



**Fundación CENTRO DE ESTUDIOS
AMBIENTALES DEL
MEDITERRÁNEO. (Fundación CEAM).**

**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN
ATMOSFÉRICA POR DIÓXIDO DE
NITRÓGENO EN EL ENTORNO DEL NÚCLEO
METROPOLITANO DE LA CIUDAD DE
VALENCIA. MEDIDAS EXPERIMENTALES
CON CAPTADORES PASIVOS**

INFORME FINAL

Campañas 2021:

- ✓ **10 al 17 de febrero**
- ✓ **12 al 19 de mayo**
- ✓ **15 al 22 de julio**
- ✓ **10 al 17 de noviembre**

Preparada por la Fundación de la Comunidad Valenciana Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo, en el marco de su programa de investigación en Meteorología y Contaminación Atmosférica

Preparado por : *Programa de Meteorología y Contaminación Atmosférica.*

Fecha : *31/12/2021*

Referencia : *MuestrasValenciaNO2/2021/*

Versión 0.



EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR DIÓXIDO DE NITRÓGENO EN EL ENTORNO DEL NÚCLEO METROPOLITANO DE LA CIUDAD DE VALENCIA. MEDIDAS EXPERIMENTALES CON CAPTADORES PASIVOS.

INFORME FINAL.

Campañas 2021:

10 al 17 de febrero;

12 al 19 de mayo;

15 al 22 de julio;

10 al 17 de noviembre;

Versión 0.

31 de diciembre de 2021

ÍNDICE DE CONTENIDOS.	pgns
INTRODUCCIÓN	1
DISEÑO EXPERIMENTAL	6
CAMPAÑA 'LN1' (10 al 17 de febrero de 2021)	8
CAMPAÑA 'LN2' (12 al 19 de mayo de 2021)	15
CAMPAÑA 'LN3' (15 al 22 de julio de 2021)	22
CAMPAÑA 'LN4' (10 al 17 de noviembre de 2021)	29
RECAPITULACIÓN Y CONCLUSIONES	36
ANEXO I. COMPILACIÓN GRÁFICA DE LOS PROMEDIOS HISTÓRICOS	44



Los trabajos aquí presentados han sido realizados por el Área de Meteorología y Contaminación Atmosférica del Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo.



EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR DIÓXIDO DE NITRÓGENO EN EL ENTORNO DEL NÚCLEO METROPOLITANO DE LA CIUDAD DE VALENCIA. MEDIDAS EXPERIMENTALES CON CAPTADORES PASIVOS.

**INFORME FINAL. Campañas 2021: 10 al 17 de febrero;
12 al 19 de mayo;
15 al 22 de julio;
10 al 17 de noviembre.**

Versión 0. 31 de diciembre de 2021

INTRODUCCIÓN.

En línea con informes anteriores, el presente documento recoge la descripción y análisis de las campañas de medidas dosimétricas de NO₂ cuya realización se ejecutó durante el año 2021 en el entorno urbano de la ciudad de Valencia y su área de influencia, como contribución incremental a la base de datos existente de mediciones previas, realizadas sobre el mismo ámbito espacial y con similar metodología. La superación del año 2020 con una fuerte incidencia sobre el tráfico urbano debido a las restricciones de la movilidad, no supuso una normalización de la actividad en la ciudad durante el 2021, sometida aún a limitaciones sociales que han ido cambiando a lo largo del año acorde a la gravedad de la epidemia. No se registraron sin embargo confinamientos tan drásticos como en el año previo, por lo que la circulación automovilística en la ciudad recuperó progresivamente niveles muy parecidos a los previos al impacto desencadenado por el COVID19.

Retomando la pasada normalidad, se realizaron los cuatro muestreos que constituyen la rutina habitual de años anteriores, realizados entre los días 10 al 17 de febrero, 12 al 19 de mayo, 15 al 22 de julio y 10 al 17 de noviembre, que constituyen la contribución del año 2021 al registro climático de medidas.

Formalmente se han ido conservando los mismos apartados y el mismo tipo de representación para todas las campañas, que se conservan en el presente informe, de manera que resulte sencillo seguir la evolución de los resultados entre ejecuciones de años sucesivos. También se ha mantenido el esfuerzo por incorporar lo que podrían representar los valores climáticos del sistema, a través de las gráficas de promedios de todo el banco de datos disponible, incluidas como anexo.

Se ha procurado situar las medidas en su contexto meteorológico, para lo cual se recurre a los mapas sinópticos de presiones como reflejo del estado global de la atmósfera a gran escala, y a los registros de viento en alguna estación de superficie, que permita valorar los efectos dispersivos sobre las emisiones del régimen atmosférico registrado durante el tiempo de exposición de los captadores. Se incorporan también los registros de dióxido de nitrógeno de las estaciones de vigilancia de la calidad del aire de la Comunidad Valenciana, siendo ocho las que actualmente se sitúan dentro del rectángulo más urbano determinado por la red semirregular de los captadores pasivos, y dos adicionales que se ubican en las proximidades, dentro del área directa de influencia de la ciudad y en el ámbito del arco periférico. Finalmente, el intento de incorporar el tráfico rodado en estos documentos se limita al correspondiente mapa de intensidades medias diarias del mes correspondiente a cada campaña, proporcionado por el Ayuntamiento de Valencia a través de su página web.

La motivación de los trabajos se justifica nuevamente en la necesidad de abordar el problema de contaminación atmosférica en la Aglomeración de L'Horta (ES1016, ver zonificación de la

Comunidad Valenciana en informes anuales (<http://www.agroambient.gva.es/web/calidad-ambiental/evaluacion-de-la-calidad-del-aire-informes-anales>), donde la ciudad de Valencia genera problemas de calidad del aire que, siendo específicos de su morfología, clima, actividad, ..., también resultan comunes a las grandes aglomeraciones urbanas. La propia complejidad del entramado metropolitano, y la actividad que en su seno se desarrolla, requiere aproximaciones específicas que proporcionen la resolución suficiente para ilustrar las relaciones causa-efecto entre potenciales emisiones y niveles de concentración ambiente. Esta necesidad hace referencia a una suficiente cobertura espacial, que incorpore sustancialmente la rica estructura de la orografía urbana, pero también a la frecuencia temporal de información (dado que el medio atmosférico presenta fuertes variaciones, diurnas, estacionales, anuales, ...), así como a la documentación de aquellos otros factores que condicionan el sistema, y que se refieren fundamentalmente a la caracterización del comportamiento de las emisiones (tráfico).

Bajo el término de *contaminación urbana* (frente a la de carácter industrial) se incluirían situaciones de elevada contaminación en entornos habitados, con alta densidad de población, cuyas emisiones tendrían su origen principalmente en los hábitos de los propios residentes. Esto marcaría algunas de las grandes características de este tipo de problemas: entornos muy complejos, con una fuerte variabilidad espacial (alta anisotropía), que dan lugar a la existencia de elevados gradientes atmosféricos (de todo tipo: viento, temperatura, concentraciones, etc); focos difusos (tráfico, calefacciones, etc) y con patrones de comportamiento variables en el tiempo (ciclos diurnos y estacionales muy marcados).

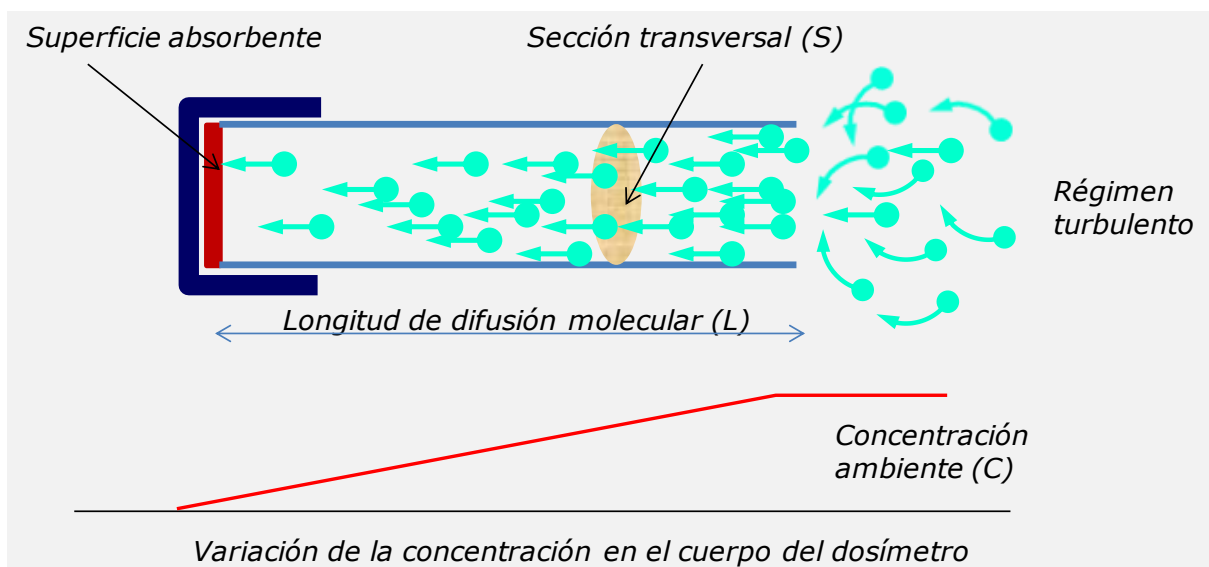


Figura 01. Esquema de la esencia de un captador pasivo, en el que las moléculas se mueven por difusión molecular desde el entorno atmosférico hacia el interior del tubo.

Este tipo de entornos/situaciones presentan gran interés en varios aspectos: son propensas a la ocurrencia de altos niveles de concentración de contaminantes (principalmente primarios – especialmente óxidos de nitrógeno y partículas-), en ocasiones superando los límites normativos; precisamente por tratarse de áreas densamente pobladas, representan una de las causas más importante de la exposición de la población a niveles altos de contaminación (importancia en los estudios epidemiológicos); resultan complicados (y a la vez complejos) de diagnosticar debido a su propia naturaleza variable (en el espacio y el tiempo); como consecuencia, se muestran también complejos de modificar, interviniendo, además de los propios condicionantes técnicos, aspectos sociológicos (hábitos, necesidades, etc).



Las redes de vigilancia habituales proporcionan una primera evaluación de la calidad del aire en estos entornos que, si bien permite alertar de la existencia de una situación anómala de contaminación (p.e. superación de los umbrales permitidos en alguno de los puntos de medida), resultan claramente insuficientes para su adecuado diagnóstico y gestión, en tanto que recogen solo parcialmente la rica estructura, la multifactorialidad y la casuística del problema.

Desde la perspectiva de la legislación medioambiental actual (concretada el RD 102/2011 relativa a la mejora de la calidad del aire), dos retos principales se plantean en este ámbito:

- desarrollar la capacidad de **diagnóstico de los problemas de contaminación en un entorno urbano** con la resolución requerida para una correcta comprensión, para lo cual se precisaría de la implementación de programas de mediciones experimentales con una mayor cobertura (que la estricta red automática), de acuerdo al alto grado de libertad del sistema atmosférico urbano;
- como paso siguiente al diagnóstico (en el estado en que se encuentre) y bajo una demanda legal efectiva (y en este momento urgente derivada del cumplimiento de los requisitos de la actual normativa), se plantea la necesidad de **desarrollar planes de actuación** tendentes a reducir los niveles de contaminación por debajo de los umbrales establecidos; en este sentido no solo se precisa caracterizar el alcance del problema ambiental (diagnóstico) sino entender las *relaciones causa-efecto* (tanto a nivel cualitativo como cuantitativo) a fin de poder diseñar actuaciones sobre aquellas (causas –emisiones-) que desencadenen consecuencias (reductoras) sobre estos (efectos –niveles de concentración-); en esta línea habría incluso una demanda propiamente de descripción de una **metodología de trabajo**.

Sería por lo tanto en este contexto normativo, y con relación a la contaminación urbana, en el que los captadores pasivos proporcionan una herramienta útil de trabajo, que complementaría ventajosamente la disponibilidad de una red de cabinas automáticas con medidas en continuo.

Los *dosímetros pasivos* consisten, generalmente, en un pequeño contenedor (habitualmente en forma de tubo, con una parte permeable -muchas veces aire-) con un extremo expuesto al ambiente y otro cerrado, en el que el gas presente en el ambiente es transportado por difusión molecular desde la parte abierta hasta la parte cerrada, en donde es absorbido por alguna sustancia captadora depositada previamente (ver esquema en figura 1 de la página anterior).

Se establece así un gradiente lineal de concentración, desde el valor exterior ambiente (C, en la boca del tubo), hasta el fondo del mismo, donde la eliminación por reacción química hace que la concentración sea nula. El principio de funcionamiento de los dosímetros se basa precisamente en este transporte del gas por difusión molecular a través de un medio (p.e. el aire del interior de un tubo), hasta que es "atrapado" por el reactivo captador situado al final del mismo, que es capaz de retener el compuesto gaseoso, bien por absorción o por reacción química con el mismo, estableciéndose un gradiente de concentración entre la atmósfera exterior y aquella que está inmediatamente en contacto con la sustancia fijadora. Se puede de esta manera establecer una relación durante el período de muestreo, entre la cantidad de masa del compuesto estudiado retenida en el dosímetro y la concentración ambiente, a través de las leyes que rigen el proceso de difusión molecular.

Cuantitativamente este flujo de cierta sustancia gaseosa a través de otro gas por el hecho de existir un cierto gradiente de concentración viene descrito por la segunda ley de Fick,

$$F = -D \frac{\partial C}{\partial L}$$

Donde F representa el flujo del material gaseoso a través de una sección del tubo, D es el coeficiente de difusión molecular de un determinado gas en el aire (o relativo al medio que en su caso se utilice), y la derivada representa el gradiente de la concentración (C) a lo largo del camino de difusión (L).



El pequeño caudal difusivo existente en este tipo de dispositivos (determinado por el lento proceso de transporte que supone la difusión molecular) hace necesario un tiempo de muestreo habitualmente elevado (comparado con otros métodos de medida activa), que puede variar desde unas horas en ambientes muy contaminados hasta varias semanas en zonas limpias (este tiempo viene condicionado principalmente por la necesidad de acumular suficiente masa en el soporte absorbente como para que pueda ser determinada posteriormente en el laboratorio por el procedimiento analítico que se utilice. El producto obtenido es pues un valor promedio de la concentración ambiente durante todo el tiempo de exposición del dispositivo.

Estos elementos muestreadores presentan algunas claras *ventajas* ante otros métodos de medida activos o automáticos:

- no necesitan energía eléctrica ni ninguna clase de protección externa especial, por lo que pueden ser utilizados en localizaciones remotas, dónde no pueden ser empleados otros métodos de medida;
- resultan en general fáciles de preparar, utilizar, almacenar y analizar;
- no precisan calibración en campo;
- proporcionan en general un procedimiento de medida económico, por lo que puede ser utilizado simultáneamente en varios emplazamientos, permitiendo una amplia cobertura espacial (en todo caso mucho mayor que los costosos equipos electrónicos).

Naturalmente, también presentan *inconvenientes* frente a otras técnicas de medida:

- no pueden utilizarse en cortos periodos de tiempo, proporcionando solo las concentraciones integradas (promedio) para el intervalo temporal de exposición;
- pueden ocurrir errores debidos a las fluctuaciones en las concentraciones del contaminante en la atmósfera y por variación de las condiciones meteorológicas;
- requieren análisis en laboratorio, por lo que se precisa una mínima infraestructura en este sentido;
- la colocación/recogida en campo exige un cierto despliegue de personal y de recursos móviles.

Por lo tanto, cabe resumir que la ventaja más relevante de la metodología pasiva es el bajo coste de la misma, que hace de ella un arma útil para la medida de contaminantes en diversos puntos simultáneamente, aportando la potencialidad de una elevada cobertura espacial, contando como mayor limitación el hecho de proporcionar valores integrados sobre periodos de tiempo relativamente largos, con la consiguiente penalización en la resolución temporal. En general las limitaciones/carencias que presentan los dosímetros vienen dadas por el mismo *proceso de difusión, la variabilidad de la concentración atmosférica, las interferencias químicas o la eficacia de fijación y extracción de la muestra.*

Se continúa así en el presente trabajo las actuaciones expuestas en informes anteriores que tenían por objetivo caracterizar el estado de contaminación por dióxido de nitrógeno con una alta resolución espacial en el entorno de la ciudad de Valencia.

Tal como se indicó, se incluye en el informe la documentación relativa a las **cuatro campañas experimentales con captadores pasivos de dióxido de nitrógeno** realizadas durante el año 2021, que forman parte de la secuencia de cuatro planificadas anualmente, que se referencian respectivamente como "LN1", "LN2", "LN3" y "LN4", y que constituyen correlativamente los muestreos treinta y seis al treinta y nueve del conjunto completo de datos históricos disponibles. Como en ocasiones anteriores, el despliegue experimental de todas las campañas se realizó tanto sobre la red semirregular, de carácter eminentemente urbano, como sobre la red periférica rural (con siete días efectivos de exposición en promedio en todos los casos).

