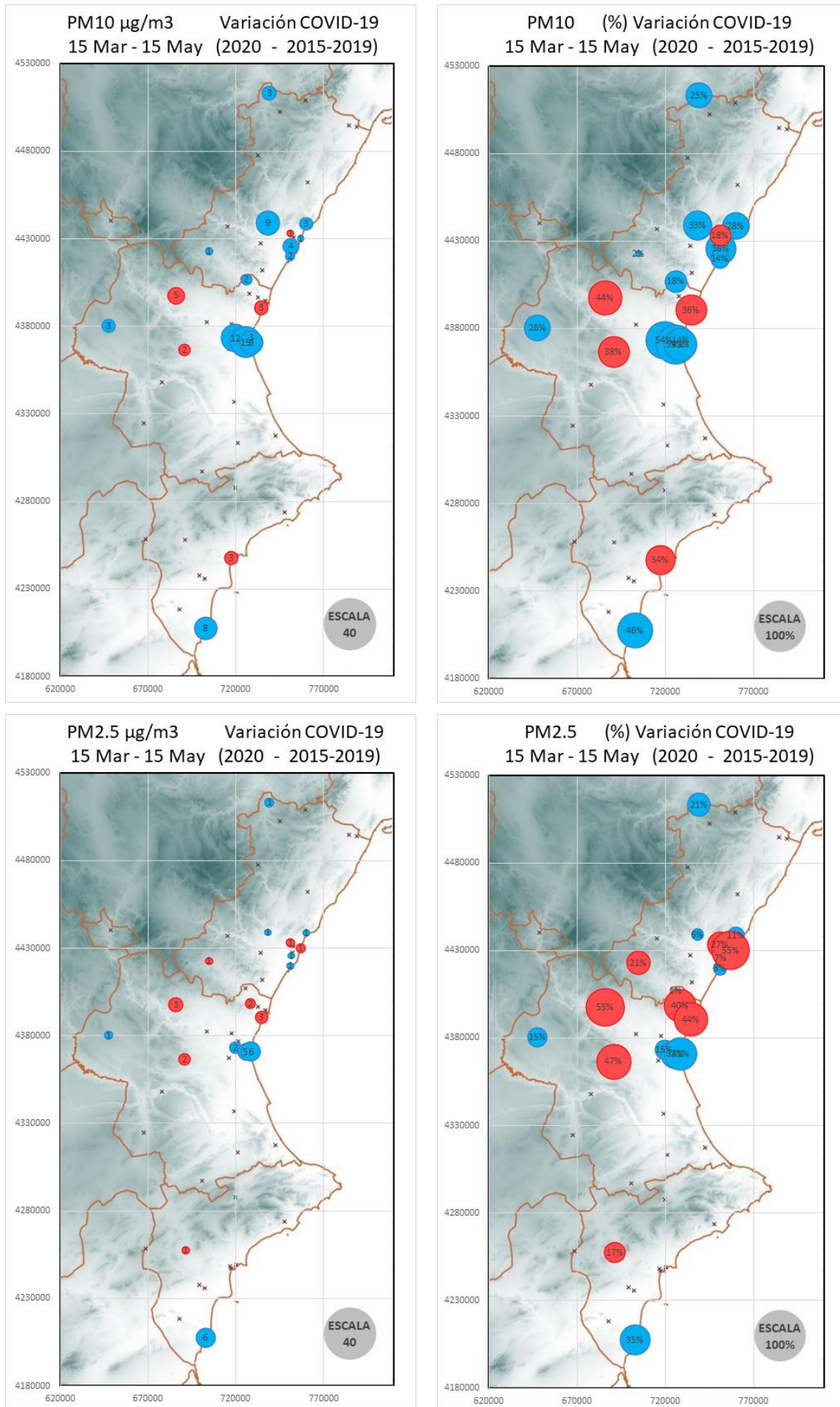


Figura 10.1(d): Variaciones absolutas (izda) y relativas (dcha) de PM10 y PM2.5 entre el año 2000 y el año de referencia para el periodo de confinamiento. En azul se representan reducciones y en rojo incrementos.

Estos resultados permiten apreciar caídas generalizadas en todo el territorio para todos los contaminantes excepto para PM10 y PM2.5, y en un número muy reducido de puntos también para SO₂ y O₃.

Las reducciones más importantes se observan en las concentraciones de NO_x. Los niveles de NO y NO₂, los más directamente relacionados con las emisiones antropogénicas asociados a la actividad industrial y social, bajan de forma significativa en todas las estaciones de la red sin excepción. Las mayores reducciones se registran en las 4 aglomeraciones, donde el tráfico representa el foco principal y directo sobre los niveles de inmisión, en el rango de -10 a -26 µg/m³ para el NO₂ (hasta el 75% en Valencia y 79% en Alicante). Los mapas muestran también reducciones del mismo orden para el CO (aunque hay que señalar que están expresadas en µg/m³, en lugar de mg/m³, que son las unidades habitualmente utilizadas para un compuesto que se encuentra en concentraciones tres órdenes de magnitud por encima del resto de los contaminantes analizados, y por tanto se manifiestan notablemente amplificadas).

La variedad de comportamientos en el caso de PM10 y PM2.5, que ya se apreciaba en los valores agregados, no sigue un patrón espacial claro, y estaría asociado, como ya se ha señalado, a variedad de factores, entre ellos las condiciones específicas del entorno de los emplazamientos de medida, incluyendo las fuentes y el tipo de emisiones que le afectan (y la intensidad de sus impactos), así como la posibilidad de resuspensión de material particulado depositado sobre el terreno (aunque en principio, la mayor cantidad de lluvias en 2020 en el periodo de confinamiento, respecto al mismo periodo en el año de referencia, habría contribuido a reducir este efecto de resuspensión). Además, entre el 15 de marzo y el 15 de mayo se contabilizaron 5 episodios de intrusión de polvo sahariano, y aunque estos no son infrecuentes en este periodo (1 en 2019, 4 en 2018, 6 en 2017, y 5 en 2016)⁵, inciden habitualmente con diferente intensidad en los distintos puntos de la red. En cuanto a los incrementos, los más significativos se registran en Villar del Arzobispo (+5 µg/m³ para el PM10), y en menor medida en Rabassa y Sagunt-CEA (+3 µg/m³ para el PM10 en ambos emplazamientos). En estas dos últimas la proximidad a plantas cementeras y a canteras de áridos podría explicar estas anomalías (lo mismo puede decirse de Buñol-CEMEX que ha incrementado en 2 µg/m³ el promedio de PM10). En el caso de Villar hay canteras al norte y oeste de la estación, sin embargo, la mayor contribución proviene del SE, sin que se haya identificado un origen concreto para esta. En todo caso, las variaciones más importantes corresponden a reducciones de las concentraciones en áreas urbanas e industriales (-15, -9 y -8 µg/m³ para PM10 en Valencia, L'Alcora y Torrevieja respectivamente, y -6 µg/m³ para PM2.5 en Valencia y Torrevieja).

En cuanto al ozono, se aprecia un descenso generalizado en toda la C.V., aunque con variaciones inferiores a las de los NO_x en términos relativos. La excepción a este descenso son algunos puntos urbanos de Valencia y Alicante y el emplazamiento de Torrevieja, con incrementos entre 3 y 6 µg/m³. Este comportamiento encaja con lo esperable debido a la química no lineal del ozono, que en áreas urbanas habitualmente registra un aumento en sus concentraciones los fines de semana asociado a la reducción de las emisiones del tráfico ("efecto fin de semana"). Fuera de estos incrementos puntuales, la reducción significativa y generalizada de las concentraciones en todo el territorio no muestra ningún gradiente ni patrón claro (costa-interior, norte-sur, distancia a principales áreas de emisión...). Quedaría como síntesis para este contaminante la disminución media entre un 13% y un 16% de las estaciones suburbanas y rurales, frente al 3% de las urbanas.

⁵ Resúmenes anuales de episodios de transporte de partículas en suspensión a larga distancia (www.agroambient.gva.es)

11. Evolución temporal de las concentraciones en el periodo de confinamiento.

Los resultados mostrados hasta ahora se han obtenido a partir de los promedios del periodo completo 15/3-15/5 (asimilado al periodo de confinamiento), y a las diferencias de estos promedios entre el año 2020 y el año de referencia (promedio 2015-2019). Todo ello evaluado sucesivamente para el conjunto de la red, para agrupaciones por tipo de entorno y por área geográfica, y para cada punto individual de medida.

En este apartado se compara la evolución temporal de las concentraciones de contaminantes, en términos de promedios diarios, a lo largo de los 62 días del confinamiento con las del mismo periodo para el año de referencia. En las figuras 11.1(a)-(d) se muestran las series temporales de promedios diarios de los mismos contaminantes analizados en los dos apartados anteriores. En cada caso se muestran tres gráficos, uno para cada una de las agrupaciones (red íntegra, por tipo de entorno y por área geográfica). En el primero de los casos la curva media diaria de todas las estaciones de la R.V.V.C.C.A. para el año medio representativo se acompaña de un intervalo de ± 2 desviaciones típicas correspondiente a la variabilidad del conjunto de la red (~95% de toda la población). Todas las series de 2020 se prolongan hasta el 31 de agosto, aunque el periodo de mayor interés es el del confinamiento, resaltado con una “ventana” azul en todos los gráficos.