Se siguió en todas las actuaciones la misma metodología de trabajo que en ocasiones anteriores, que no se explicita completamente en el presente documento, más allá de una visión general en el primer capítulo; se remite al informe "*Evaluación de la contaminación atmosférica por dióxido de nitrógeno en el entorno del núcleo metropolitano de la ciudad de Valencia. Medidas experimentales con captadores pasivos.*", versión1, de 21 de junio de 2014, donde se detalla pormenorizadamente las características de la red.



En todos los casos se ha hecho un esfuerzo por integrarlas en el contexto meteorológico en que se realizan, como clave básica para interpretar los resultados, para lo que se ha hecho uso de la estación meteorológica que la Consellería dispone como parte de la infraestructura de sus dependencias (referida como "VALÈNCIA-CONSELLERIA METEO", con código de referencia 46250049) y que cuenta ya con mediciones desde el año 2010. Se ha recurrido como base documental tanto a las series temporales durante el intervalo de muestreo como a las rosas de viento, integrándolas en un contexto climático.

En la presentación de resultados se han mantenido los formatos habituales de informes anteriores, incluyendo la representación puntual nodo a nodo, junto con una interpolación espacial de los niveles de inmisión (con todas las precauciones que dicho procedimiento suscita a la hora de interpretar directamente los mapas). Adicionalmente, aprovechando la creciente cobertura de la base de datos disponible, se ha consolidado la elaboración de los mapas de anomalías (absolutas y relativas respecto a los promedios absolutos) como forma de evaluar la singularidad de cada muestreo respecto a lo que podría ser el modo de comportamiento normal, reflejado a través de los niveles medios. Con ello se aborda de alguna manera el problema de la representatividad temporal de las medidas, en tanto que se resaltan las desviaciones respecto a los niveles medios. Es claro que la limitación temporal de los muestreos (que se irá compensando progresivamente mediante un programa sistemático de medidas) puede introducir sesgos importantes si se pretende extrapolarlos más allá de su propio periodo de obtención, que puede apartarse considerablemente del comportamiento normal (o climático). En esta línea resultan de gran utilidad las series históricas de la red de vigilancia de la calidad del aire, que proporcionan un contexto climático más amplio. En el apartado de recapitulación se realiza un esfuerzo por insertar los resultados del año 2021 en su contexto climático, a través de los registros meteorológicos y de las mediciones de la red de calidad del aire. Las rosas de viento elaboradas para el año 2021 ilustran los posibles cambios aerológicos respecto a un régimen normal, mientras que las distribuciones confeccionadas para el periodo exclusivo de los muestreos reflejan hasta que punto la exposición de los dosímetros recoge la variedad de los escenarios dispersivos representativos del año. Igualmente se muestran y contrastan los resultados de la red automática con las mediciones dosimétricas (a través del registro conjunto de diez estaciones dentro del ámbito geográfico -zonas ES1016 y ES1007-, ocho de ellas dentro de la red semirregular). La comparación de las medidas de inmisión de las diferentes estaciones a lo largo de los distintos muestreos refuerza el carácter complejo del entorno urbano. Aprovechando la disponibilidad de un banco de medidas dosimétricas ya con cierta extensión, y siguiendo la pauta de los mapas de anomalías incluidos en cada campaña, se presentan las correspondientes distribuciones espaciales de las desviaciones de los niveles de dióxido de nitrógeno (anomalías absolutas y relativas) obtenidas a partir del promedio sobre los cuatro muestreos realizados durante el año 2021, respecto al valor medio absoluto (ver anexo).

Se mantiene el anexo final en el que se actualizan, con las nuevas incorporaciones, los mapas y secuencias de concentración promedio (con el mismo formato de las campañas), que van progresivamente incorporando un número creciente de escenarios (el total de la base de datos disponible), como referencia más próxima a los valores climáticos en la zona. De nuevo se incluye en los mapas continuos la isocurva de referencia de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con una fuerte apelación a todas las precauciones que su interpretación conllevaría. Al comienzo del apartado se presenta la relación de campañas disponibles hasta el momento y su discontinua cobertura temporal. Las secuencias de los niveles por nodo siguen siendo una buena representación de la estructura de las inmisiones en el contexto urbano, habiéndose sustituido formalmente por un diagrama de cajas con la caracterización estadística de la población de medidas disponible en cada emplazamiento de muestreo.

Finalmente, contando ya con varios años consecutivos de medidas dosimétricas sistemáticas resulta de interés el valorar su evolución en el tiempo dentro del marco de la propia variabilidad de la red de vigilancia automática próxima, para lo que se presentan los promedios mensuales y anuales de diferentes estaciones y los valores medios de las campañas con los pasivos en las dos redes desplegadas frente a dichos registros de referencia.



DISEÑO EXPERIMENTAL.

La red de medidas dosimétricas sobre la que se ha venido trabajando hasta el momento, y en los actuales muestreos, cuenta con dos subredes (figura 02), una de ellas a la que se refiere como *regular* o *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. 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 (en la figura 03 se muestran algunos detalles de la colocación de los captadores pasivos en emplazamientos representativos de ambas redes).

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, Politènic, Centro* y *Quart de Poblet*). Adicionalmente otras dos (*Paterna-CEAM* y *Burjassot-Facultats*) se encontrarían dentro del área extendida con la red periférica (ver figura 2). La cabina de Valencia-Centro se incorpora ya definitivamente en el análisis de todos los muestreos.

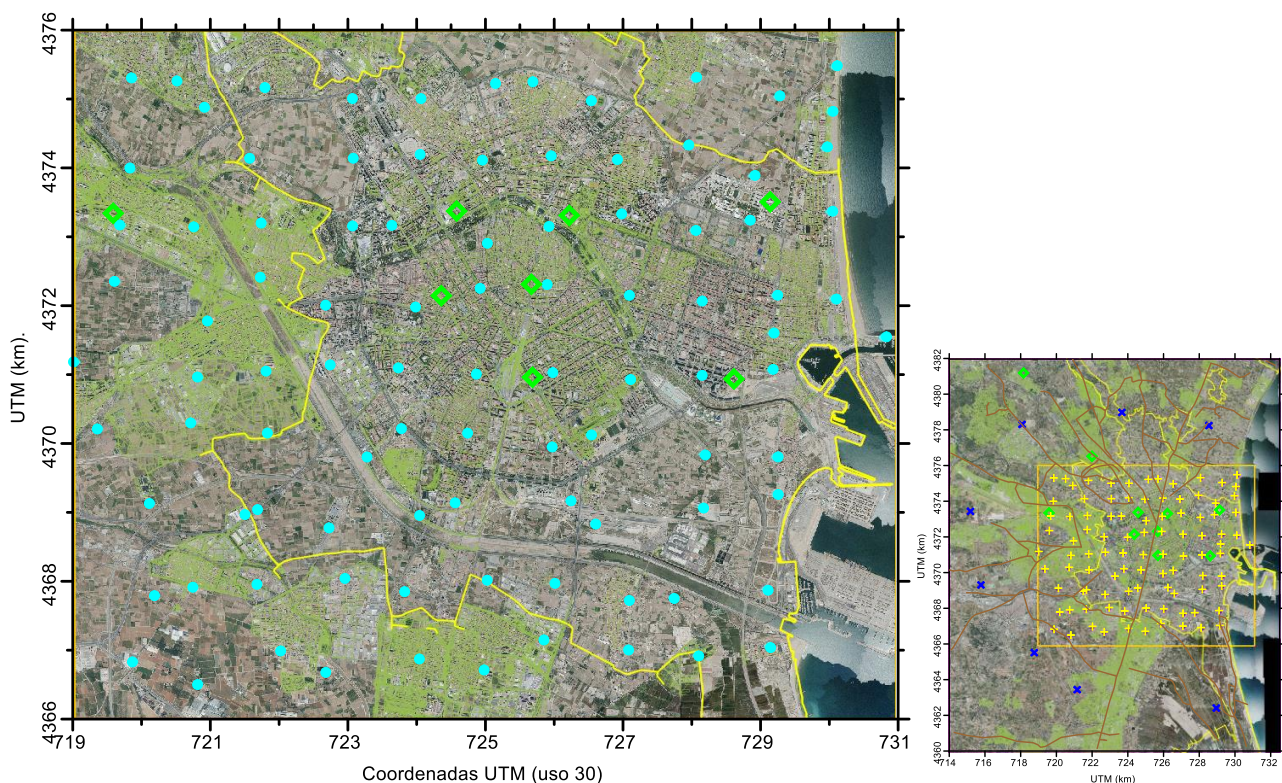


Figura 02. Red de muestreo dosimétrica regular (izquierda –se muestran la situación de las cabinas actuales de la RVVCCA) junto a los emplazamientos periféricos (derecha, cruces azules).



Es claro que las diferentes localizaciones vendrán afectadas por factores locales que condicionen fuertemente los niveles registrados, y cuya caracterización podría matizarse en un estudio de más detalle. Entre estos rasgos cabría diferenciar dos grandes tipos: los que afectarían al grado de ventilación del emplazamiento (anchura de la calle, altura de edificios próximos, presencia de espacios abiertos, alineación con los vientos predominantes, ...), y a la intensidad de las emisiones cercanas (proximidad a redes viarias, frecuencia y ocupación vehicular, densidad de población, ...).



Figura 03. Ejemplo de distintos tipos de emplazamientos, pertenecientes a la red periférica (izquierda y centro), en ambiente estrictamente rural, y el otro en un típico entorno urbano (derecha) como parte de la red regular.

En los puntos siguientes se presentan y analizan los resultados de las sucesivas campañas realizadas durante el año 2021.



CAMPAÑA 'LN1' (10 al 17 de febrero de 2021).

Se insertó la primera campaña del año 2021 en un periodo invernal característico, iniciado con el barrido de la Península por un sistema de borrascas polares, que en la vertiente mediterránea determinó un periodo de circulación de poniente, con temperaturas moderadas en todo el litoral, al que dio paso el asentamiento de las altas presiones atlánticas, con advección de aire de componente norte que supuso un notable descenso de las temperaturas y que en el primer transitorio, bajo un aporte de aire marítimo, dio lugar a unas modestas precipitaciones, localizadas principalmente en la zona costera.

El patrón circulatorio durante los muestreos se asemeja en gran medida al climático mensual, con una preponderancia de vientos del cuarto cuadrante (noroeste), más intensos, correspondientes a situaciones sinópticas características del periodo invernal, con una componente destacada del primer cuadrante (flujo del noreste) que correspondería a la advección marítima referida, origen de las precipitaciones producidas. Estadísticamente la campaña registró intensidades de viento algo menores que las climáticas del mes de febrero, con temperaturas promedio ligeramente más elevadas.

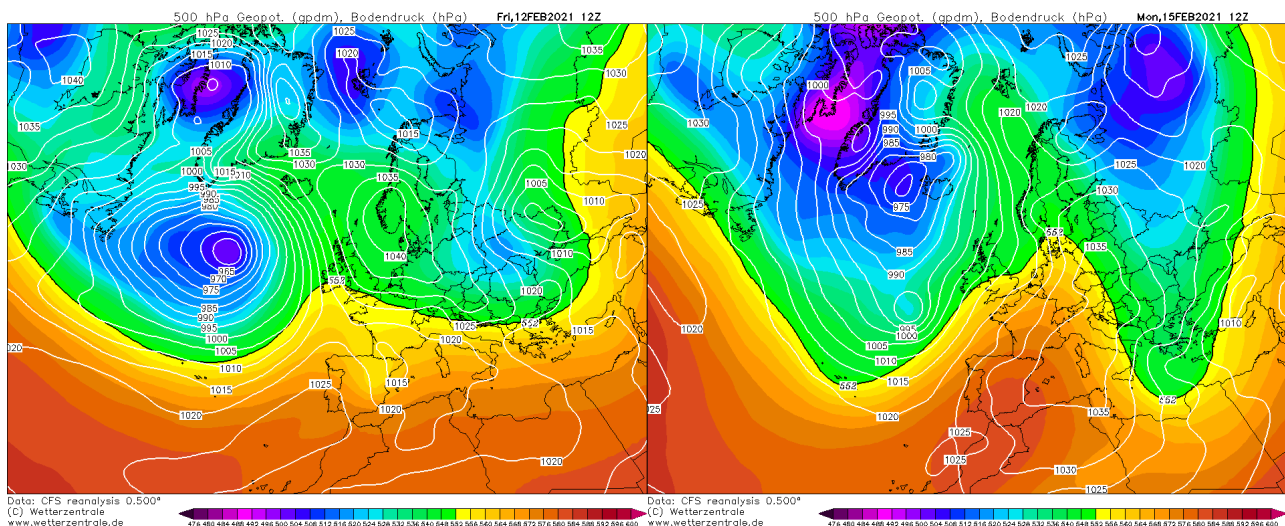


Figura 04. Condiciones meteorológicas a gran escala registradas en dos momentos del periodo de muestreos dosimétricos LN1.

Tabla 01. Valores promedio de las principales magnitudes meteorológicas registrados durante la campaña LN1, comparados con los normales para el mes de febrero (la velocidad máxima consignada corresponde al valor medio de los máximos diezminutales registrados).

Magnitud	Campaña	Febreros
Velocidad (m/s)	2.8	3.0
Velocidad Máxima (m/s)	6.6	7.2
Temperatura (C)	14.1	12.5
Humedad Relativa (%)	60.6	56.2
Presión (mb)	1010.8	1007.3
Lluvia acumulada (mm)	6.0	

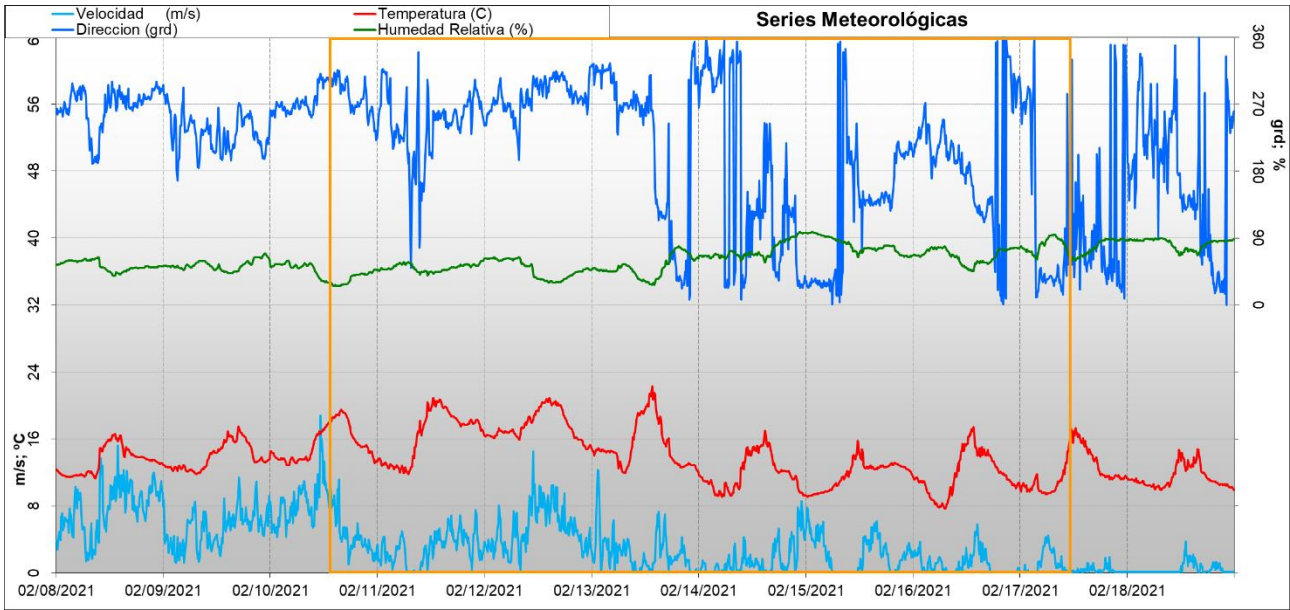


Figura 05. Series temporales de los principales parámetros meteorológicos registrados durante el periodo de muestreos LN1 (valores procedentes de la estación "VALÈNCIA-CONSELLERIA METEO").

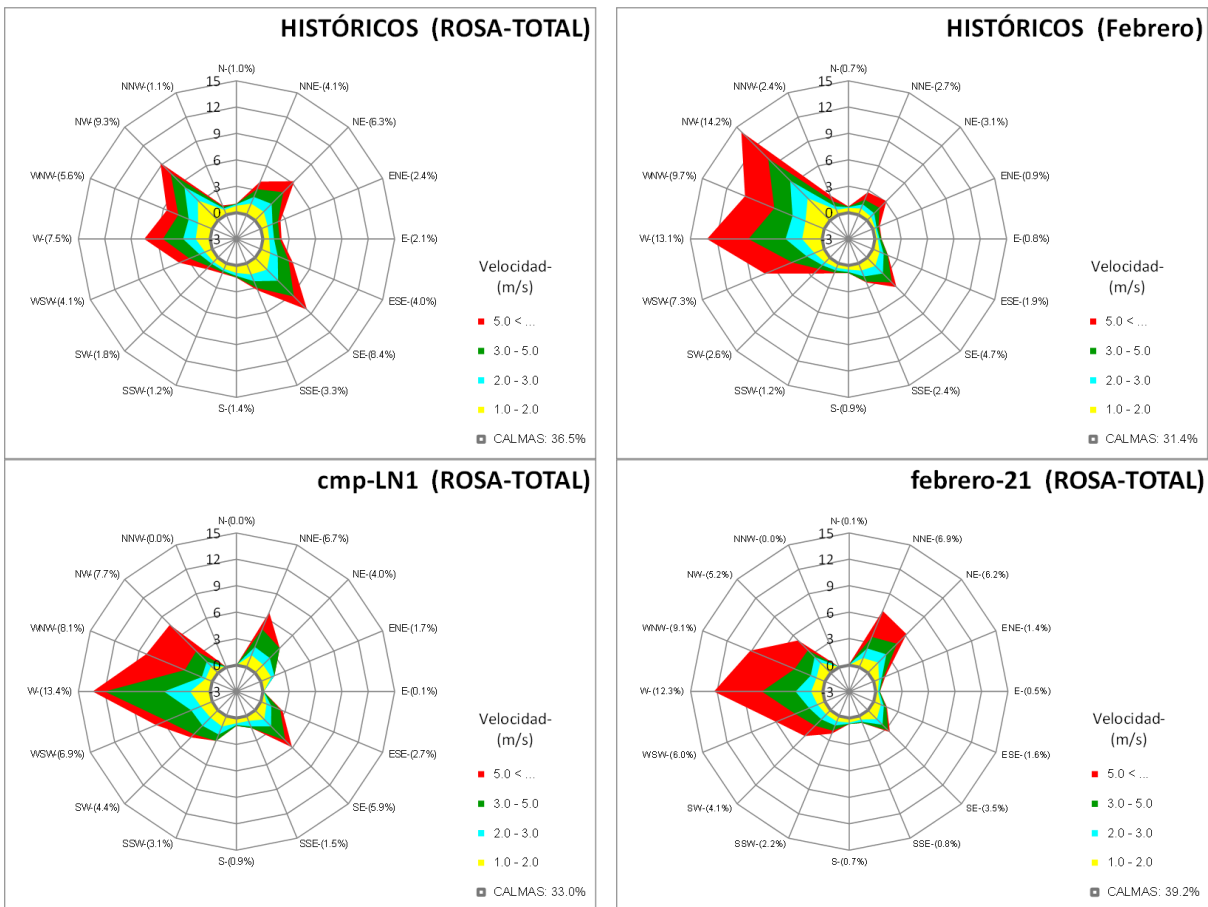


Figura 06. Rosas de viento elaboradas con las medidas de la estación VALÈNCIA-CONSELLERIA-METEO. Se presentan las rosas para el periodo de datos completo disponible 2010-2020 (superior izquierda), la rosa climática del mes de febrero (superior derecha) y la correspondiente solo al mes de febrero del 2021 (inferior derecha) y, finalmente, la rosa para el intervalo estricto de muestreo con los captadores pasivos LN1 (inferior izquierda).

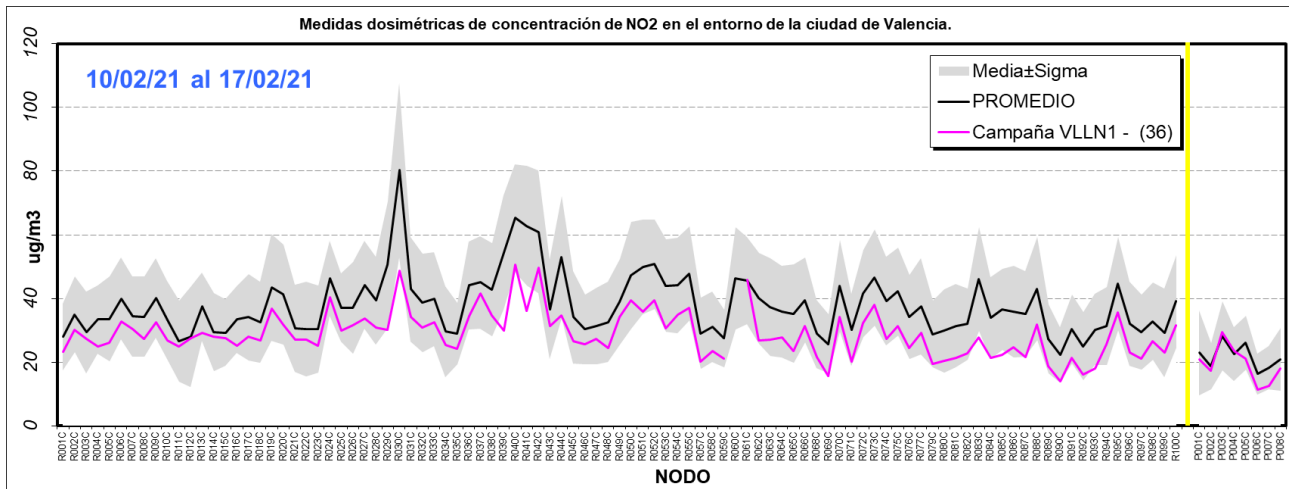


Figura 07. Niveles de concentración de NO₂ para los puntos de medida de la red dosimétrica obtenidos durante la campaña LN1 (línea magenta) frente a los promedios históricos disponibles para los mismos emplazamientos (se muestra el valor medio –línea negra– con un margen de una sigma por ambos lados). A la derecha de la línea vertical amarilla se sitúan los nodos de la red periférica.

Tabla 02: Estadísticos del muestreo LN1 relativos a los correspondientes a la muestra completa.

		PROMEDIO ABSOLUTO (µg/m ³)	PROMEDIO Cmp LN1 (µg/m ³)	Diferencia (%)
Red regular	Media	37.8	28.9	-23.6
	Mediana	35.8	27.5	-23.2
	Sigma	10.1	7.1	-29.6
	P95	53.3	40.6	-23.7
	P05	27.4	19.3	-29.7
	Max	80.2	50.7	-36.9
	Min	22.3	14.0	-37.2
Red periférica	Media	21.8	19.3	-11.5
	Mediana	21.7	19.4	-10.5
	Sigma	7.9	5.9	-25.8
	P95	27.6	27.4	-0.7
	P05	17.0	11.8	-30.9
	Max	28.4	29.5	4.0
	Min	16.3	11.3	-30.7

A pesar de condiciones aerológicamente desfavorables desde el punto de vista dispersivo, con velocidades inferiores a las normales, las mediciones de dióxido de nitrógeno en el contexto urbano registraron niveles notablemente inferiores a la media en todos los nodos, tanto en la red regular como en la periférica. De acuerdo a la tabla 02 la reducción de las concentraciones



se situaría en torno a un 23% de media en la red regular, algo inferior en la periférica, con diferencias de hasta el 40% en los valores máximos alcanzados.

Las distribuciones de concentraciones dosimétricas en las dos redes (figura 08) reflejan la reducción de los valores actuales respecto a los normales, que especialmente se manifiesta en una menor frecuencia de concentraciones elevadas, mostrándose en ambos escenarios acampanadas y bastante simétricas en torno a la media.

Las distribuciones espaciales de las concentraciones registradas reproducen la morfología de otros muestreos, con el patrón similar de niveles máximos focalizados en el núcleo más central del entramado urbano donde, por otra parte, resultan más notables las reducciones, según se muestra en las dos gráficas de anomalías de la figura 11.

Los registros equivalentes de la red automática de vigilancia (figuras 12 y 13 y tabla 03) confirman el comportamiento de los niveles dosimétricos, por debajo de los valores medios históricos. Las series temporales de alta resolución reflejan los valores moderados durante el primer tramo de exposición, resultado de la limpieza asociado a la circulación persistente del oeste, que se recupera en el tramo final con el establecimiento de las condiciones anticiclónicas más estables.

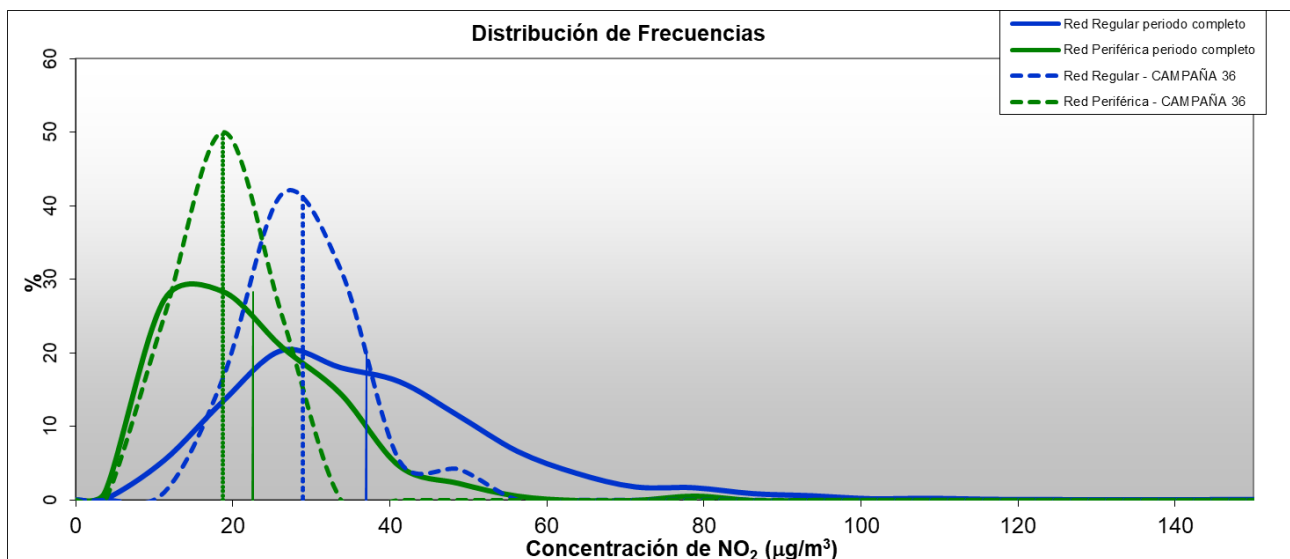


Figura 08. Distribución de frecuencias de las medidas dosimétricas de NO_2 para las dos redes: base de datos total (líneas continuas) y muestreo actual LN1 (líneas a trazos). Todas las distribuciones están normalizadas. Las concentraciones indicadas por las líneas verticales representan los valores medios de las correspondientes poblaciones.

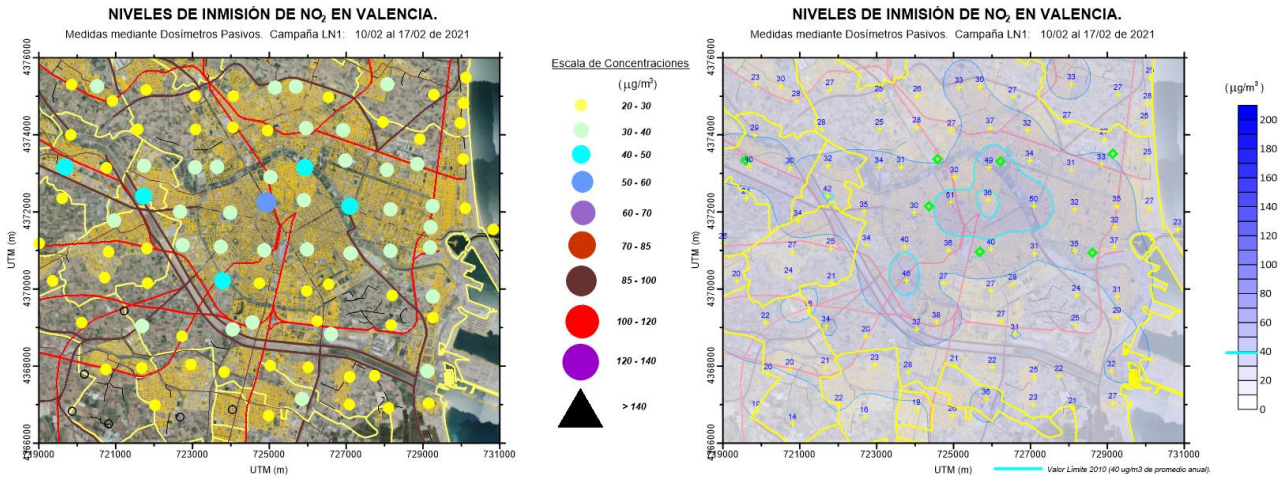


Figura 09. Concentraciones de NO₂ obtenidas durante la campaña LN1 en el entorno de la ciudad de Valencia, para la red regular (en los nodos de medida -mapa de la izquierda- e interpoladas sobre todo el dominio espacial -derecha-).

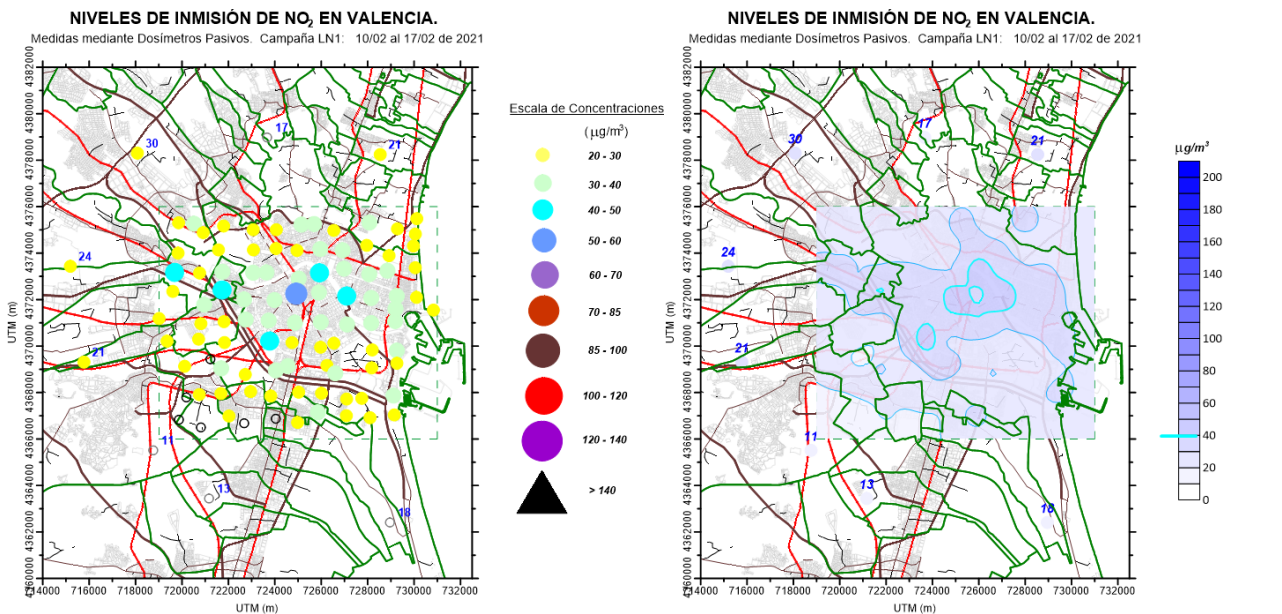


Figura 10. Concentraciones de NO₂ obtenidas durante la campaña LN1 en la que se integran la red regular y la periférica (similar a las gráficas de la figura 9 en su formato).