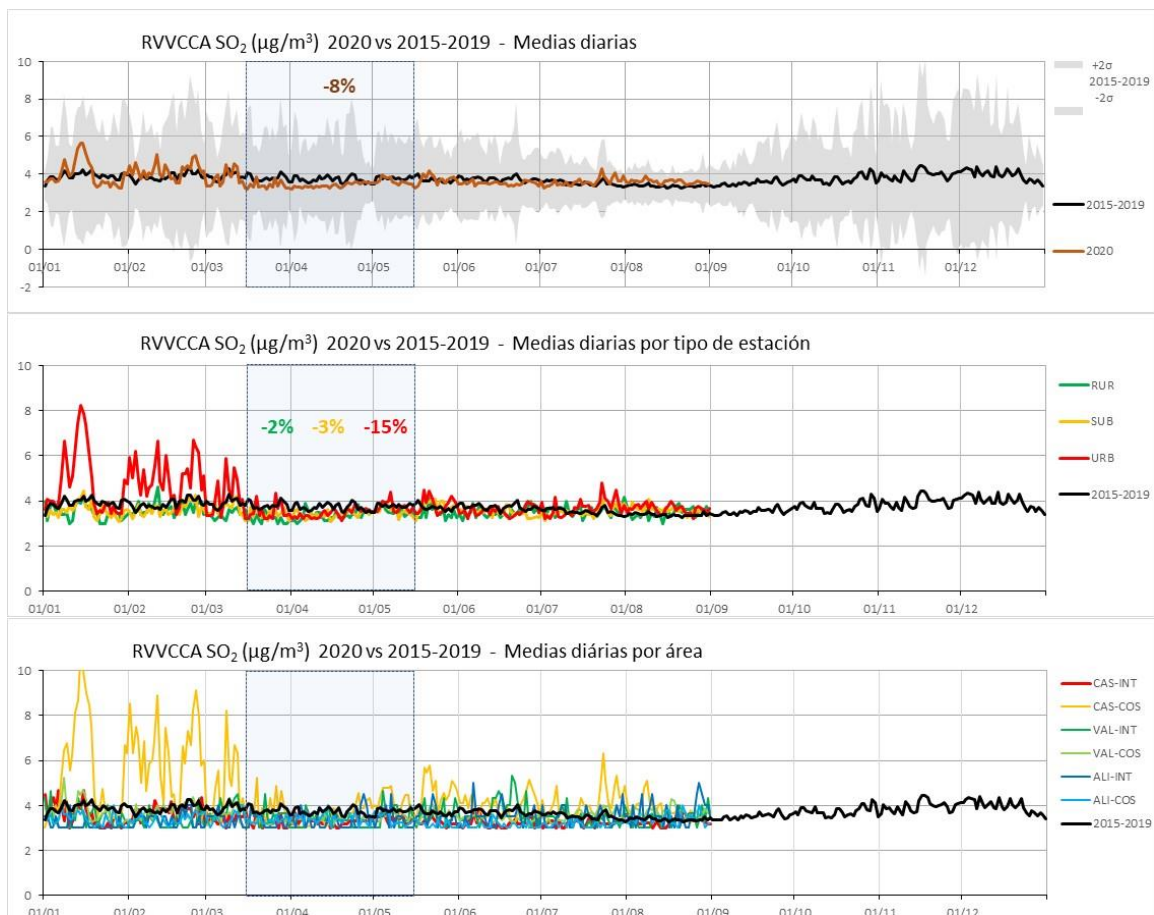


Figura 11.1(a): Evolución de los promedios diarios de las concentraciones de SO₂ de toda red agregada y de sendas agrupaciones de las estaciones por tipo y por área, para el año 2020 (hasta el 31 de agosto) frente al año de referencia completo (promedio 2015-2019). La ventana resalta el periodo 15/3-15/5, con los porcentajes de variación recogidos en las tablas 9.1 y 9.2.

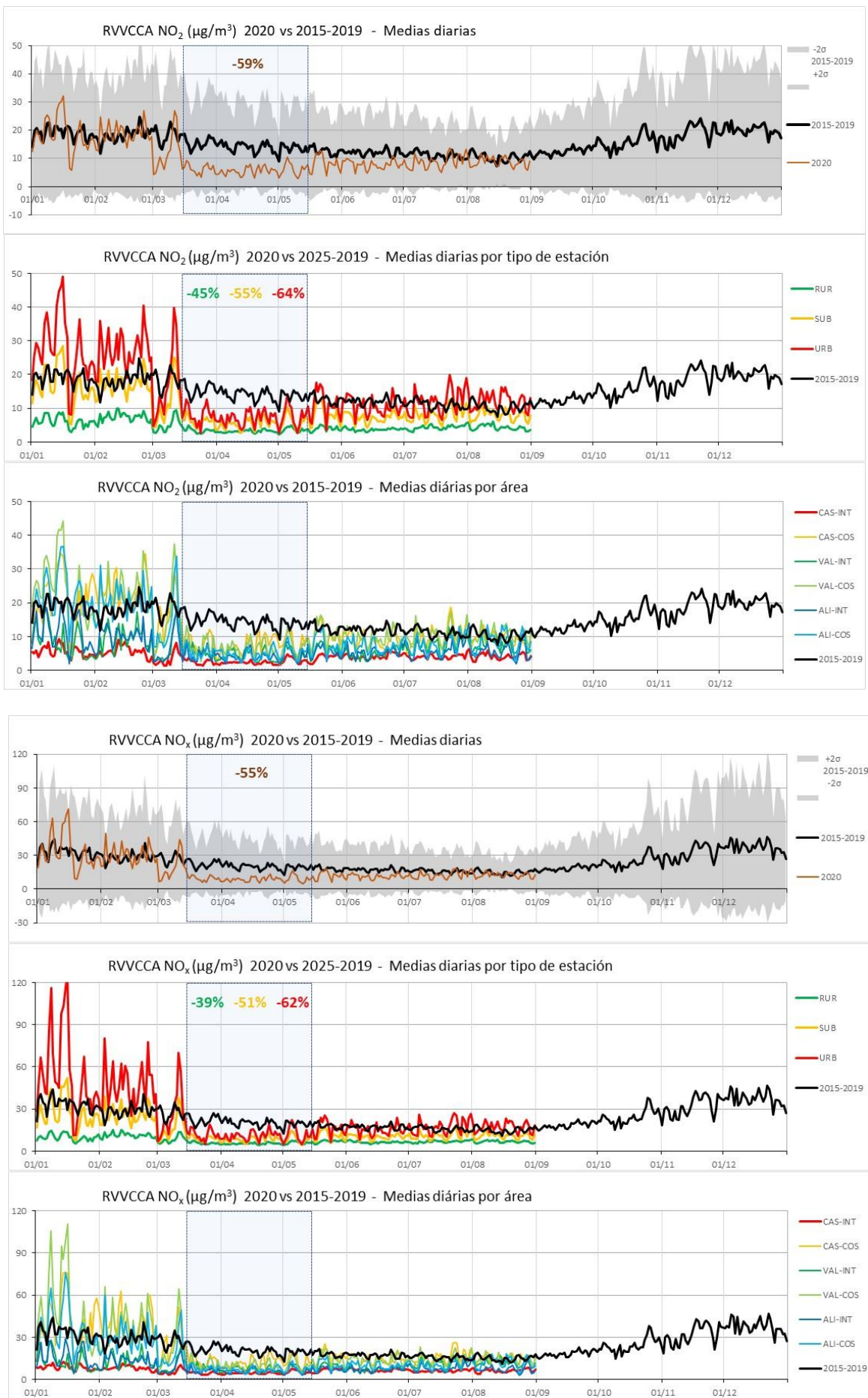


Figura 11.1(b): Evolución de los promedios diarios de las concentraciones de NO₂ (arriba) y NO_x (abajo), de toda red agregada y en sendas agrupaciones de estaciones por tipo y por área, en 2020 frente al año de referencia (promedio 2015-2019). La ventana resalta el periodo 15/3-15/5, con los porcentajes de variación recogidos en las tablas 9.1 y 9.2.

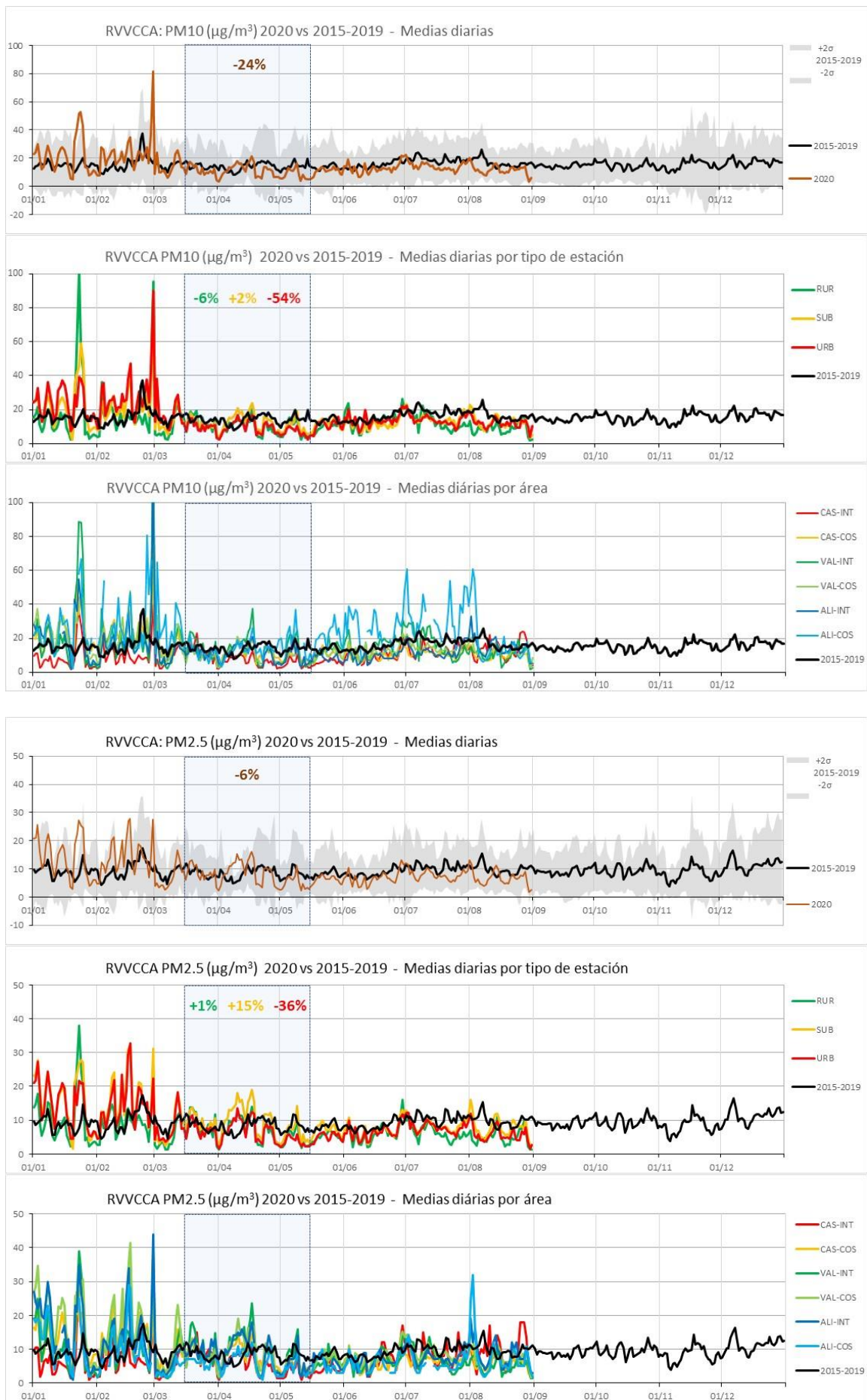


Figura 11.1(c): Evolución de los promedios diarios de las concentraciones de PM10 (arriba) y PM2.5 (abajo), de toda red agregada y en sendas agrupaciones de estaciones por tipo y por área, en 2020 frente al año de referencia (promedio 2015-2019). La ventana resalta el periodo 15/3-15/5, con los porcentajes de variación recogidos en las tablas 9.1 y 9.2.