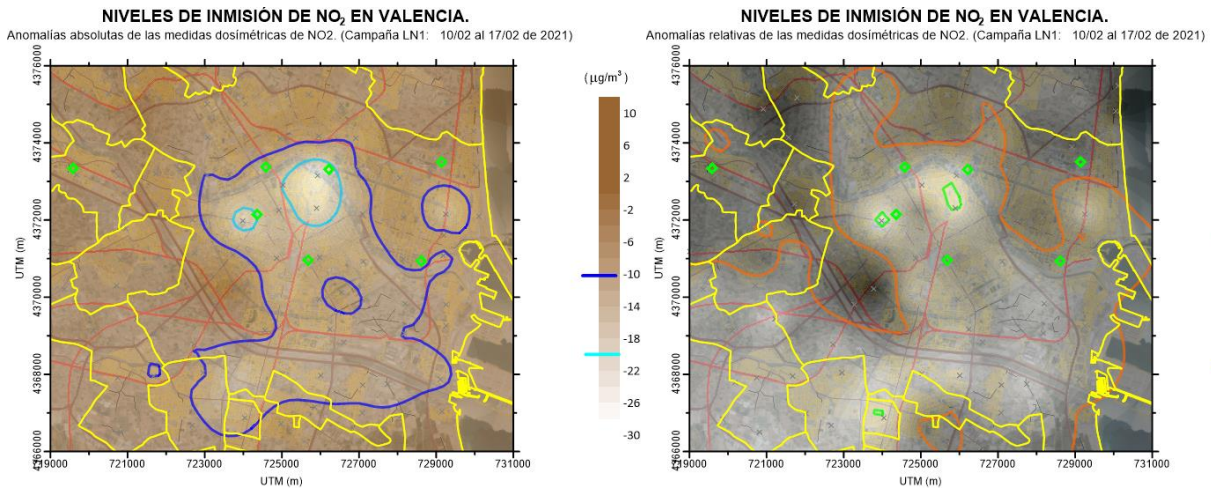


Figura 11. Representación de la distribución espacial de las anomalías absolutas (izquierda) y relativas (derecha) de las concentraciones de NO₂ obtenidas durante la campaña LN1 (respecto al total de los valores promedio histórico para la malla regular de la red de muestreo). En ambas gráficas se resalta alguna isocurva de referencia (en el caso de las variaciones relativas, el valor 100 representa los puntos sin cambio).

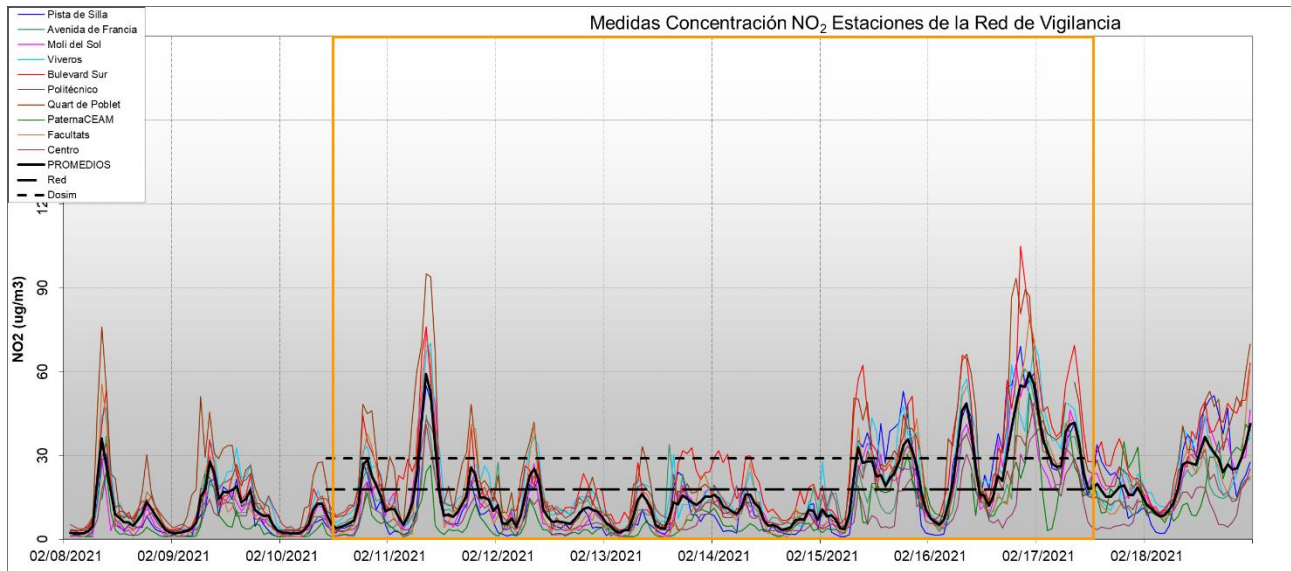


Figura 12. Series temporales de concentración de NO₂ registradas durante el periodo de exposición de los captadores pasivos durante la campaña LN1 (recuadro). La curva negra resaltada representa el promedio de todas las estaciones. Se indican en las dos líneas de trazos los niveles promedio dosimétricos (cortos) y automáticos-regular (según se transcriben en la tabla 03).

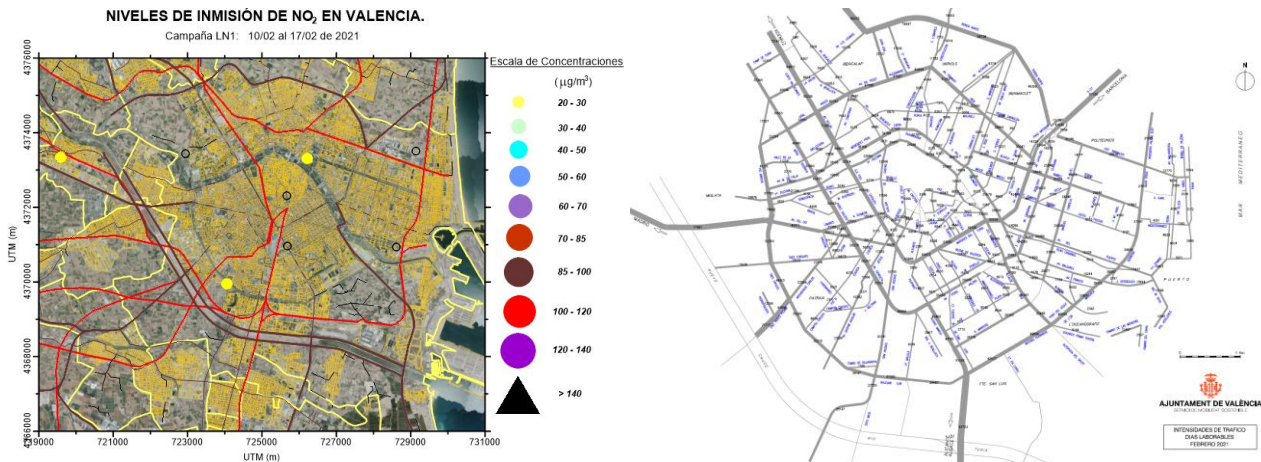


Figura 13. Niveles de concentración promedio de NO₂ medidos por las cabinas automáticas en la ciudad de Valencia durante el mismo periodo de exposición dosimétrica (izquierda), junto a los niveles de tráfico rodado registrados en la red urbana durante el mes de febrero/20210 (fuente web del Ayuntamiento de Valencia).

Tabla 03. Niveles promedio de concentración de NO₂ (todos en µg/m³) registrados en las cabinas de vigilancia de la red valenciana en el entorno de la ciudad de Valencia para el periodo coincidente con la exposición de los dosímetros durante el muestreo LN1 (valor medio red regular y concentración puntual máxima absoluta), comparados con los niveles medios de aquellos (se incluye referencia media del mes de febrero).

Estación	Media	Máximo Horario	Media Febreros
València - Pista de Silla *	16	69	43
València -Avd. Francia *	15	61	37
València - Molí del Sol *	15	74	32
València - Vivers *	21	70	33
València -Bulevard Sud *	25	105	37
València - Politécnic *	10	41	30
Quart de Poblet *	24	95	33
Paterna CEAM	9	52	21
Burjassot - Facultats	17	80	30
València - Centro *	16	49	42
Red Dosimétrica	29	51	
Cabinas Totales	17	105	34
Cabinas Red Regular (*)	18	105	36
% Dosim/Red	162	203	



CAMPAÑA 'LN2' (12 al 19 de mayo de 2021).

Las condiciones meteorológicas en las que se desarrolla el muestreo primaveral durante el año en curso reproducen en cierto modo la variabilidad atmosférica del periodo equinocial, en una configuración sinóptica que durante la mayor parte de los días de campaña mantiene una circulación zonal, bajo la presencia de altas presiones en posición meridional y una secuencia de ondas polares que barren sucesivamente la vertiente norte Peninsular. En la costa levantina se mantienen vientos persistentes del oeste en capas altas, frecuentemente acoplados en superficie, que dan lugar a un patrón fuertemente advectivo, tal y como reflejan las rosas de vientos del periodo, con mayores frecuencias en torno al oeste para los rangos más elevados de velocidad, resaltando en este sentido el periodo estricto de muestreo respecto al mes de mayo del año en curso y también respecto al comportamiento climático en el mismo mes. Predominan por tanto situaciones de vientos moderados de tierra, persistentes, tal como muestran las series temporales de la figura 15, con temperaturas altas, que alcanzan valores por encima de los 30°C en algún momento, interrumpidas por vientos locales de brisa que se desarrollan cuando amaina la circulación general, en los que se aprecia la reducción térmica asociada a la entrada de la masa marítima. Periodo caracterizado pues por intensidades del viento superiores a las normales del periodo (tabla 04), temperaturas medias más altas y menor humedad.

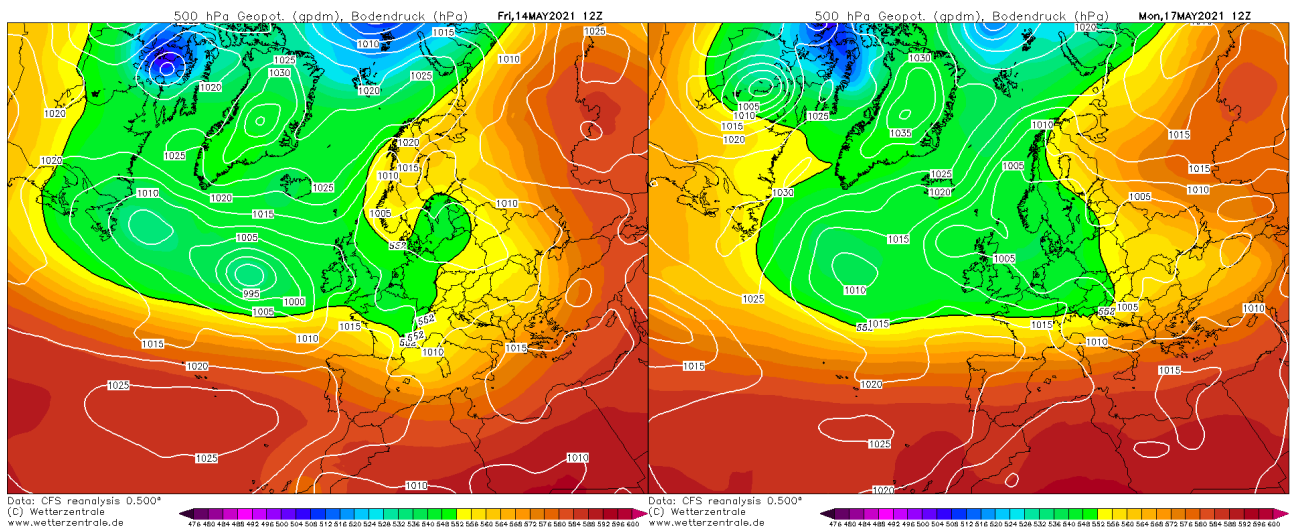


Figura 14. Condiciones meteorológicas a gran escala registradas en dos momentos del periodo de muestros dosimétricos LN2.

Tabla 04. Valores promedio de las principales magnitudes meteorológicas registrados durante la campaña LN2, comparados con los normales para el mes de mayo (la velocidad máxima consignada corresponde al valor medio de los máximos diezminutales registrados).

Magnitud	Campaña	Mayos
Velocidad (m/s)	3.0	2.2
Velocidad Máxima (m/s)	7.7	5.5
Temperatura (C)	21.5	19.4
Humedad Relativa (%)	57.5	63.2
Presión (mb)	1001.3	1004.5
Lluvia acumulada (mm)	0.0	

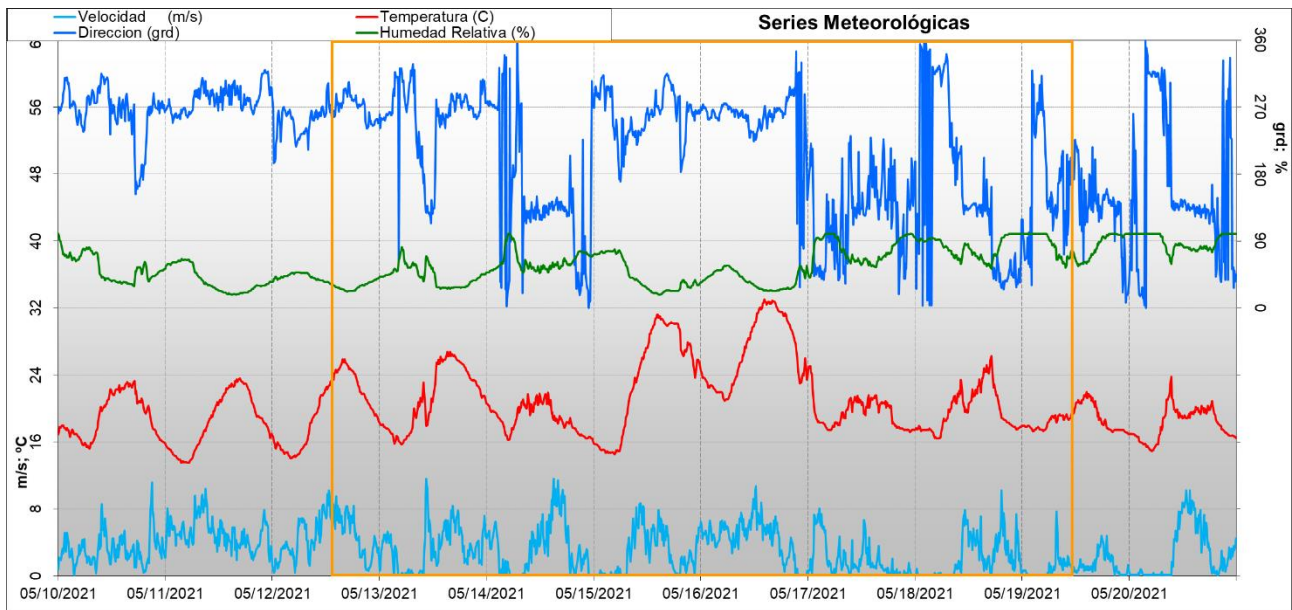


Figura 15. Series temporales de los principales parámetros meteorológicos registrados durante el periodo de muestreos LN2 (valores procedentes de la estación "VALÈNCIA-CONSELLERIA METEO").

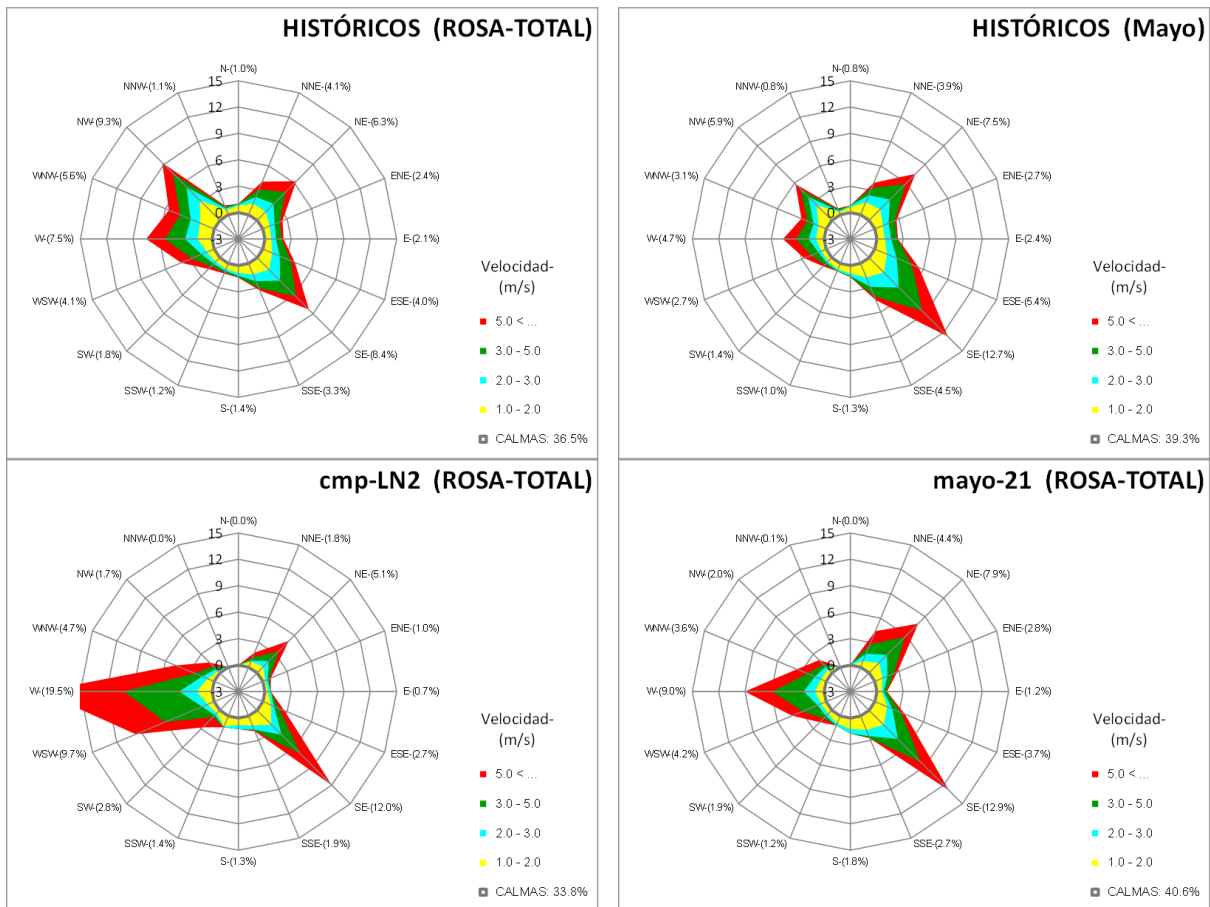


Figura 16. Rosas de viento elaboradas con las medidas de la estación VALÈNCIA-CONSELLERIA-METEO. Se presentan las rosas para el periodo de datos completo disponible 2010-2020 (superior izquierda), la rosa climática del mes de mayo (superior derecha) y la correspondiente solo al mes de mayo del 2021 (inferior derecha) y, finalmente, la rosa para el intervalo estricto de muestreo con los captadores pasivos LN2 (inferior izquierda).