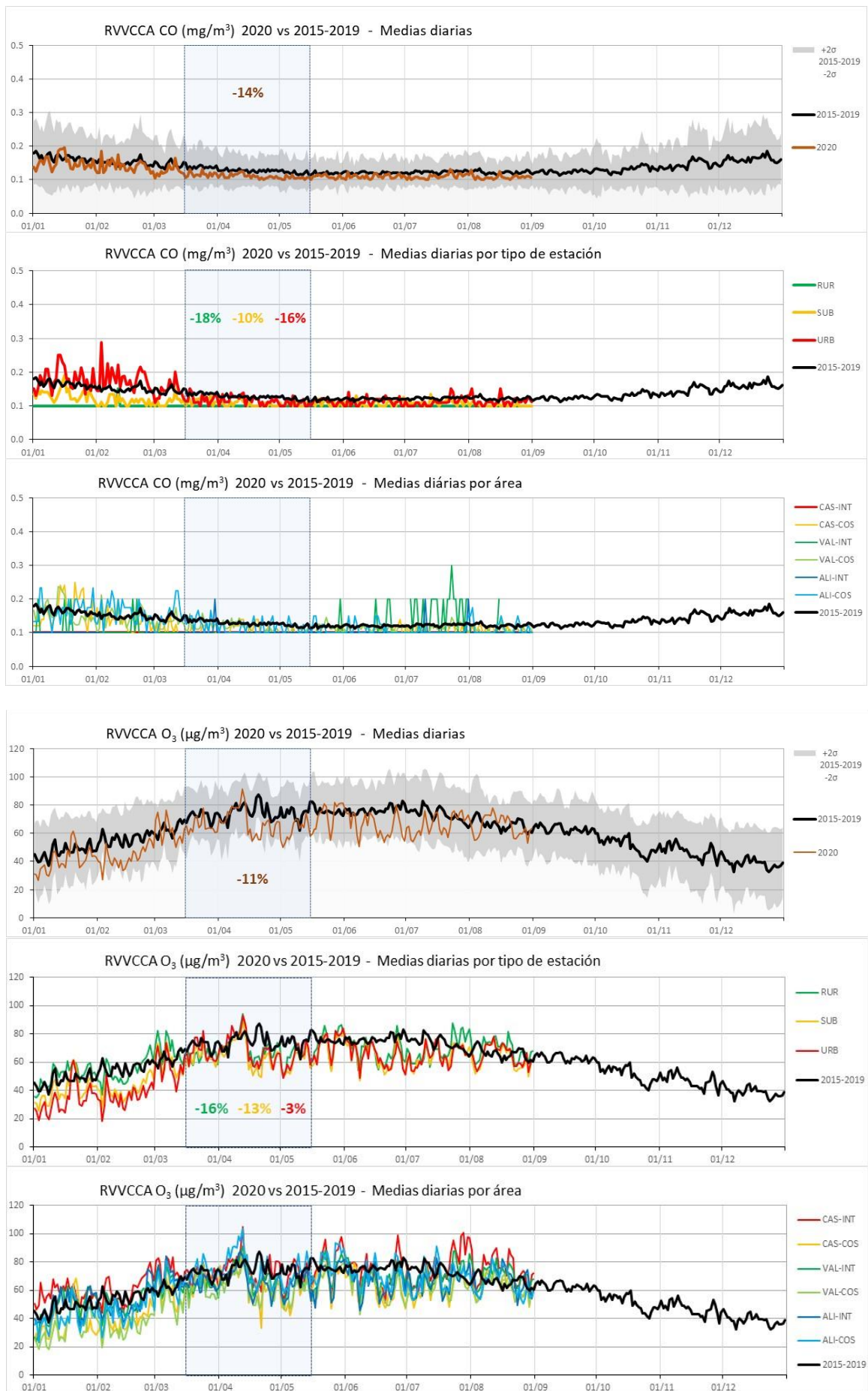


Figura 11.1(d): Evolución de los promedios diarios de las concentraciones de CO (arriba) y O₃ (abajo), de toda red agregada y en sendas agrupaciones de estaciones por tipo y por área, en 2020 frente al año de referencia (promedio 2015-2019). La ventana resalta el periodo 15/3-15/5, con los porcentajes de variación recogidos en las tablas 9.1 y 9.2.

En un primer análisis de los gráficos lo más destacado es la caída de las concentraciones de contaminantes primarios a partir del fin de semana del 14-15 de marzo. La reducción es más visible en el caso de los NO_x, para los cuales todas las series correspondientes a las distintas agrupaciones descienden bruscamente, y se mantienen por debajo del promedio de la red en el periodo de referencia durante todo el periodo de confinamiento. Algo similar ocurre con las concentraciones de CO y SO₂, aunque no de forma tan llamativa, por tratarse en ambos casos de especies con niveles de partida ya relativamente bajos. Las concentraciones para ambos contaminantes se sitúan por debajo de las del año de referencia prácticamente todo el periodo de confinamiento. Solo para el SO₂ hay unos pocos días, al principio y al final del periodo, en que las concentraciones medias en el área de Castellón-costa se sitúan en torno a 1 µg/m³ por encima del promedio para toda la red, aunque por debajo del promedio de la agrupación de las estaciones costeras en el año de referencia (serie no mostrada), debido a que las emisiones de esta especie en el área industrial de la Plana de Castellón constituyen una contribución muy relevante respecto al total.

Sin embargo, no ocurre lo mismo con el ozono, de tipo secundario, ni con las partículas, con componentes tanto primaria como secundaria. En ambos casos los niveles durante el confinamiento se encuentran la mayor parte del tiempo por debajo de los del año de referencia, y eventualmente suben a valores similares o incluso por encima de estos, como ocurre durante la primera quincena de abril en ambos casos. También en ambos casos las reducciones mayores ocurren a partir de mediados de abril. Además de la propia naturaleza de los compuestos secundarios, que como ya se indicó responden generalmente a una dinámica fuertemente no lineal, la dependencia de las condiciones ambientales en los niveles de inmisión explicaría este comportamiento oscilante diferente de la uniforme reducción de las especies primarias (y en especial de los óxidos de nitrógeno).

En todos los casos a lo largo del confinamiento hay altibajos en los niveles en los que sin duda tiene que ver el estado de la atmósfera, con situaciones meteorológicas más o menos favorables a la dispersión y mezcla de las emisiones, y a la formación de especies secundarias. Este punto se aborda en el apartado siguiente con más detalle, pero solo en base a lo observado en las figuras 11.1(a)-(d) puede decirse que: en el caso de NO_x, CO y SO₂ la reducción de emisiones a partir del 15 de marzo se traduce en una reducción inmediata y permanente de sus concentraciones por debajo de las del año de referencia durante todo el confinamiento; por el contrario, las PMs y el O₃ muestran una mayor variabilidad, con alternancia de periodos en que las concentraciones se sitúan por debajo de las del año de referencia y otros en que lo hacen por encima, si bien predominan los primeros (confirmando la reducción generalizada observada durante el periodo de mayor restricción de la movilidad).

En cuanto a las partículas, ya se han apuntado una variedad de causas que dificultan la interpretación de sus variaciones espacio-temporales (menor cobertura espacial, mayor incertidumbre en la medida, mayor variedad de tipos de fuentes de emisión, formación secundaria, influencia del entorno próximo...). Pese a esta variabilidad, los registros del material particulado muestran una clara reducción de la amplitud de la oscilación de las series que se observa a partir del 15 de marzo del 2020. Y por su parte, los niveles de ozono, contaminante secundario de origen fotoquímico, están muy ligados a las condiciones atmosféricas, y las variaciones citadas parecen asociadas a la alternancia de situaciones de inestabilidad con abundante nubosidad (16/3-2/4; 14-22/4), un periodo de relativa estabilidad entre los dos anteriores con registros de radiación solar semejantes al del año de referencia (5-13/4), que propicia concentraciones por encima de las del año de referencia, y finalmente una situación de poniente (27/4-2/5), con viento sostenido del oeste, que reduce sensiblemente las concentraciones. Hacia final del periodo las condiciones algo más estables permiten recuperar niveles más parecidos a los del año de referencia.

Otro aspecto a resaltar, que afecta a todos los contaminantes en el periodo de confinamiento es que los niveles de los tres tipos (urbano, suburbano y rural) tienden a asemejarse entre sí respecto al comportamiento habitual en que los niveles en los entornos urbanos son sustancialmente mayores para las especies primarias y al contrario para el ozono. En definitiva, el descenso brusco de las emisiones del tráfico urbano durante el confinamiento asimila las concentraciones de contaminantes en estos entornos a las del resto del territorio.