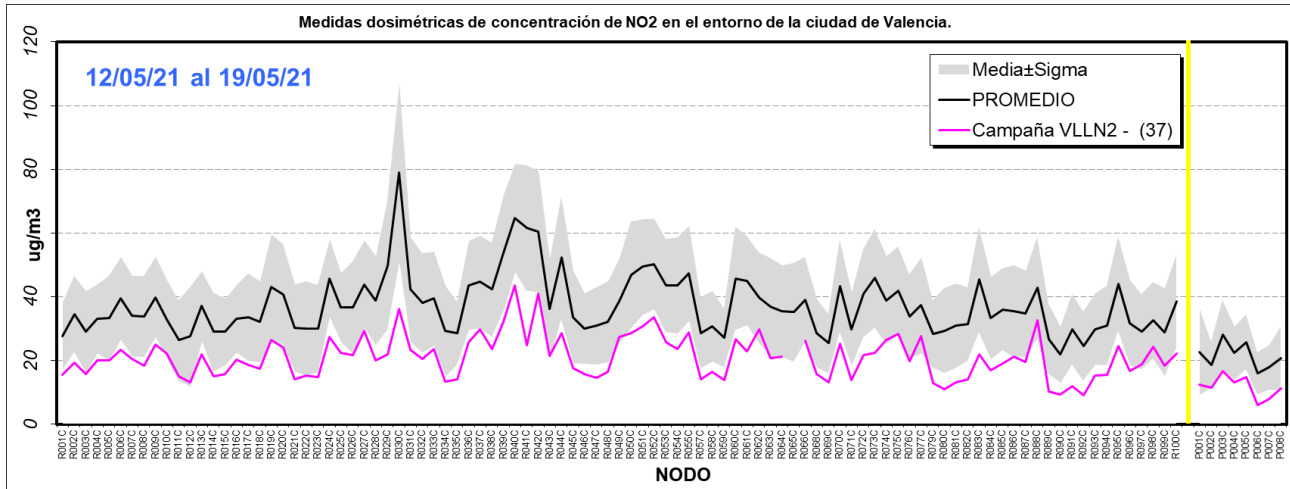


Figura 17. Niveles de concentración de NO₂ para los puntos de medida de la red dosimétrica obtenidos durante la campaña LN2 (línea magenta) frente a los promedios históricos disponibles para los mismos emplazamientos (se muestra el valor medio –línea negra– con un margen de una sigma por ambos lados). A la derecha de la línea vertical amarilla se sitúan los nodos de la red periférica.

Tabla 05. Estadísticos del muestreo LN2 relativos a los correspondientes a la muestra completa.

		PROMEDIO ABSOLUTO (µg/m ³)	PROMEDIO Cmp LN2 (µg/m ³)	Diferencia (%)
Red regular	Media	37.3	21.1	-43.5
	Mediana	35.4	20.5	-42.1
	Sigma	10.0	6.7	-33.1
	P95	52.6	32.2	-38.8
	P05	27.0	12.7	-52.9
	Max	79.0	43.5	-45.0
	Min	21.9	9.1	-58.5
Red periférica	Media	21.5	11.7	-45.5
	Mediana	21.5	12.0	-44.3
	Sigma	7.8	3.5	-55.4
	P95	27.3	16.0	-41.2
	P05	16.7	6.7	-60.3
	Max	28.1	16.7	-40.6
	Min	16.1	6.0	-62.6



Los niveles de concentración ambiente registrados en la red dosimétrica se situaron así notablemente por debajo de los valores medios históricos en todos los nodos, tal como refleja la figura 17, donde en la mayoría de los casos están fuera de la banda de la media menos una desviación típica. En términos estadísticos la reducción promedio en los niveles de dióxido de nitrógeno medidos en ambas redes, semirregular y periférica, alcanza niveles superiores al 40%, con máximos individuales en torno al 60%.

El reflejo en la distribución de concentraciones, en comparación con la muestra conjunta (figura 18), muestra el colimado de los valores en torno a los niveles medios, donde el efecto dispersivo uniformiza notablemente los niveles ambientales, eliminando la cola hacia las concentraciones superiores que muestran las distribuciones históricas.

La bajada de los valores de concentración atmosférica tiene su reflejo en la distribución espacial en la ciudad, tal y como se ve en los mapas de las figuras 19 y 20, en el que el patrón se muestra muy diluido, con los máximos circunscritos al núcleo central. Las anomalías (figura 11) muestran un descenso extendido a todo el entorno urbano y, como en el caso anterior, más pronunciado en el núcleo central del casco antiguo.

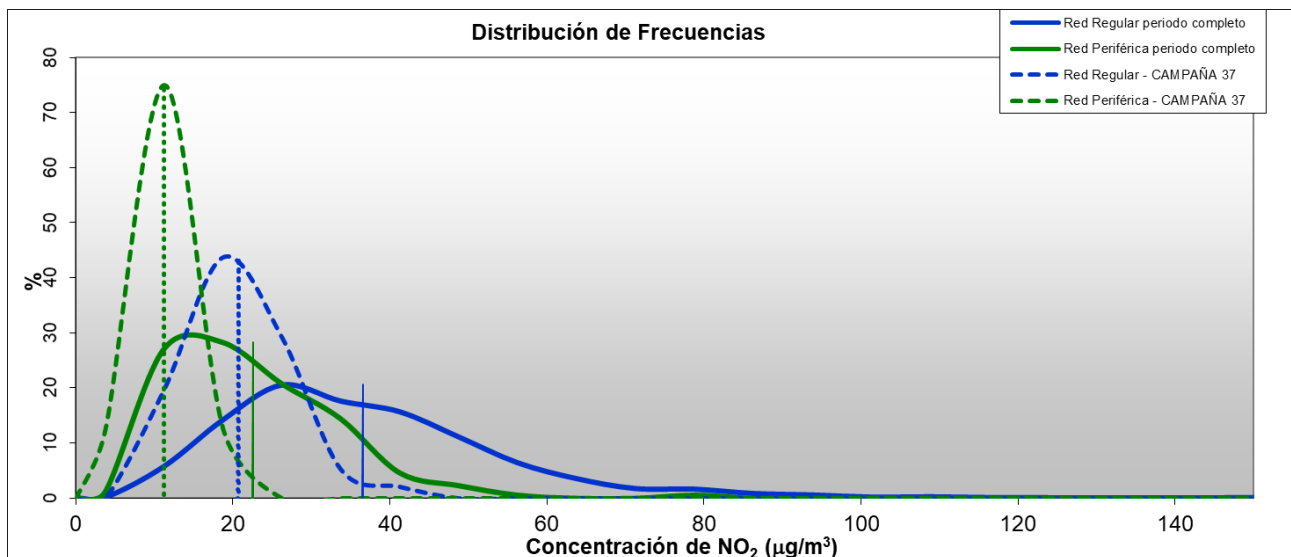


Figura 18. Distribución de frecuencias de las medidas dosimétricas de NO₂ para las dos redes: base de datos total (líneas continuas) y muestreo actual LN2 (líneas a trazos). Todas las distribuciones están normalizadas. Las concentraciones indicadas por las líneas verticales representan los valores medios de las correspondientes poblaciones.

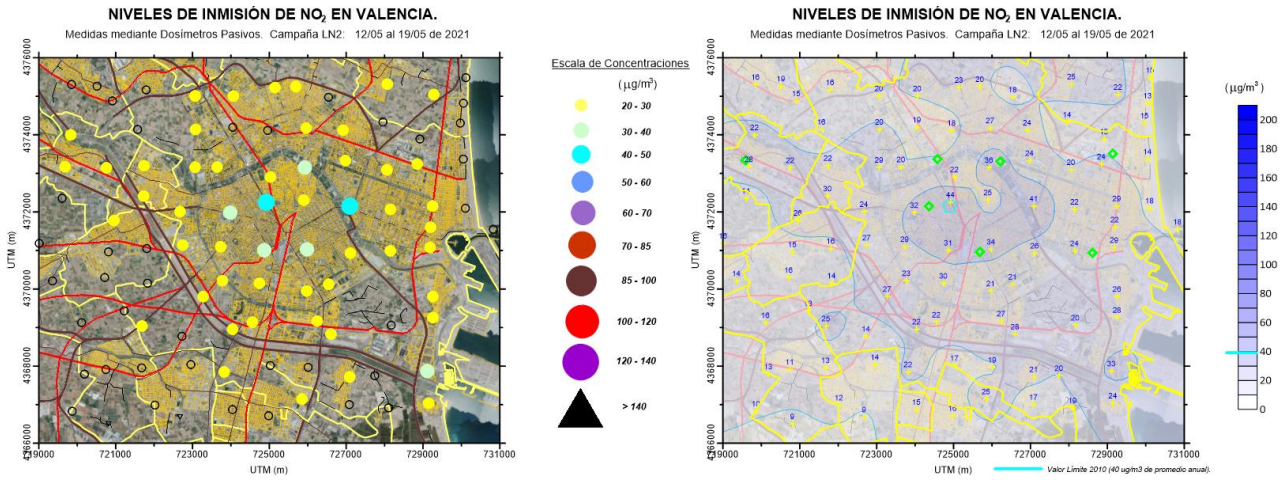


Figura 19. Concentraciones de NO₂ obtenidas durante la campaña LN2 en el entorno de la ciudad de Valencia, para la red regular (en los nodos de medida -mapa de la izquierda- e interpoladas sobre todo el dominio espacial -derecha-).

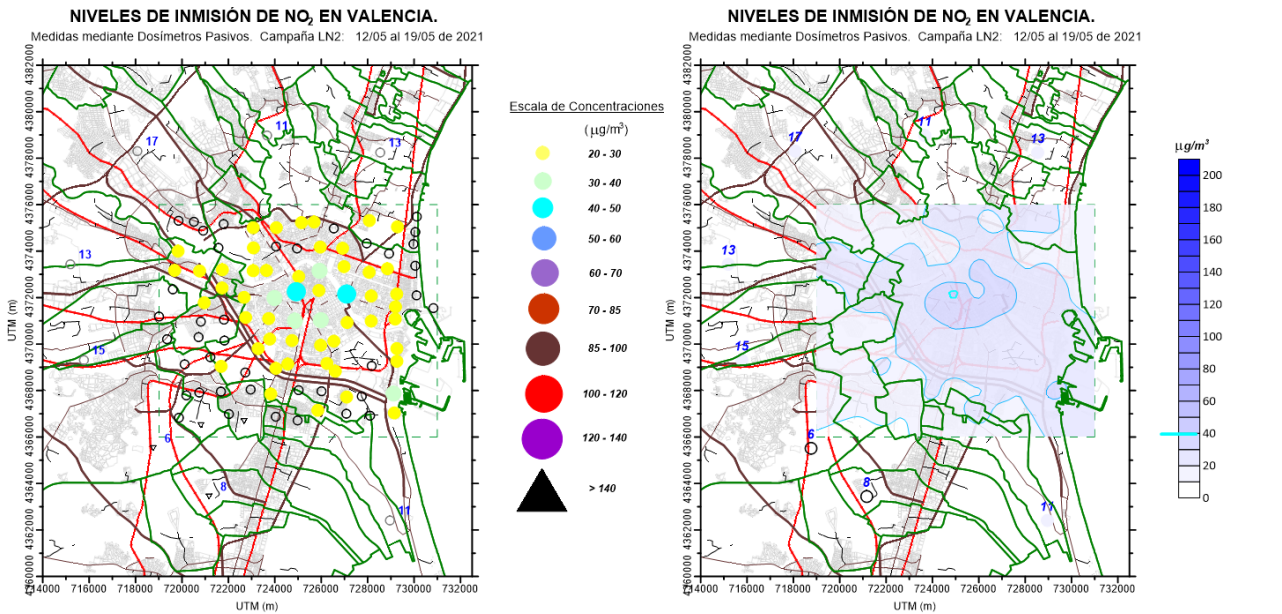


Figura 20. Concentraciones de NO₂ obtenidas durante la campaña LN2 en la que se integran la red regular y la periférica (similar a las gráficas de la figura 19 en su formato).

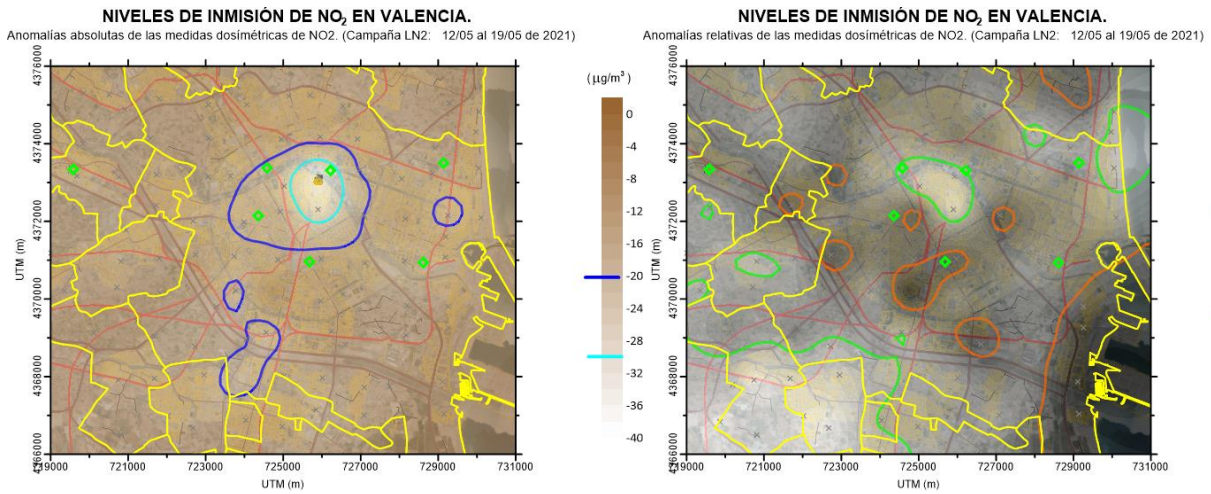


Figura 21. Representación de la distribución espacial de las anomalías absolutas (izquierda) y relativas (derecha) de las concentraciones de NO₂ obtenidas durante la campaña LN2 (respecto al total de los valores promedio históricos para la malla regular de la red de muestreo). En ambas gráficas se resalta alguna isocurva de referencia (en el caso de las variaciones relativas, el valor 100 representa los puntos sin cambio).