12. Descripción de las condiciones meteorológicas a lo largo del periodo de confinamiento.

La variabilidad temporal de los registros de inmisión de los distintos contaminantes atmosféricos viene determinada por una multitud de factores, entre los que el principal de ellos es, sin duda, la actividad emisora de los diferentes focos. En esta línea el estado y la dinámica atmosférica juega también un papel fundamental, en tanto que vehículo de difusión de las especies químicas liberadas, ya se encuentren en fase gas o en fase condensada. Los factores meteorológicos determinantes son aquellos que condicionan la dispersión atmosférica, de manera que cuanto mayor resulte aquella mayor será también la capacidad de dilución de las emisiones. La velocidad del viento (y especialmente su rafagosidad, registrada habitualmente como la sigma de la dirección y/o la velocidad), como medida de la turbulencia mecánica, y la temperatura, como reflejo de la turbulencia térmica, serían los principales indicadores de esta predisposición atmosférica a los procesos de mezcla. Ligados fuertemente a la dispersión en cuanto a la incidencia sobre las concentraciones ambiente, estarían los procesos de eliminación, en los que la precipitación jugaría un papel muy relevante, dada su capacidad de arrastre y limpieza atmosférica.

En el caso de compuestos secundarios, formados en la atmósfera a partir de la emisión de precursores, otros factores meteorológicos también pueden entrar en juego, con contribuciones no siempre directas (así, por ejemplo, el viento puede contribuir a reducir las concentraciones, pero también puede aportar reactivos de otras procedencias). En el caso particular del ozono el elemento más importante lo constituye la radiación solar, desencadenante principal de todo el proceso fotoquímico.

Con objeto de valorar los aspectos meteorológicos anteriores en el posible impacto sobre las variaciones en los niveles de contaminación mostrados en apartados anteriores, se han procesado los registros procedentes de las cabinas de la R.V.V.C.C.A. instrumentadas con sensores meteorológicos de manera similar a las medidas de inmisión, comparando los niveles promedio de 2020 frente a los de los cinco años precedentes (2015-2019), para el periodo de confinamiento forzado por la declaración del estado de alarma en el territorio español, y que se ha concretado entre los días 15 de marzo al 15 de mayo, ambos inclusive. Se han procesado los valores medios diarios de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, de radiación solar total diaria, precipitación acumulada y número total de días con precipitación. Los puntos de medida proceden de un total de veinticinco enclaves distribuidos a lo largo del territorio de la Comunitat, según la figura 12.1.

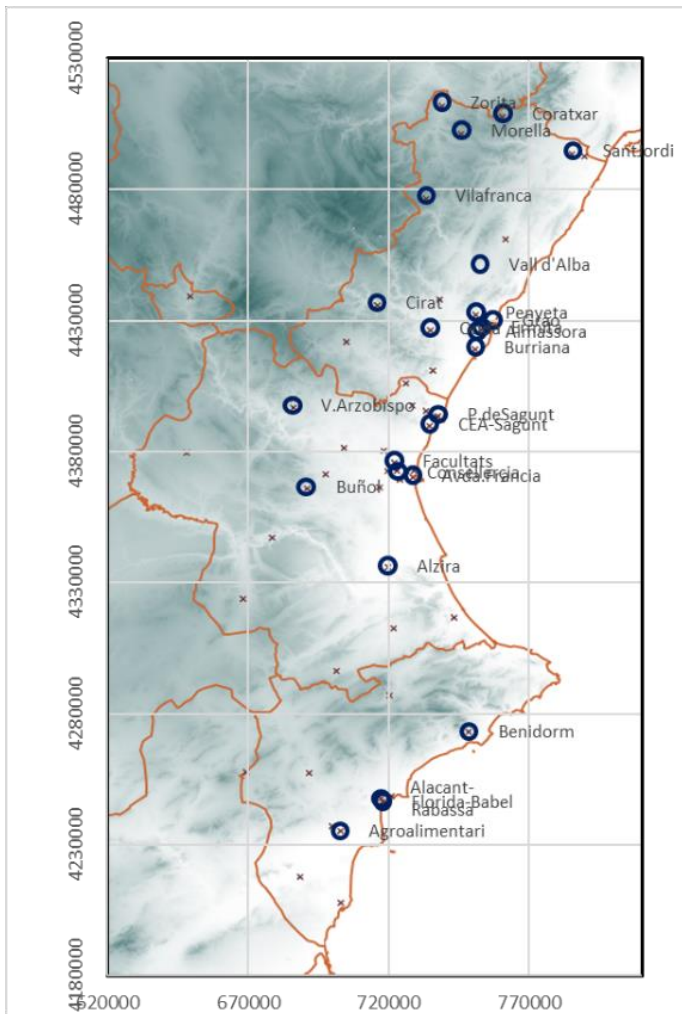


Figura 12.1: Distribución de las 25 estaciones procesadas pertenecientes a la R.V.V.C.C.A. que incluyen registros meteorológicos.

En los mapas de la figura 12.2 se presentan las anomalías de las diferentes magnitudes para ambos periodos considerados: el correspondiente al año 2020 menos el promedio de los mismos días de los cinco años precedentes. En cada emplazamiento se representa con un círculo de tamaño proporcional al valor absoluto de la diferencia, con color magenta en el caso de anomalías positivas ($2020 > \text{referencia}$) y azul en el caso de decrementos.

La figura 12.3 refleja para cada magnitud el rango de anomalías mostradas en las diferentes estaciones, cuyos estadísticos principales se muestran en la tabla 12.1.

Las temperaturas durante el periodo de confinamiento resultaron poco variables respecto a la media de los cinco años de referencia, ligeramente por encima, y sin un patrón espacial claro, localizándose las anomalías positivas preferentemente en la mitad norte de la Comunitat y en la línea costera. El caso de la humedad del aire resulta especialmente significativo, dado que en todas las estaciones de medida el periodo analizado resultó con valores decididamente por encima del promedio, en un rango que llega hasta casi un 20% más de en algunos de los puntos. El viento tampoco parece haber registrado grandes variaciones en su intensidad, con una reducción muy moderada en la mayor parte de las estaciones. La radiación solar tuvo un comportamiento claramente decreciente en todo el territorio, con valores muy significativos que se sitúan en torno a un promedio de 1 Kwh/m^2 , hasta un máximo de 1.7, en lo que son niveles importantes para el periodo temporal en el que se estimaron. Los valores de precipitación reflejan un incremento también significativo en el norte de la Comunitat durante el periodo de confinamiento respecto a los de referencia, con un descenso más moderado de las cantidades medias registradas en las dos

provincias más meridionales. Este incremento parcial de la cantidad de lluvia sí tuvo un reflejo generalizado en un mayor número de días con precipitación en promedio en todo el territorio.

En las figuras 12.4 se representa la evolución de los valores diarios de las principales magnitudes meteorológicas, promediados en toda la red de estaciones sobre el periodo de referencia para el año completo, con su margen de incertidumbre ($\pm 2\sigma$), junto a la correspondiente al año 2020 (también para todas las estaciones), resaltando el intervalo sobre el que se ha trabajado como representativo del confinamiento. Se ha prescindido de las medidas de precipitación y número de días de lluvia por lo artificioso que resulta este tipo de representación diaria para tales magnitudes. A lo largo de las distintas secuencias temporales son patentes los registros notablemente por encima en la humedad relativa de la serie del 2020 respecto a la referencia durante el intervalo de confinamiento, a la vez que la radiación presenta valores notablemente por debajo, especialmente en la primera parte. Las diferencias en la temperatura son cambiantes a lo largo de los dos meses considerados, mientras que la intensidad del viento tiende a estar por debajo de los promedios, como se mostró en el mapa de distribución espacial.

La relación directa individualizada entre los factores atmosféricos y los niveles de concentración ambiente no siempre resulta evidente a partir del mero análisis de las mediciones, bajo una conexión causa-efecto en la que participan muchos otros elementos de la dinámica atmosférica. En el estudio actual resulta de especial interés valorar/cuantificar la potencial influencia que las particulares condiciones meteorológicas pudieran tener sobre los niveles de inmisión, más allá de los análisis anteriores, mediatizando la incidencia que sobre las emisiones pudiera haber tenido el periodo de confinamiento considerado.