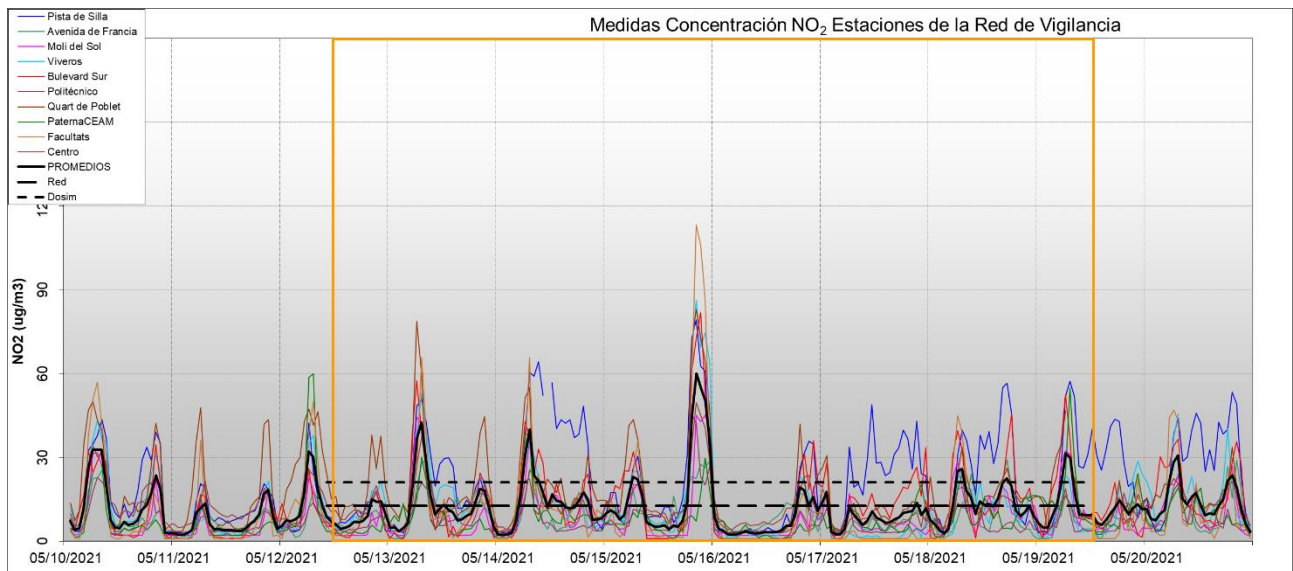


Figura 22. Series temporales de concentración de NO₂ registradas durante el periodo de exposición de los captadores pasivos durante la campaña LN2 (recuadro). La curva negra resaltada representa el promedio de todas las estaciones. Se indican en las dos líneas de trazos los niveles promedio dosimétricos (cortos) y automáticos-regular (según se transcriben en la tabla 06).

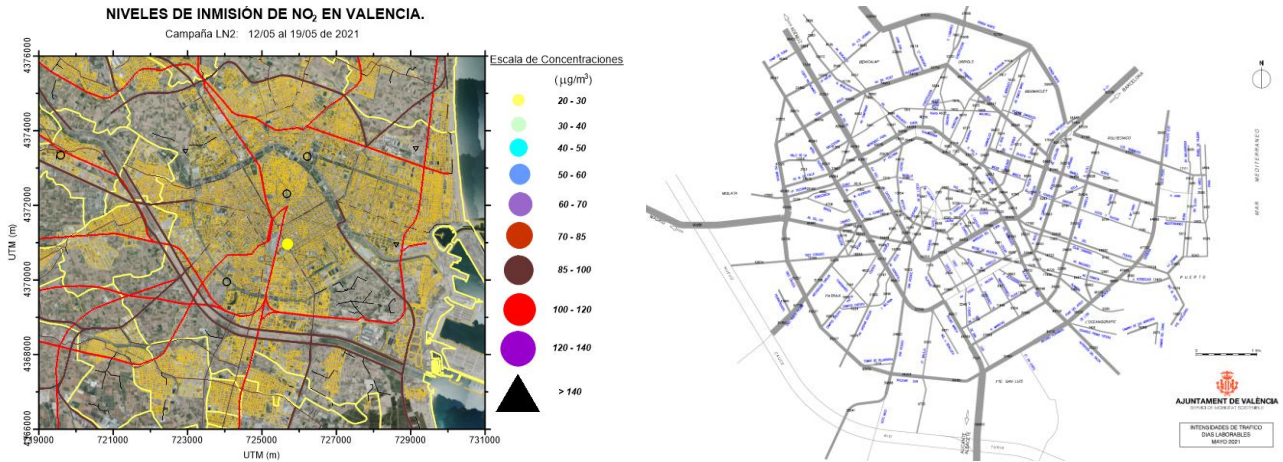


Figura 23. Niveles de concentración promedio de NO_2 medidos por las cabinas automáticas en la ciudad de Valencia durante el mismo periodo de exposición dosimétrica (izquierda), junto a los niveles de tráfico rodado registrados en la red urbana durante el mes de mayo/2021 (fuente web del Ayuntamiento de Valencia).

Tabla 06. Niveles promedio de concentración de NO_2 (todos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) registrados en las cabinas de vigilancia de la red valenciana en el entorno de la ciudad de Valencia para el periodo coincidente con la exposición de los dosímetros durante el muestreo LN2 (valor medio red regular y concentración puntual máxima absoluta), comparados con los niveles medios de aquellos (se incluye referencia media del mes de mayo).

Estación	Media	Máximo Horario	Media Mayos
València - Pista de Silla *	21	79	36
València -Avd. Francia *	9	29	23
València - Molí del Sol *	9	45	23
València - Vivers *	12	86	20
València -Bulevard Sud *	14	82	29
València - Politécnic *	7	46	20
Quart de Poblet *	17	83	22
Paterna CEAM	8	55	13
Burjassot - Facultats	11	113	19
València - Centro *	12	50	21
Red Dosimétrica	21	43	
Cabinas Totales	12	86	22
Cabinas Red Regular (*)	13	86	24
% Dosim/Red	167	207	

CAMPAÑA 'LN3' (15 al 22 de julio de 2021).

Se inicia el muestreo estival justo después del paso de una perturbación polar que barrió la mitad septentrional de la Península, dejando espacio para el refuerzo de las altas presiones atlánticas cuyo núcleo se va situando progresivamente en latitudes septentrionales, hasta posicionarse sobre las Islas Británicas, reforzado en altura con una dorsal sobre la vertical Peninsular. Prevalecen de este modo condiciones de estabilidad atmosférica que propician el desarrollo de regímenes diurnos de brisa durante toda la semana, con una clara onda diurna (como muestran las series temporales) donde la entrada de la componente marina contribuye a moderar considerablemente las temperaturas. El patrón aerológico, tal y como muestran las rosas de viento de la figura 26, se ajusta al modelo climático durante la campaña actual, con elevado porcentaje de vientos flojos y un predominio de la componente diurna de la brisa, habitualmente con una manifiesta procedencia del sureste. En situaciones como la presente en que el núcleo de altas presiones se sitúa al norte del territorio Peninsular, hay un cierto forzamiento del noreste, asociado a la propia circulación anticiclónica, que suele manifestarse al final de la tarde e inicio de la noche, cuando la relajación del calentamiento diurno hace que el viento role a dicha dirección (ver reflejo en la rosa de vientos), hasta que la componente nocturna de tierra se va reforzando y acaba estableciendo su circulación en superficie. En tal escenario, los vientos resultaron menos intensos que los normales del mes, ligerísimamente más frescos y bastante más húmedos (ver tabla 07).

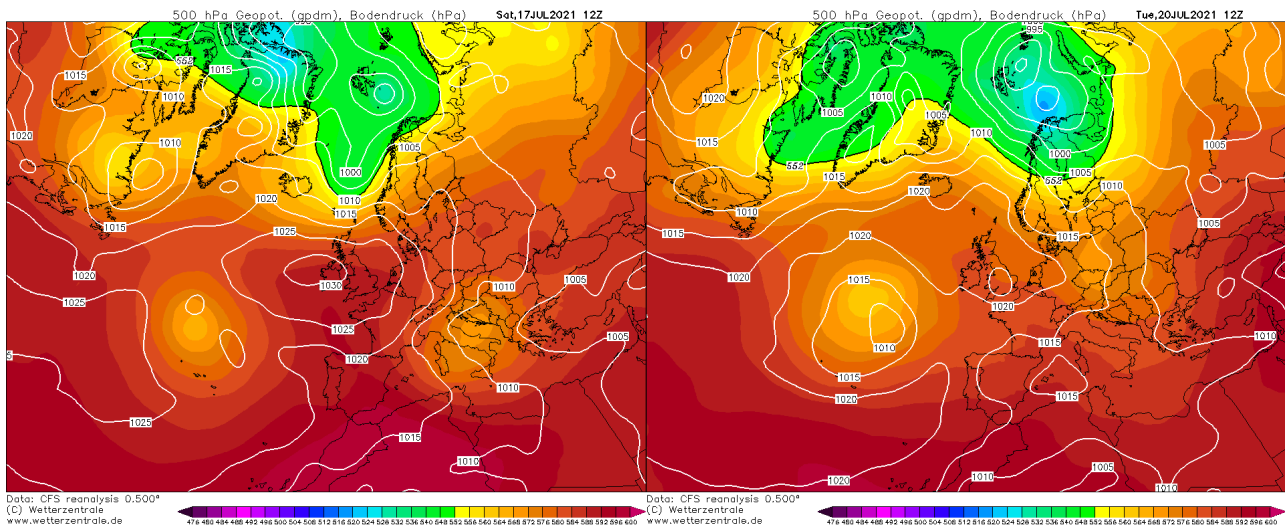


Figura 24. Condiciones meteorológicas a gran escala registradas en dos momentos del periodo de muestreos dosimétricos LN3.

Tabla 07. Valores promedio de las principales magnitudes meteorológicas registrados durante la campaña LN3, comparados con los normales para el mes de julio (la velocidad máxima consignada corresponde al valor medio de los máximos diezminutales registrados).

Magnitud	Campaña	Julios
Velocidad (m/s)	1.6	2.1
Velocidad Máxima (m/s)	4.7	5.2
Temperatura (C)	24.9	25.7
Humedad Relativa (%)	88.2	69.8
Presión (mb)	1002.1	1003.5
Lluvia acumulada (mm)	2.8	

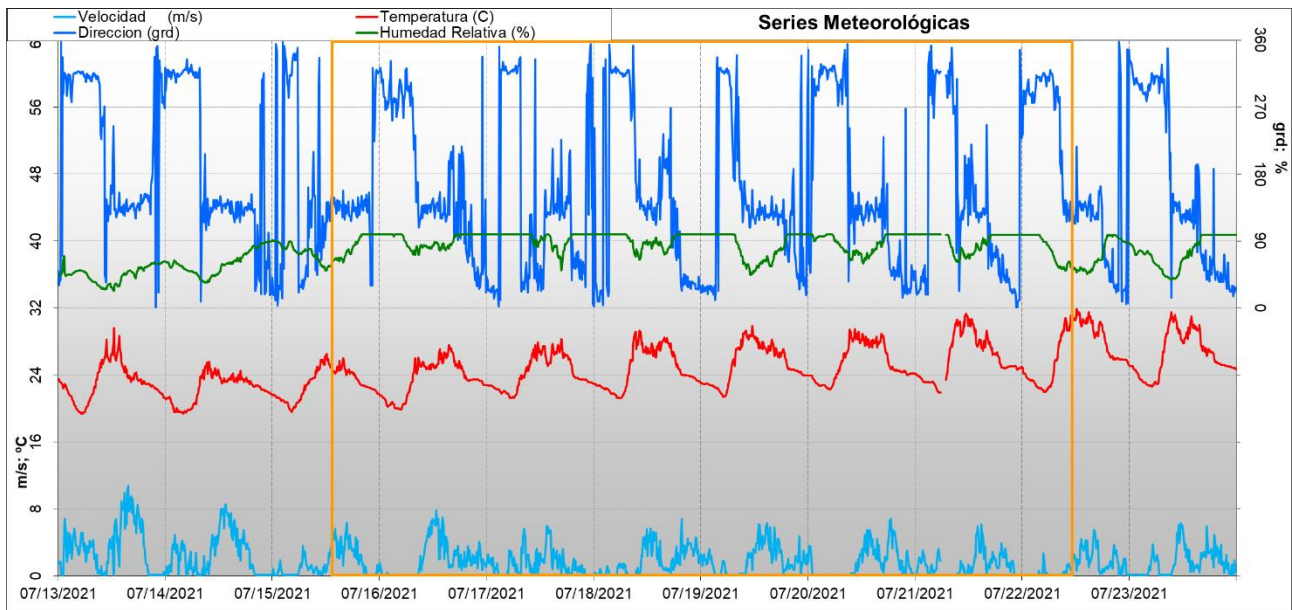


Figura 25. Series temporales de los principales parámetros meteorológicos registrados durante el periodo de muestreos LN3 (valores procedentes de la estación "VALÈNCIA-CONSELLERIA METEO").

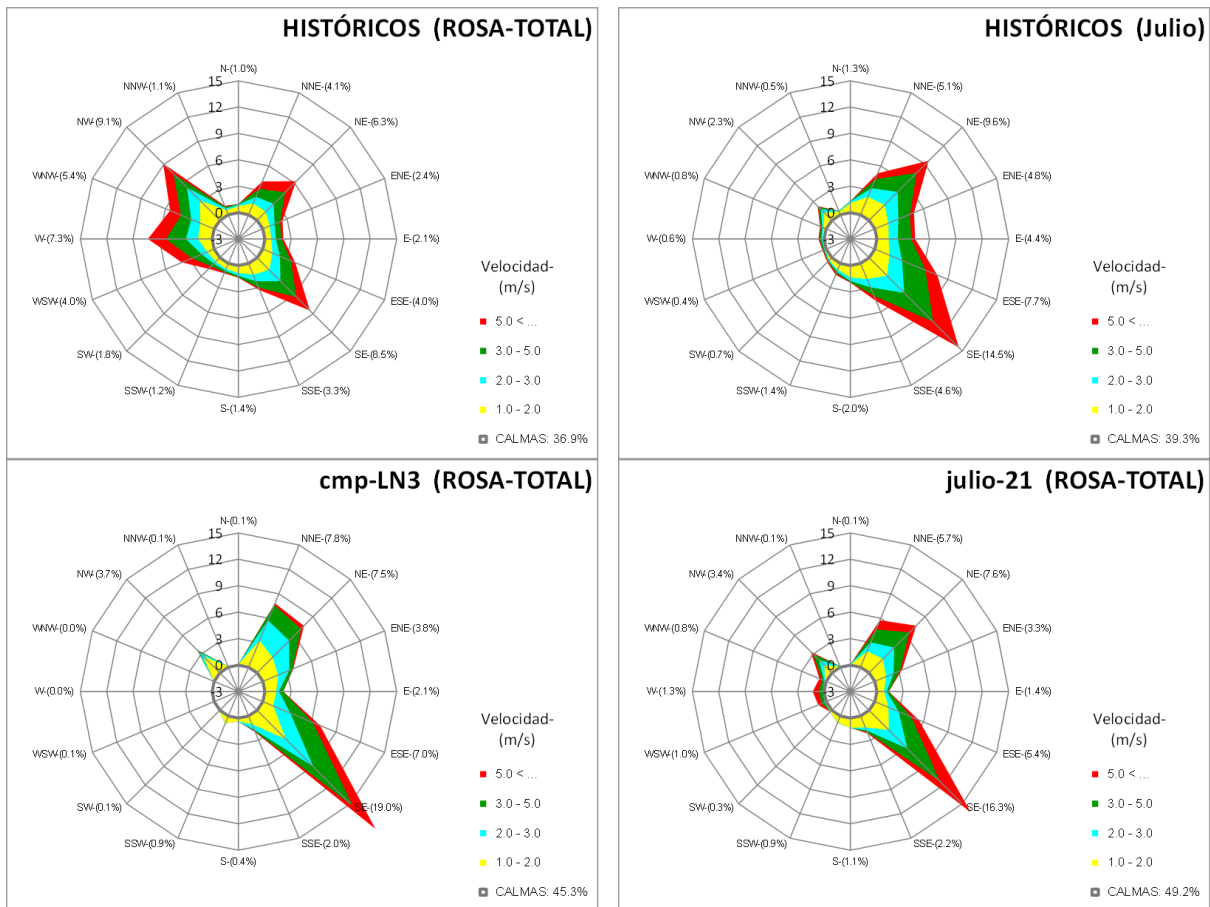


Figura 26. Rosas de viento elaboradas con las medidas de la estación VALÈNCIA-CONSELLERIA-METEO. Se presentan las rosas para el periodo de datos completo disponible 2010-2021 (superior izquierda), la rosa climática del mes de julio (superior derecha) y la correspondiente solo al mes de julio del 2021 (inferior derecha) y, finalmente, la rosa para el intervalo estricto de muestreo con los captadores pasivos LN3 (inferior izquierda).