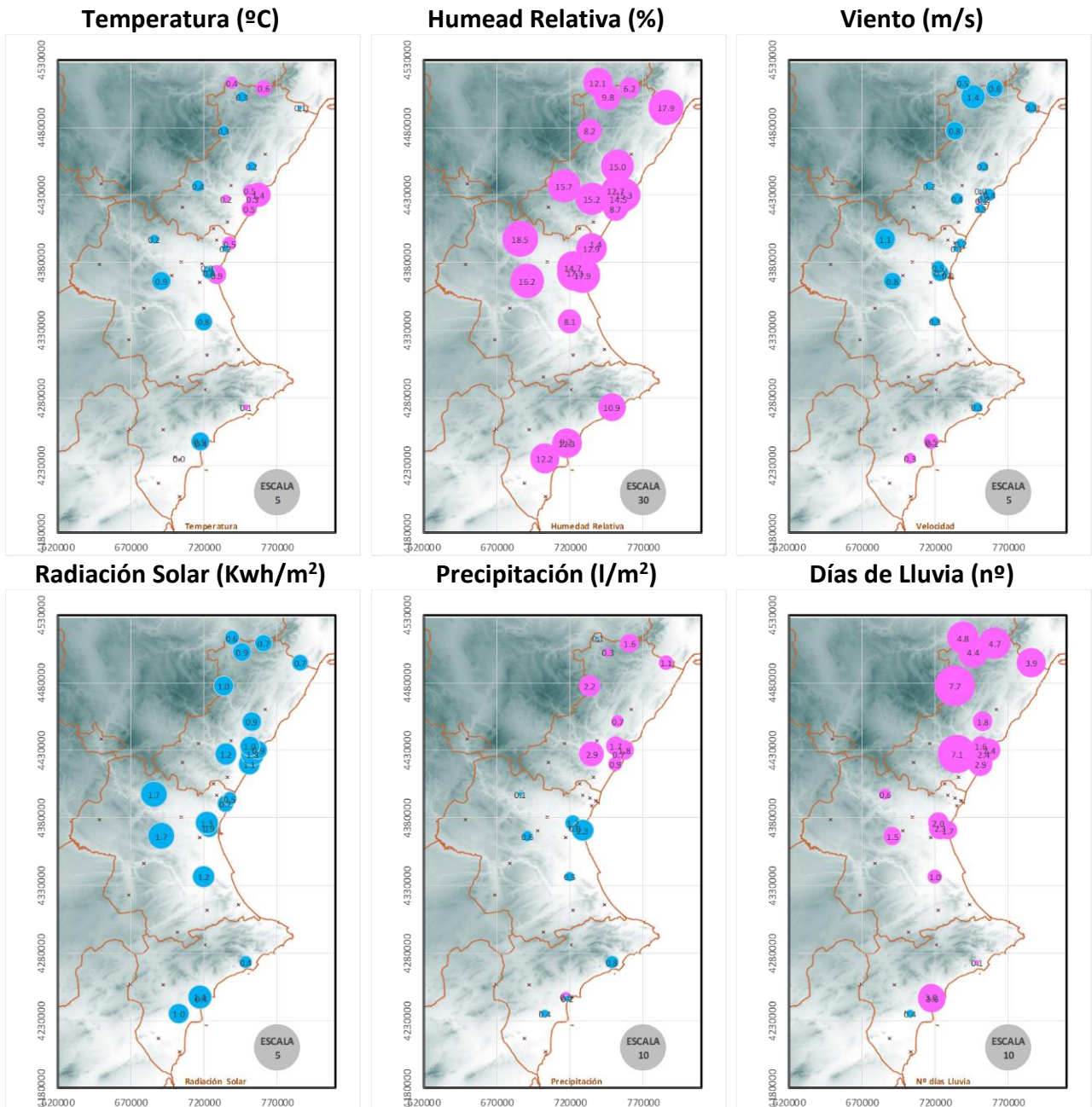


Figura 12.2: Distribución espacial de las anomalías absolutas durante el periodo de confinamiento para las principales magnitudes meteorológicas registradas en la red de estaciones de la RVVCCA.

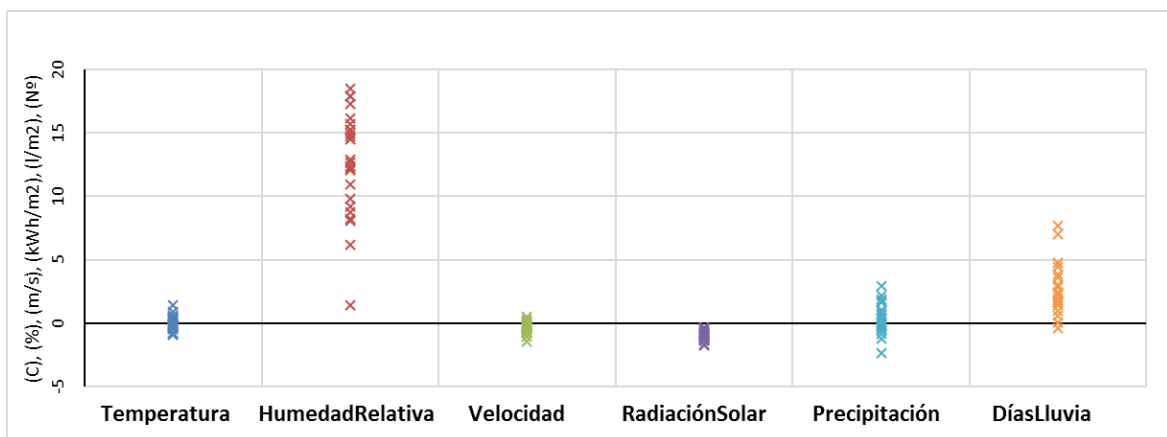


Figura 12.3: Valores de las anomalías absolutas durante el periodo de confinamiento para las principales magnitudes meteorológicas registradas en las diferentes estaciones de la RVVCCA.

Tabla 12.1: Estadísticos para la red meteorológica de la RVVCCA de las diferencias absolutas entre el periodo de referencia y el de confinamiento.

	Temperat. (C)	Hum. Rel. (%)	Velocidad (m/s)	Rad. Solar (kWh/m ²)	Lluvia (l/m ²)	Nº días de Lluvia
Promedio	0.0	12.6	-0.3	-1.0	0.4	2.8
Sigma	0.6	4.2	0.4	0.4	1.2	2.1
Máximo	1.4	18.5	0.5	-0.4	2.9	7.7
Mínimo	-0.9	1.4	-1.4	-1.7	-2.3	-0.4

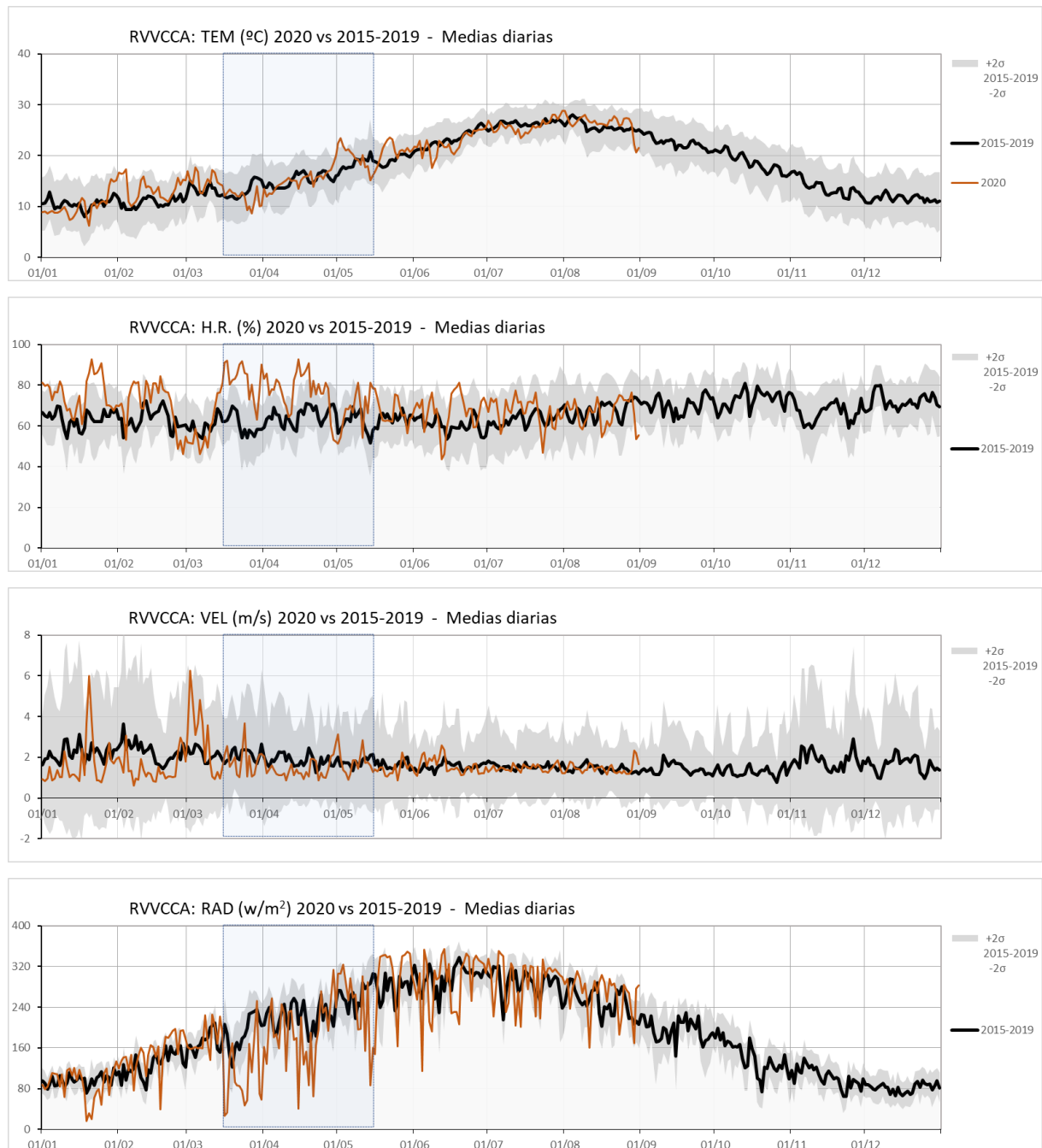


Figura 12.4: Series temporales de las anomalías diarias medias de la Temperatura, Humedad relativa, Velocidad y radiación, para toda la red meteorológica de la RVVCCA del periodo de confinamiento (línea verde) respecto al de referencia (línea magenta), representado en el intervalo de dos desviaciones típicas por cada lado.

13. Resumen y Conclusiones.

En los apartados anteriores se ha analizado el efecto sobre la calidad del aire en la C.V. de las restricciones implementadas a nivel nacional (en realidad a nivel internacional, ya que varios países también las implementaron de forma más o menos simultánea) en el periodo de confinamiento iniciado el 15 de marzo de 2020 para combatir la expansión de la COVID. Para ello se han examinado las concentraciones de los principales contaminantes medidos por la R.V.V.C.C.A. (SO_2 , CO, NO_2 , NO_x , PM10, PM2.5 y O_3) en el periodo 15/3-15/5, y se han comparado con las del mismo periodo en el año de referencia obtenido como promedio de los cinco años anteriores 2015-2019.

Los resultados muestran un descenso generalizado en las concentraciones durante el periodo de confinamiento en todo territorio de la C.V. y todo tipo de entorno, con algunas excepciones puntuales tanto espacial como temporalmente. A continuación, se enumeran los aspectos más relevantes que se desprenden del análisis:

- Los mayores descensos afectan a los NO_x en áreas urbanas y suburbanas (-60% y -50% respectivamente), donde se produce la mayor parte de estas emisiones, con el tráfico rodado como fuente principal. Del mismo orden es la reducción de PM10 en entornos urbanos (-54%).
- En el caso del SO_2 y CO también se registró una reducción de las concentraciones, aunque con variaciones menores por tratarse de dos especies con concentraciones ya muy bajas de partida.
- Las partículas, PM10 y PM2.5, mostraron un comportamiento desigual, en el que no se aprecia un patrón espacial claro, al que contribuirían diferentes factores, como la variedad de fuentes de emisión (tráfico, industria, resuspensión del suelo, intrusiones de polvo sahariano, formación secundaria...), la mayor incertidumbre de los equipos automáticos de medida, sin descartar un posible sesgo derivado de la menor y desigual cobertura espacial de estos equipos automáticos.
- Por su parte, el ozono muestra una leve caída en entornos urbanos (-3%), y un descenso algo mayor en entornos suburbanos y rurales (-13% y -16% respectivamente). La excepción son algunos emplazamientos urbanos en Valencia, Alicante y Torrevieja, con incrementos entre 3 y 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Este comportamiento encaja con lo esperable, que en áreas urbanas habitualmente registra un aumento en sus concentraciones los fines de semana asociado a la reducción de las emisiones del tráfico y con ello la menor eliminación del ozono por reacción con las emisiones primarias ("efecto fin de semana"). Fuera de estos incrementos puntuales, la reducción, igual que en el caso de las partículas, no muestra ningún gradiente ni patrón claro (costa-interior, norte-sur, distancia a principales áreas de emisión...).
- Para todas las especies analizadas el inicio del periodo de confinamiento supone una clara amortiguación de la amplitud de las variaciones de las series de inmisión.
- En el caso de los NO_x , CO y SO_2 la reducción de emisiones a partir del 15 de marzo se traduce en una reducción inmediata y permanente de sus concentraciones por debajo de las del año de referencia durante todo el confinamiento; por el contrario, las PMs y el O_3 muestran una mayor variabilidad, con alternancia de periodos en que las concentraciones se sitúan por debajo de las del año de referencia y otros en que lo hacen por encima, si bien predominan los primeros (confirmando la reducción generalizada observada durante el periodo de mayor restricción de la movilidad).
- En todos los casos a lo largo del confinamiento hay altibajos en los niveles en los que sin duda tiene que ver el estado de la atmósfera, con situaciones meteorológicas más o menos favorables a la dispersión y mezcla de las emisiones, y a la formación de especies secundarias.

Otro aspecto a resaltar, que afecta a todos los contaminantes en el periodo de confinamiento, es la tendencia de los niveles de los tres tipos (urbano, suburbano y rural) a asemejarse entre sí respecto al comportamiento habitual en que las concentraciones en los entornos urbanos son sustancialmente mayores para las especies primarias y al contrario para el ozono. En definitiva, el descenso brusco de las emisiones del tráfico urbano durante el confinamiento asimila las concentraciones de contaminantes en estos entornos a las del resto del territorio.

El estudio específico de los niveles de NO₂ para la ciudad de Valencia documenta una reducción media sobre un 70% en el entorno más urbano, bajo una fuerte presión del tráfico, con una clara uniformización en la distribución espacial de las concentraciones.

Anexo.

Informe campaña extraordinaria dosimetría NO₂ Valencia.

Se presenta en el anexo actual el resultado de la campaña extraordinaria realizada en el marco del proyecto *evaluación de la contaminación atmosférica por dióxido de nitrógeno en el entorno del núcleo metropolitano de la ciudad de Valencia* mediante el uso de una red densa de captadores pasivos, realizada entre los días 29 de abril y 6 de mayo del 2020.

En todo se ha seguido la metodología de campañas anteriores sobre el mismo entorno e igual despliegue muestral (se ha denominado con la referencia 'KNe'). Habitualmente se han venido realizando cuatro de tales experiencias al año, compendiado en un documento anual único (para referencia de aquellos aspectos relativos a los detalles de los muestreos que no se explicitan a continuación se habrá de dirigir a los mencionados informes anuales, que se pueden encontrar en la web de la Consellería⁶.

El diseño experimental se ajustó estrictamente al de ocasiones anteriores, con las dos subredes habituales: una de ellas semirregular, y que se extiende sobre un rectángulo de aproximadamente 11x10 km, centrado en el núcleo urbano, y en la que se distribuyen un total de 97 puntos de medida, asegurando uno de ellos por cada celda de 1x1 km (aquí dispuestos de manera aleatoria); y una segunda distribución, periférica, constituida por 8 puntos adicionales que conforman un arco en torno a la ciudad y que se sitúan en ambientes estrictamente rurales (figura A.1). A diferencia de estos últimos, los emplazamientos en la primera de las redes resultan bastante heterogéneos, incluyendo zonas con diferentes tasas de tráfico, distintos grados de urbanización, de densidad de población, etc. En todos los casos se ha asegurado que el microemplazamiento cumpla con una serie de requisitos mínimos que pudiesen sesgar las medidas, como son una buena ventilación, alejamiento de fuentes y emisiones directas, etc. Dentro del ámbito espacial delimitado por la distribución de la red regular se sitúan ocho estaciones automáticas de la red valenciana de vigilancia y control de la contaminación atmosférica, y que son las que en conjunto se utilizarán como comparación con los promedios dosimétricos (*Pista de Silla, Avenida de Francia, Molí del Sol, Vivers, Bulevard Sud, Politècnic, Centro y Quart de Poblet*). Adicionalmente otras dos (*Paterna-CEAM y Burjassot-Facultats*) se encontrarían dentro del área extendida con la red periférica.

⁶ <http://www.agroambient.gva.es/es/web/calidad-ambiental/campanas-de-dosimetria>

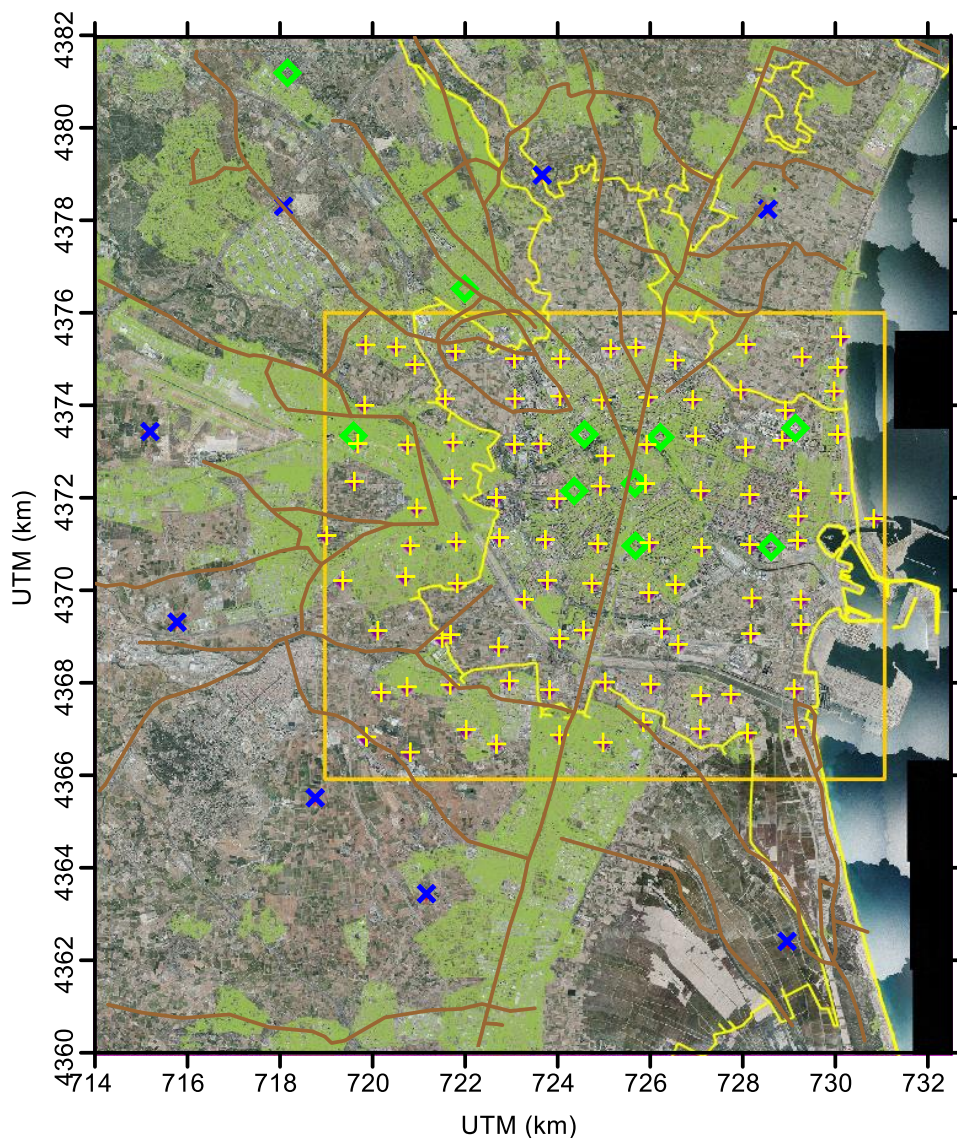


Figura A.1: Red de muestreo dosimétrica regular (cruces amarillas –se muestra la situación de las cabinas actuales de la RVVCCA -rombos verdes-) junto a los emplazamientos periféricos (cruces azules).

Las medidas dosimétricas se realizaron entre los días 29 de abril y el 6 de mayo de 2020, tras el periodo de confinamiento estricto (14/03 al 12/04) en la fase previa al inicio de la desescalada (11 de mayo).

Meteorológicamente el periodo resultó relativamente ventoso en su primera parte, bajo una circulación zonal del oeste asociada a una serie de núcleos borrascosos sobre las Islas Británicas. Progresivamente la circulación general dio paso a la entrada de una dorsal sobre la Península, con tiempo más estable, presidido ahora por vientos flojos locales, organizados como brisas costeras aún poco definidas. La rosa de viento del periodo estricto de muestreos (figura A.2) discrepa bastante de la característica del mes de mayo, debido principalmente al predominio de la componente oeste comentada.