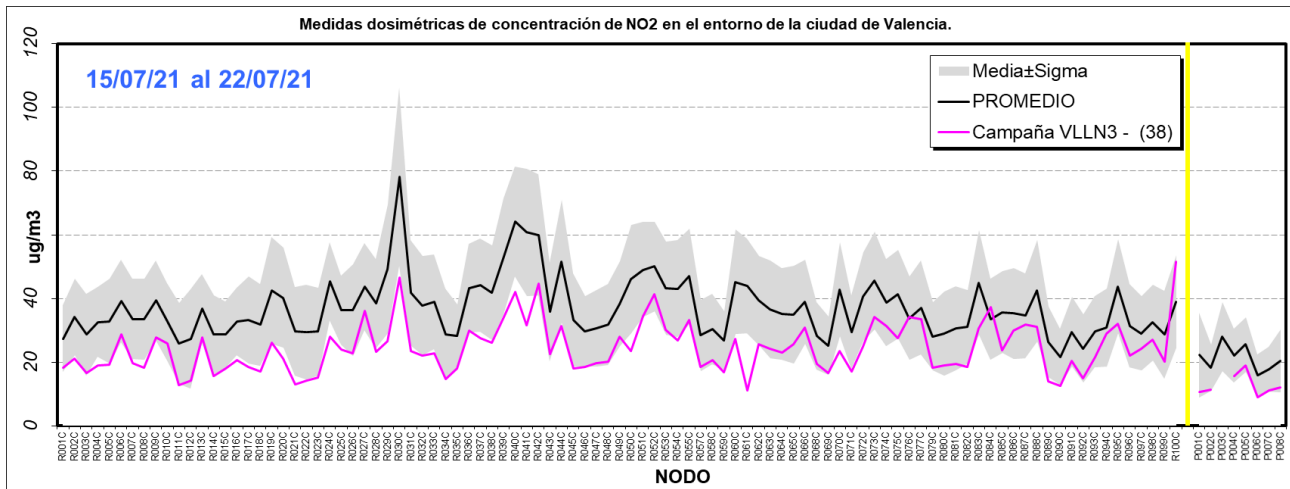


Figura 27. Niveles de concentración de NO₂ para los puntos de medida de la red dosimétrica obtenidos durante la campaña LN3 (línea magenta) frente a los promedios históricos disponibles para los mismos emplazamientos (se muestra el valor medio –línea negra– con un margen de una sigma por ambos lados). A la derecha de la línea vertical amarilla se sitúan los nodos de la red periférica.

Tabla 08. Estadísticos del muestreo LN3 relativos a los correspondientes a la muestra completa.

		PROMEDIO ABSOLUTO (µg/m ³)	PROMEDIO Cmp LN3 (µg/m ³)	Diferencia (%)
Red regular	Media	37.0	24.5	-33.7
	Mediana	35.2	23.4	-33.5
	Sigma	9.9	7.9	-20.4
	P95	52.0	38.0	-26.9
	P05	26.8	14.2	-47.1
	Max	78.2	51.6	-34.0
	Min	21.7	11.1	-48.6
Red periférica	Media	21.3	12.7	-40.2
	Mediana	21.3	11.4	-46.5
	Sigma	7.8	3.4	-56.4
	P95	27.2	18.0	-33.9
	P05	16.5	9.6	-42.2
	Max	28.1	18.9	-32.6
	Min	15.9	9.0	-43.0



A pesar de condiciones poco ventosas, la buena capacidad dispersiva de la atmósfera en periodo estival, con mayor calentamiento del terreno, y el funcionamiento repetitivo de las circulaciones locales, proporcionaron un entorno con niveles especialmente bajos de concentración de NO_2 en todos los emplazamientos muestreados, tanto de la red regular como de la periférica, con importantes descensos medios (en torno al 34% y 40% en ambas redes respectivamente). El reflejo sobre las distribuciones de la figura 28 muestra la diferencia con respecto a la población completa, de nuevo en el caso presente con una morfología más acampanada y simétrica en torno a los valores medios, también con una menor dispersión de las medidas.

El mapeado de los valores de concentración para la campaña (figuras 29 a 31) muestra los valores más moderados distribuidos con menores gradientes en el espacio urbano, con máximos centrales menos señalados y una franja destacada en torno a la esquina más suroriental de la ventana de trabajo, correspondiente a la zona portuaria de la ciudad. El reflejo sobre las anomalías resalta la reducción general en todo el territorio, claramente menor en la parte más meridional y oriental del recuadro, y con máximos menos concentrados en la zona más central del casco urbano.

Los niveles de contaminación sobre la red automática de vigilancia (figura 32 y tabla 09) confirman el descenso sobre los valores normales del mes de julio en torno a porcentajes similares a los medidos por los captadores pasivos. En las series temporales de valores de inmisión se aprecia el predominio del patrón local estival, con un máximo matutino muy marcado y el pico vespertino muy atenuado. Resalta además en este caso la gran diferencia en los niveles de concentración del fin de semana frente a las jornadas laborables, sin que la reducción venga apoyada por algún cambio definido en las condiciones meteorológicas.

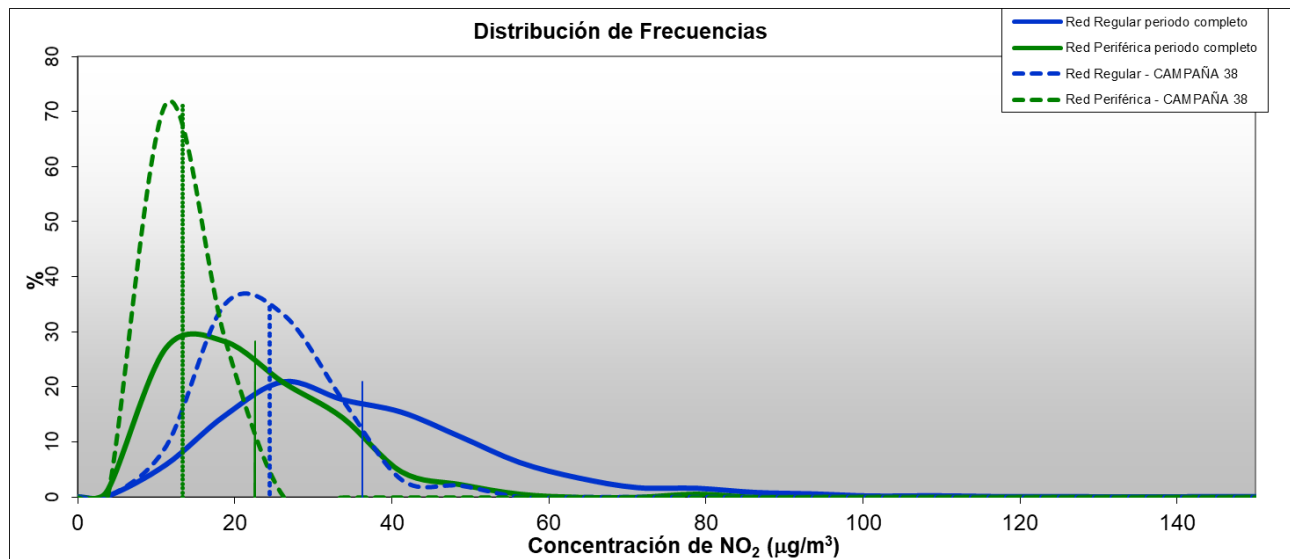


Figura 28. Distribución de frecuencias de las medidas dosimétricas de NO_2 para las dos redes: base de datos total (líneas continuas) y muestreo actual LN3 (líneas a trazos). Todas las distribuciones están normalizadas. Las concentraciones indicadas por las líneas verticales representan los valores medios de las correspondientes poblaciones.

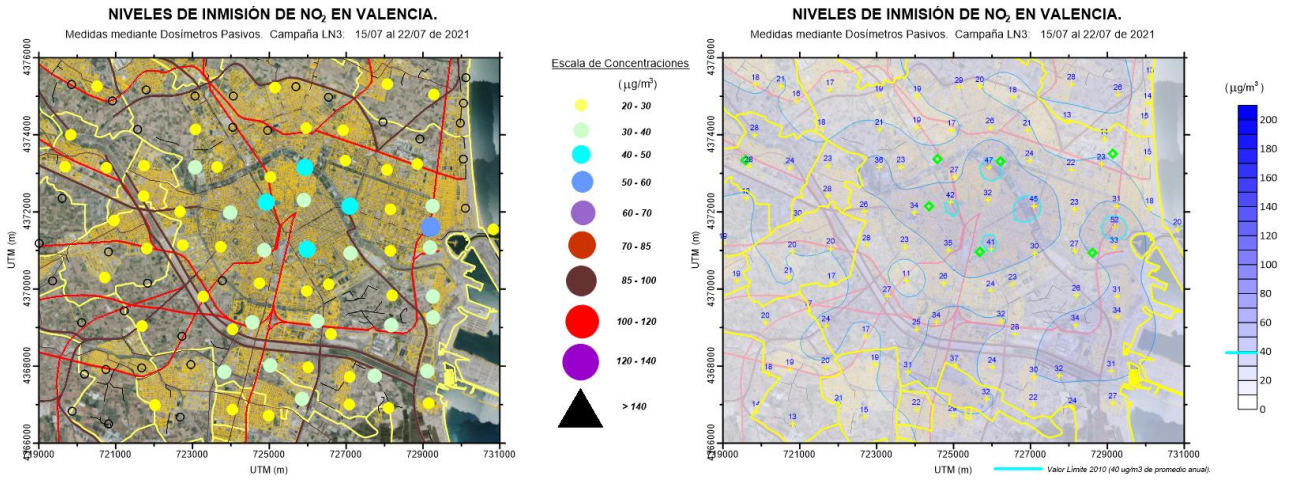


Figura 29. Concentraciones de NO₂ obtenidas durante la campaña LN3 en el entorno de la ciudad de Valencia, para la red regular (en los nodos de medida -mapa de la izquierda- e interpoladas sobre todo el dominio espacial -derecha-).

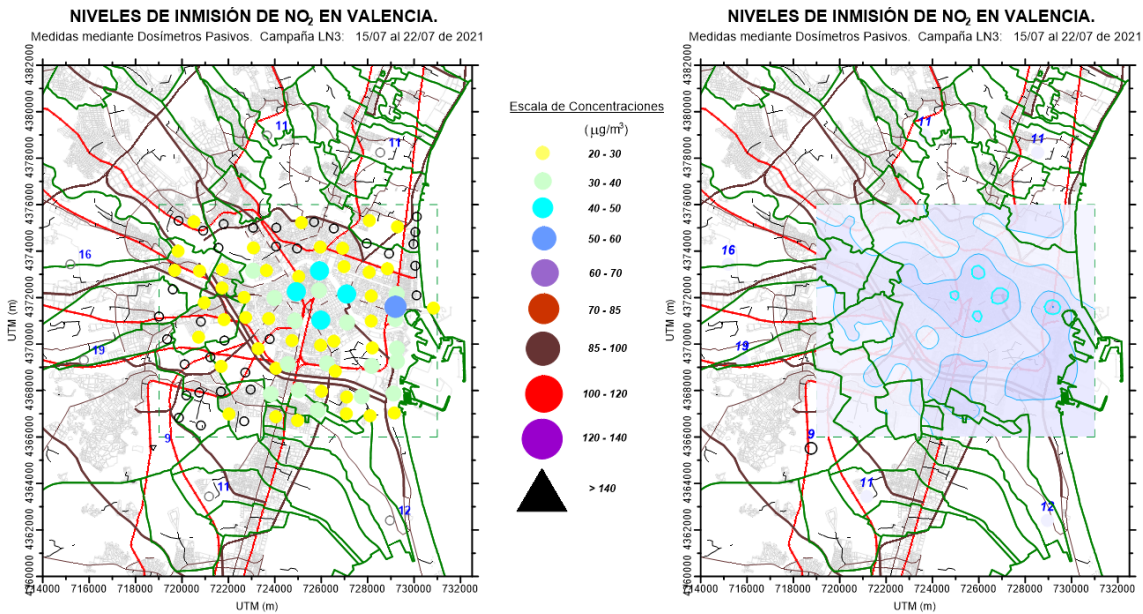


Figura 30. Concentraciones de NO₂ obtenidas durante la campaña LN3 en la que se integran la red regular y la periférica (similar a las gráficas de la figura 29 en su formato).

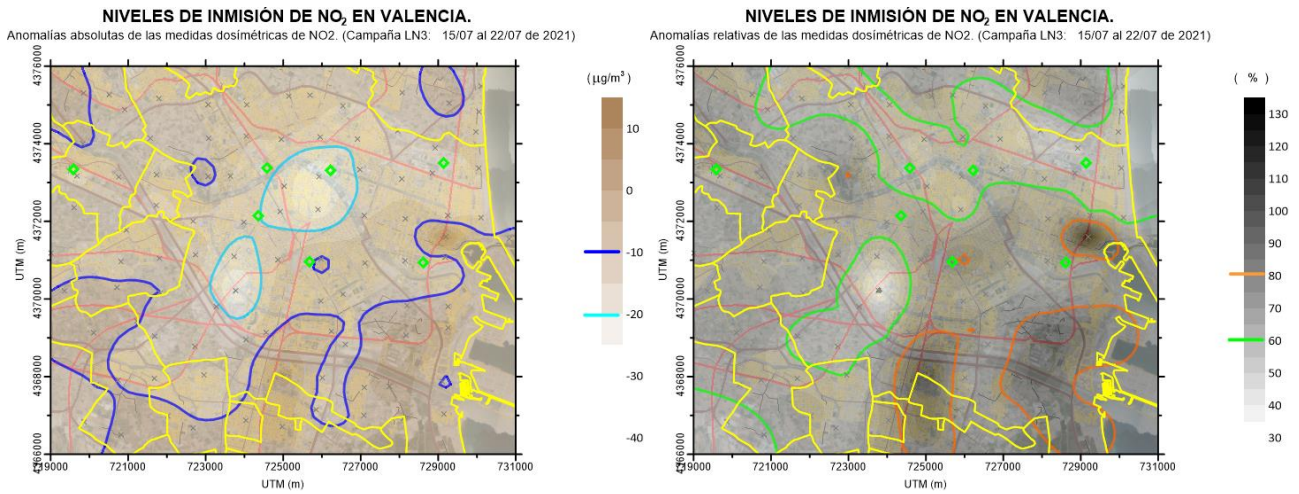


Figura 31. Representación de la distribución espacial de las anomalías absolutas (izquierda) y relativas (derecha) de las concentraciones de NO₂ obtenidas durante la campaña LN3 (respecto al total de los valores promedio histórico para la malla regular de la red de muestreo). En ambas gráficas se resalta alguna isocurva de referencia (en el caso de las variaciones relativas, el valor 100 representa los puntos sin cambio).

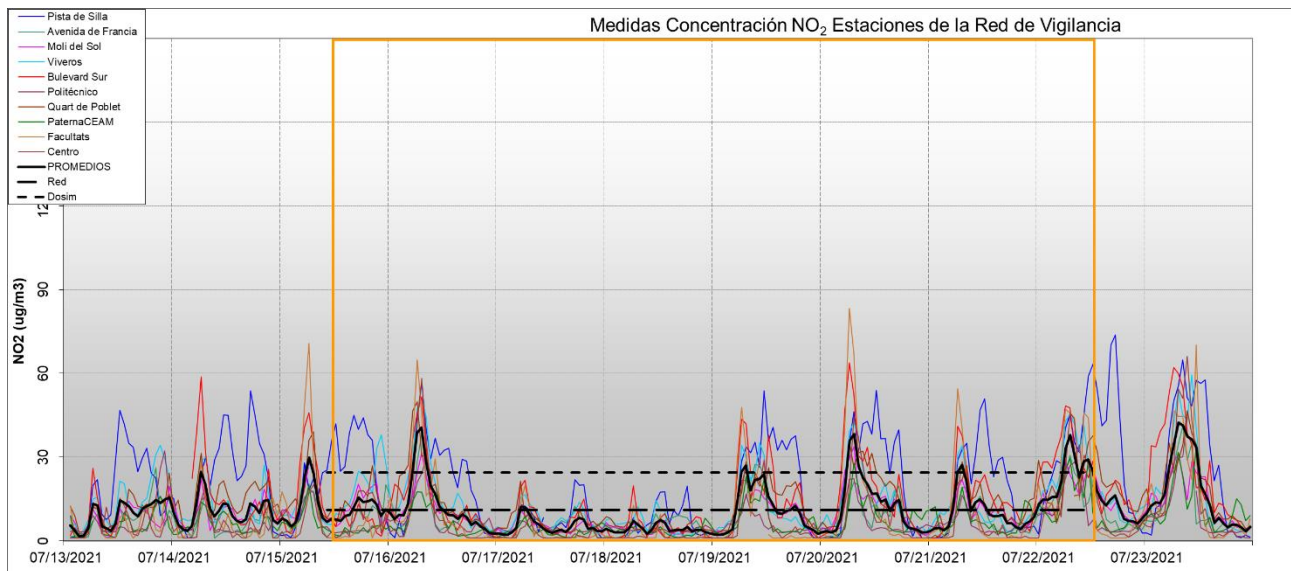


Figura 32. Series temporales de concentración de NO₂ registradas durante el periodo de exposición de los captadores pasivos durante la campaña LN3 (recuadro). La curva negra resaltada representa el promedio de todas las estaciones. Se indican en las dos líneas de trazos los niveles promedio dosimétricos (cortos) y automáticos-regular (según se transcriben en la tabla 09).