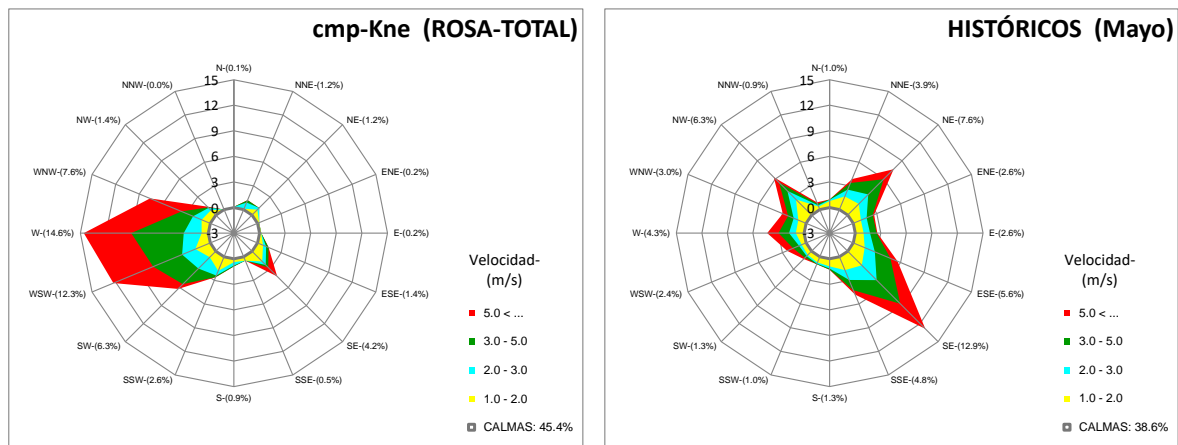


Figura A.2: Rosas de viento elaboradas con las medidas de la estación VALÈNCIA-CONSELLERIA-METEO. Se presentan las rosas para el intervalo estricto de muestreo con los captadores pasivos (izquierda) junto a la rosa climática del mes de mayo (derecha).

El comportamiento del tráfico en la ciudad experimentó un notable descenso a partir del inicio del confinamiento. La figura A.3 refleja el comportamiento de la intensidad media diaria de vehículos en varios puntos del casco urbano de la ciudad de Valencia que podrían resultar representativos del comportamiento general del tráfico en toda la ciudad. Se muestran las series temporales diarias del promedio de los años 2018 y 2019, tomados como referencia, frente a los correspondientes valores para el año 2020, junto a su diferencia en términos porcentuales. Normalmente la intensidad circulatoria presenta un patrón semanal bien definido y en general persistente en el tiempo con algunas reducciones estacionales en los meses de verano (especialmente agosto) y en algunos periodos significativos (fiestas falleras). En la representación mostrada se aprecia claramente la drástica reducción a partir de la tercera semana de marzo, que persiste sin grandes cambios durante el mes de abril, y que se recupera progresivamente de manera continuada desde entonces. La figura A.4 corresponde a la misma representación solo para el intervalo de exposición de los captadores pasivos. Con la consiguiente variación diaria, en promedio el tráfico registrado en los puntos de control durante el año 2020 representa tan solo el 28% del equivalente en el mismo intervalo para la media de los años 2018/2019.

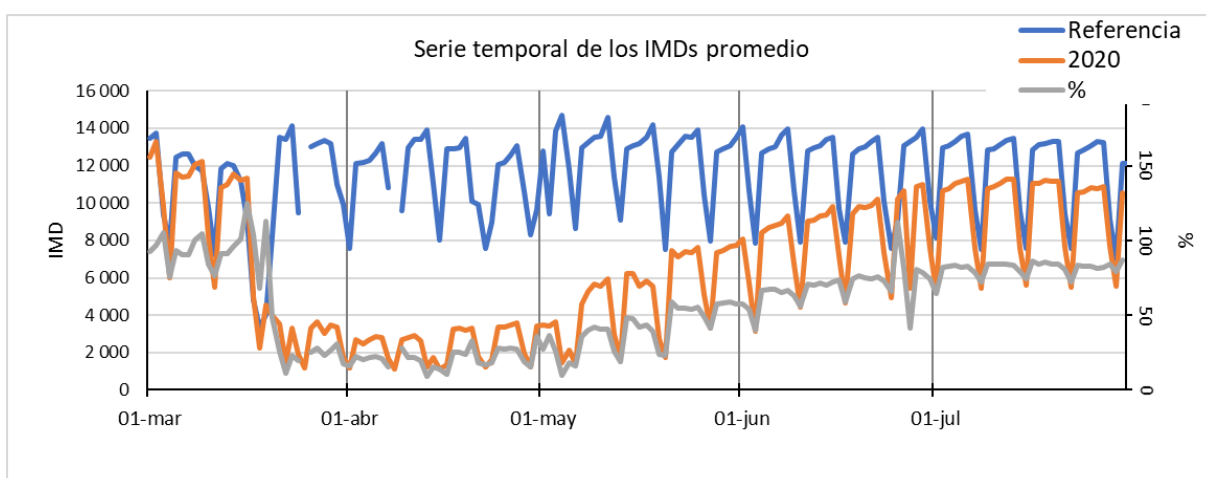


Figura A.3: Comparación de los niveles medios diario de tráfico promediados en varios puntos de la ciudad de Valencia en años previos (2018 y 2019) frente a los registrados durante el 2020 en el periodo de restricciones de la movilidad (se incluye el porcentaje de reducción).

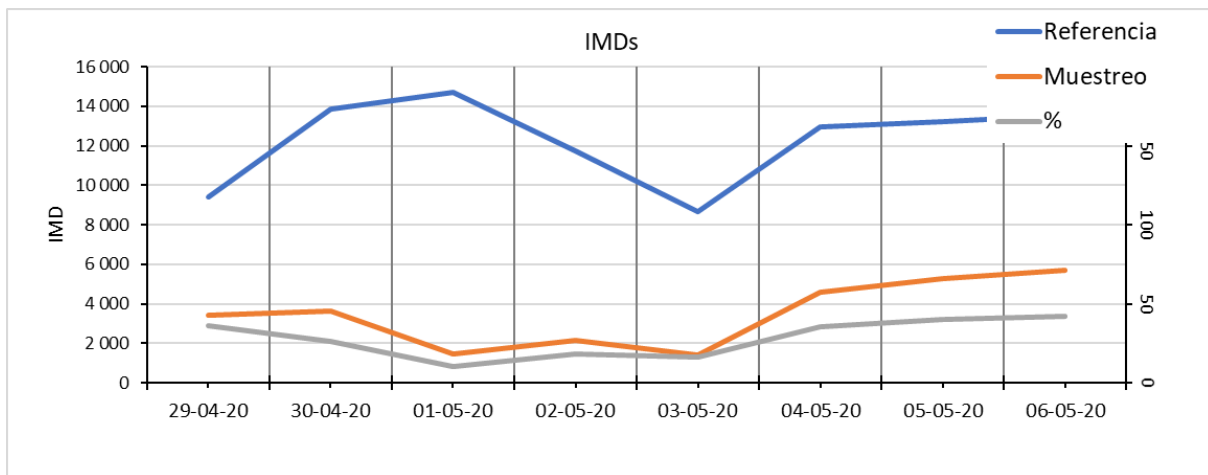


Figura A.4: Detalle de la figura A03 para el periodo estricto de muestreo (el tráfico se redujo en promedio hasta un 28% respecto a sus valores normales -años 2018/19-).

Las figuras A.5 y A.6 muestran los resultados dosimétricos de la campaña actual (KNe) en el contexto de la base de datos disponible (con medidas desde el año 2002), donde se reflejan los niveles excepcionalmente bajos de las concentraciones, por debajo del intervalo de la media ± 2 sigmas, que representa en torno al 65% de la población. (apréciese que la pendiente de ambas redes respecto a los valores medios resulta de aproximadamente del 28% para la red más urbana y del 33% para la periférica).

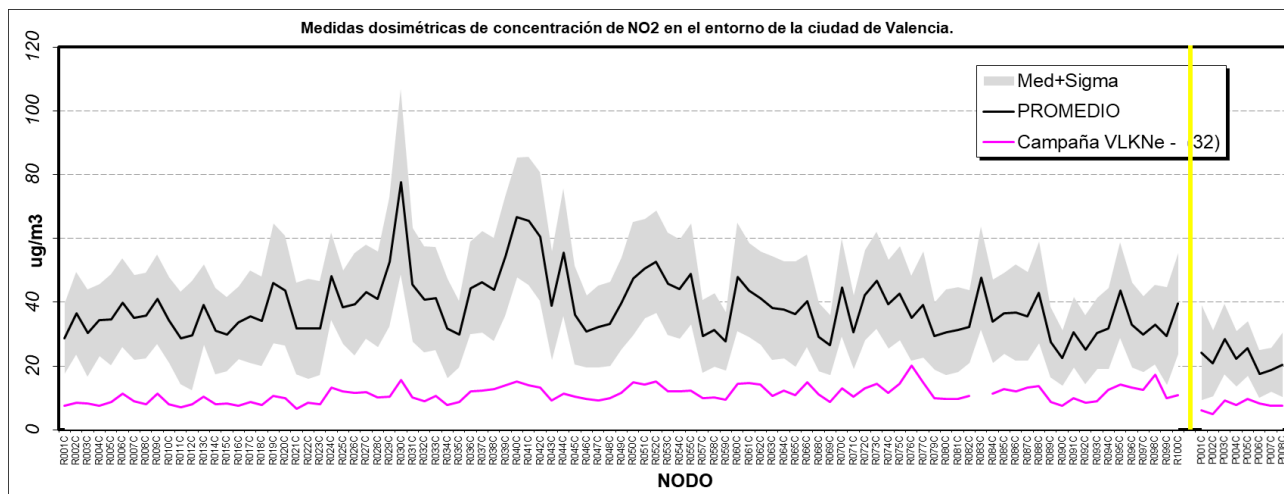


Figura A.5: Niveles de concentración de NO₂ para los puntos de medida de la red dosimétrica obtenidos durante la campaña KNe (línea magenta) frente a los promedios históricos disponibles para los mismos emplazamientos (se muestra el valor medio –línea negra- con un margen de una sigma por ambos lados). A la derecha de la línea vertical amarilla se sitúan los nodos de la red periférica.

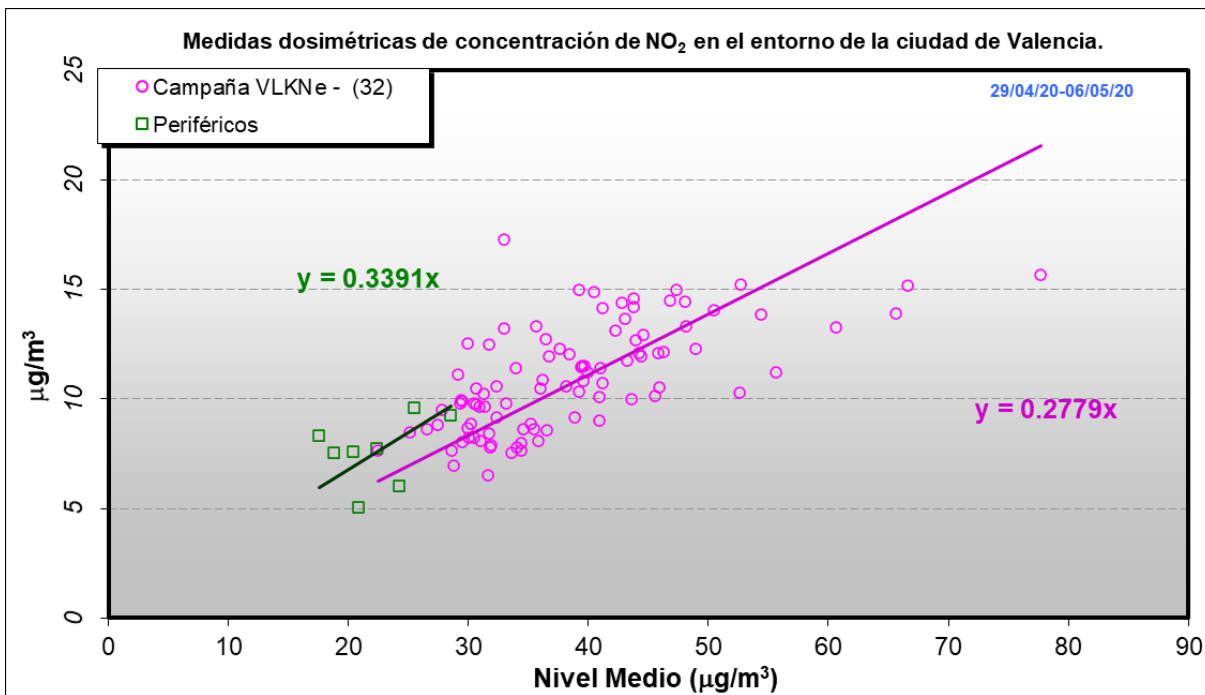


Figura A.6: Correlación entre las medidas puntuales de concentración de NO₂ durante el muestreo actual para las dos redes (semirregular y periférica) frente a los correspondientes niveles medios históricos.

En la tabla A.2 se resumen los valores medios de las diferencias obtenidas en las dos redes, tanto en valor absoluto como relativo. Así, para los emplazamientos de la red regular el descenso medio del 71% representa reducciones promedio de 28 µg/m³, con un intervalo de variación mínimo y máximo entre 15 y 62 µg/m³, mientras que en los emplazamientos más rurales de la red periférica esta reducción media resulta algo menor, del 65%, correspondiendo a 15 µg/m³ de descenso promedio, en un intervalo de 9 a 19 µg/m³.

Tabla A.2: Estadísticos de las diferencias del muestreo actual con relación a los niveles medios históricos para las dos poblaciones de dosímetros.

	Diferencias relativas (%)		Diferencias Absolutas (µg/m ³)	
	Regular	Periférica	Regular	Periférica
Media	-71.0	-65.1	-27.6	-14.6
Máximo	-80.4	-75.8	-62.0	-19.2
Mínimo	-47.7	-52.6	-14.8	-9.2

La distribución de concentraciones obtenidas durante el muestreo presenta, a diferencia de otras campañas y de la población general, una distribución muy colimada en torno a valores promedios muy bajos (figura A.7), que podrían de nuevo estimarse por las figuras una reducción que rondaría el 70% respecto a los normales en ambas redes). Un matiz adicional lo representaría la forma acampanada de ambas distribuciones para la campaña actual, frente a la marcada asimetría positiva del comportamiento normal, prolongada hacia los valores altos de concentración.

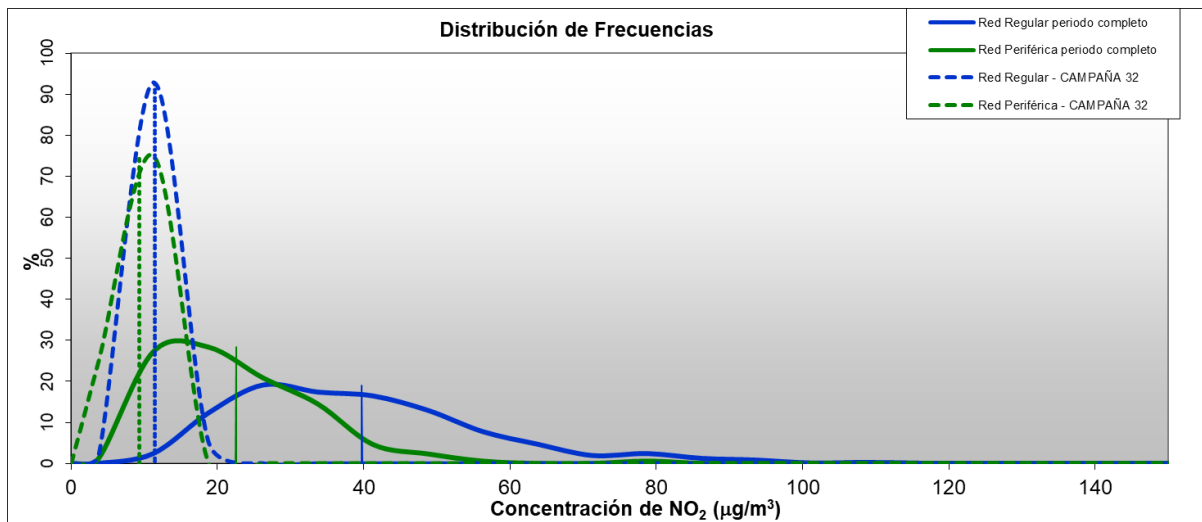


Figura A.7: Distribución de frecuencias de las medidas dosimétricas de NO₂ para las dos redes: base de datos total (líneas continuas) y muestreo actual 'KNe' (líneas a trazos). Todas las distribuciones están normalizadas. Las concentraciones indicadas por las líneas verticales representan los valores medios de las correspondientes poblaciones.

Los mapas de anomalías de la siguiente figura reflejan la magnitud de la reducción, a través de la diferencia de concentración respecto a los valores medios (figura grande de la izquierda), con referencia a la distribución de dicho valor medio, mostrado en la figura menor de la derecha. Se aprecia que las mayores reducciones se registran precisamente en los puntos donde habitualmente más elevadas eran, correspondientes al núcleo central del casco antiguo.

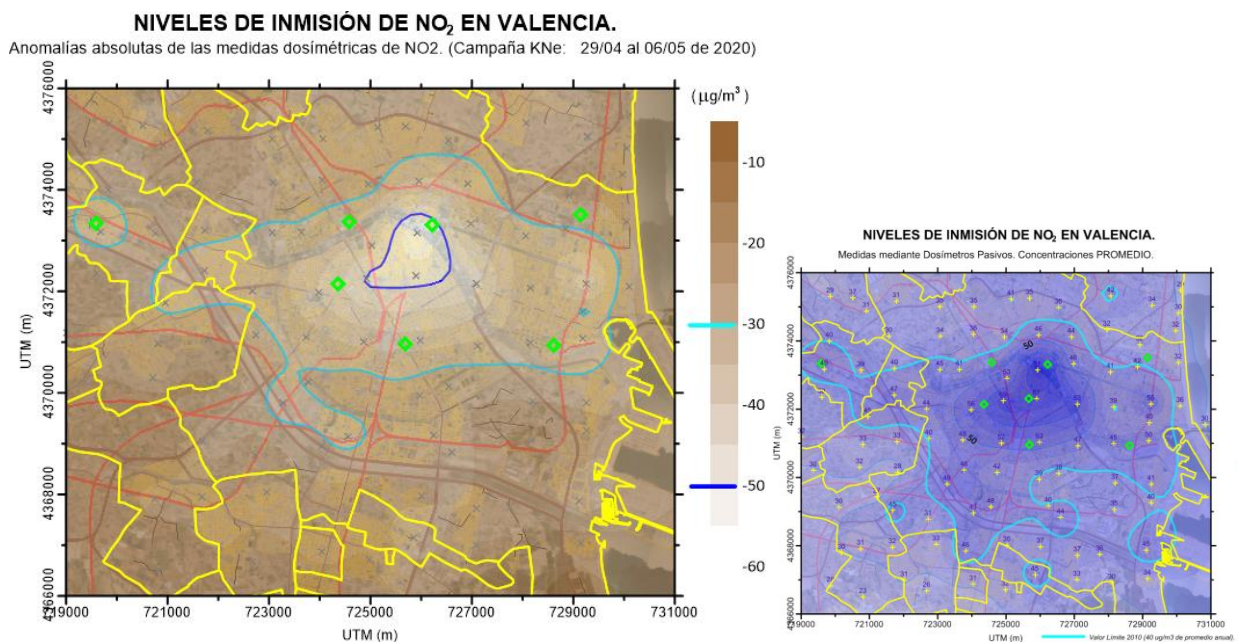


Figura A.8: Representación de la distribución espacial de las anomalías absolutas de las concentraciones de NO₂ obtenidas durante la campaña 'KNe' (respecto al total de los valores promedio históricos para la malla regular de la red de muestreo en la gráfica de la derecha).