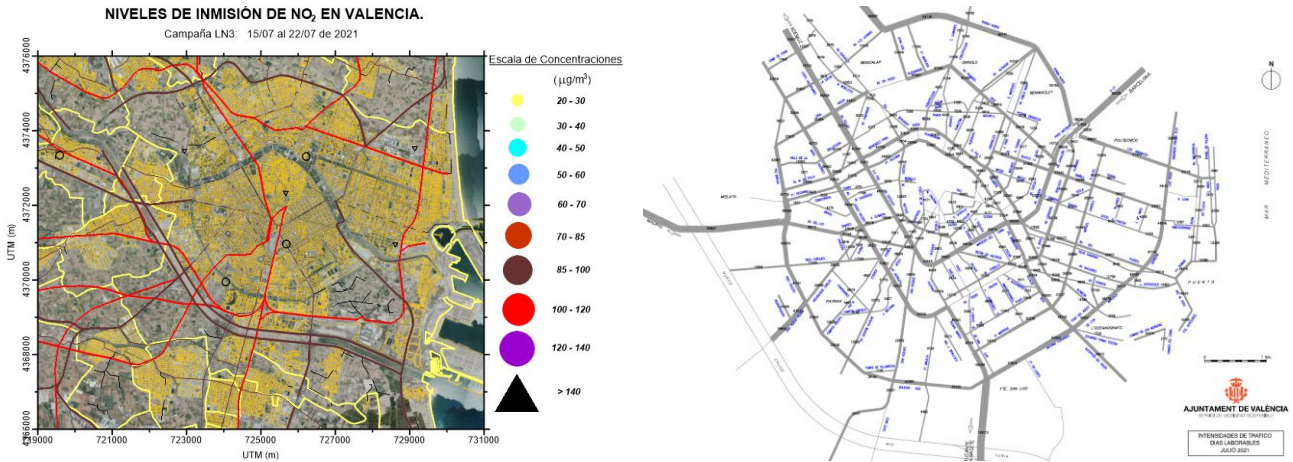


Figura 33. Niveles de concentración promedio de NO_2 medidos por las cabinas automáticas en la ciudad de Valencia durante el mismo periodo de exposición dosimétrica (izquierda), junto a los niveles de tráfico rodado registrados en la red urbana durante el mes de julio/2021 (fuente web del Ayuntamiento de Valencia).

Tabla 09. Niveles promedio de concentración de NO_2 (todos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) registrados en las cabinas de vigilancia de la red valenciana en el entorno de la ciudad de Valencia para el periodo coincidente con la exposición de los dosímetros durante el muestreo LN3 (valor medio red regular y concentración puntual máxima absoluta), comparados con los niveles medios de aquellos (se incluye referencia media del mes de julio).

Estación	Media	Máximo Horario	Media Julios
València - Pista de Silla *	18	57	33
València -Avd. Francia *	8	39	16
València - Molí del Sol *	10	34	18
València - Vivers *	13	51	15
València -Bulevard Sud *	13	64	24
València - Politècnic *	7	35	15
Quart de Poblet *	12	50	19
Paterna CEAM	7	30	11
Burjassot - Facultats	9	83	15
València - Centro *	7	58	31
Red Dosimétrica	25	52	
Cabinas Totales	10	50	20
Cabinas Red Regular (*)	11	48	21
% Dosim/Red	222	284	



CAMPAÑA 'LN4' (10 al 17 de noviembre de 2021).

El periodo de medidas de esta última campaña del año estuvo presidido por una anomalía sinóptica que prácticamente persistió durante todo el intervalo de exposición de los dosímetros, en el que se mantuvo un embolsamiento de aire frío en altura sobre la cuenca mediterránea occidental, con las altas presiones extendiéndose desde el atlántico hacia el continente europeo, bloqueando la entrada de perturbaciones polares hacia latitudes meridionales. Ello proporciona un periodo de gran estabilidad atmosférica, con vientos flojos de alcance local en ausencia de una circulación general definida. Aunque la serie de registros continuos refleja el desarrollo de ciclos diarios, con una onda diurna un tanto irregular, pero persistente, la componente marítima de las brisas suele ser muy débil frente al derrame nocturno en esta época del año. El patrón de vientos que reflejan las correspondientes rosas de la figura 36 resalta este aspecto, especialmente marcado para el periodo de exposición, en el que predominan los vientos del noroeste, poco intensos, a diferencia del comportamiento climático (bien recogido por el propio mes de noviembre del año en curso) en que la circulación del cuarto cuadrante suele estar compuesta también por vientos sinópticos correspondientes a la entrada de borrascas desde las costas atlánticas Peninsulares. Los niveles promedio de intensidades de viento durante la campaña resultaron así notablemente inferiores a los normales del mes, mientras que las diferencias medias en temperatura y humedad no se mostraron muy significativas.

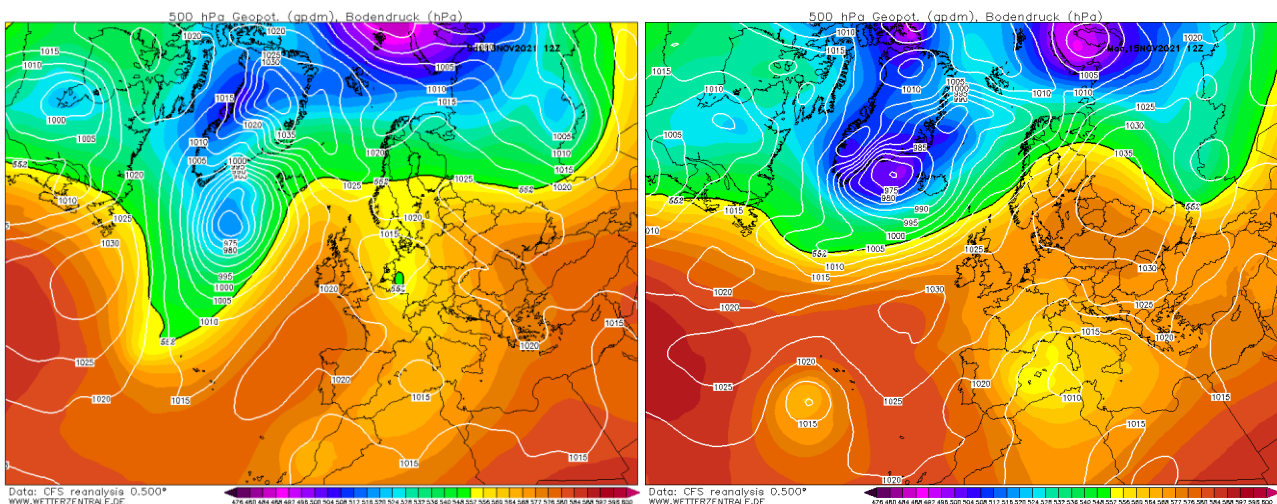


Figura 34. Condiciones meteorológicas a gran escala registradas en dos momentos (13/11/21 y 15/11/21 a las 12 UTC) del periodo de muestreos dosimétricos LN4.

Tabla 10. Valores promedio de las principales magnitudes meteorológicas registrados durante la campaña LN4, comparados con los normales para el mes de noviembre (la velocidad máxima consignada corresponde al valor medio de los máximos diezminutales registrados).

Magnitud	Campaña	Noviembre
Velocidad (m/s)	1.4	2.6
Velocidad Máxima (m/s)	4.0	6.5
Temperatura (C)	14.9	15.2
Humedad Relativa (%)	56.2	60.9
Presión (mb)	1003.4	1004.4
Lluvia acumulada (mm)	3.2	

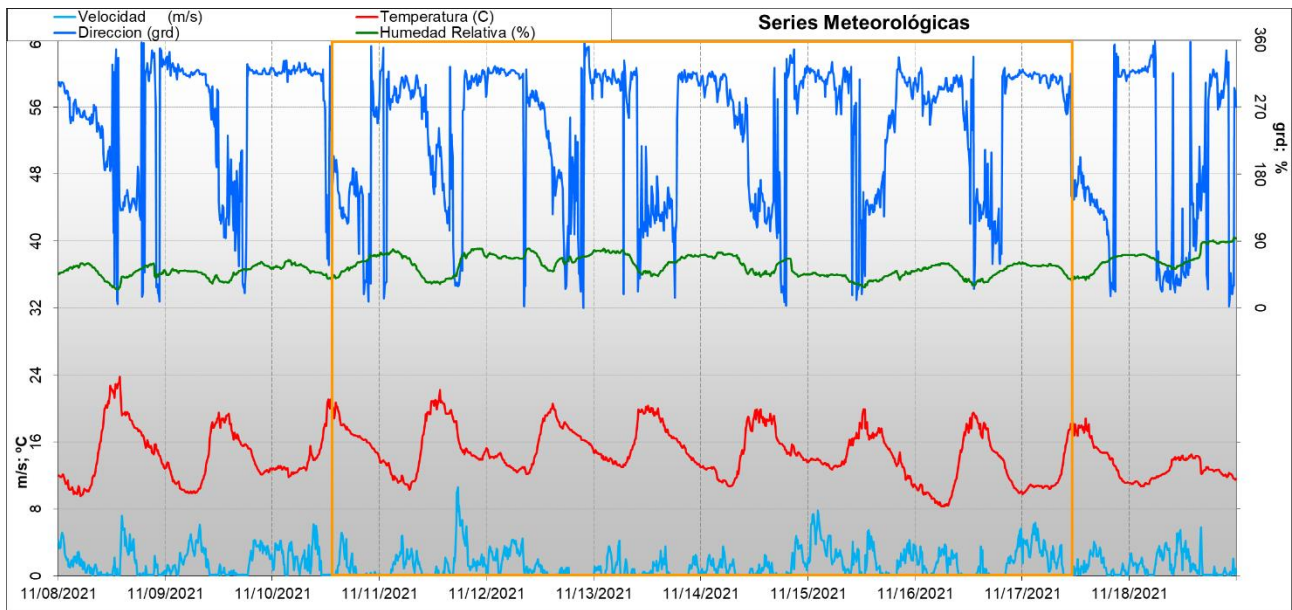


Figura 35. Series temporales de los principales parámetros meteorológicos registrados durante el periodo de muestreos LN4 (valores procedentes de la estación "VALÈNCIA-CONSELLERIA METEO").

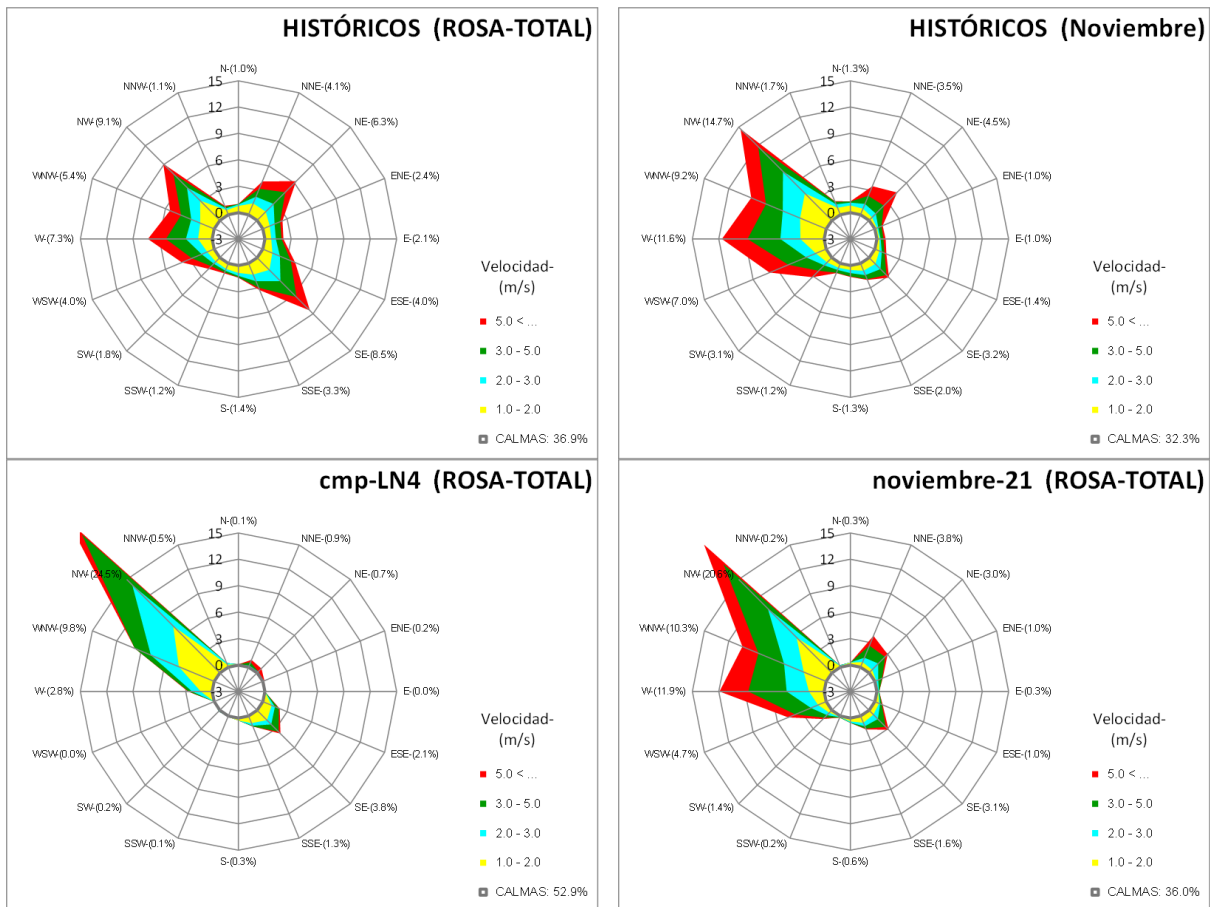


Figura 36. Rosas de viento elaboradas con las medidas de la estación VALÈNCIA-CONSELLERIA-METEO. Se presentan las rosas para el periodo de datos completo disponible 2010-2021 (superior izquierda), la rosa climática del mes de noviembre (superior derecha) y la correspondiente solo al mes de noviembre del 2021 (inferior derecha) y, finalmente, la rosa para el intervalo estricto de muestreo con los captadores pasivos LN4 (inferior izquierda).

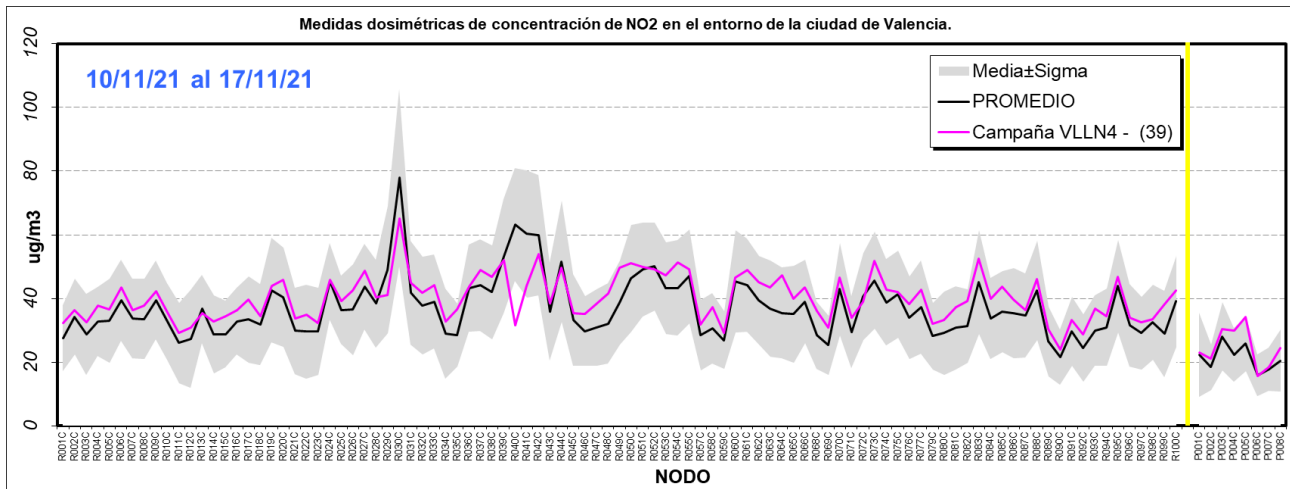


Figura 37. Niveles de concentración de NO₂ para los puntos de medida de la red dosimétrica obtenidos durante la campaña LN4 (línea magenta) frente a los promedios históricos disponibles para los mismos emplazamientos (se muestra el valor medio –línea negra– con un margen de una sigma por ambos lados). A la derecha de la línea vertical amarilla se sitúan los nodos de la red periférica.

Tabla 11. Estadísticos del muestreo LN4 relativos a los correspondientes a la muestra completa.

		PROMEDIO ABSOLUTO (µg/m ³)	PROMEDIO Cmp LN4 (µg/m ³)	Diferencia (%)
Red regular	Media	37.1	40.2	8.4
	Mediana	35.4	39.2	10.7
	Sigma	9.8	7.1	-27.7
	P95	51.9	51.5	-1.0
	P05	26.8	30.8	14.6
	Max	77.9	65.2	-16.3
	Min	21.7	23.9	10.0
Red periférica	Media	21.4	24.7	15.3
	Mediana	21.4	23.7	10.8
	Sigma	7.8	6.4	-18.0
	P95	27.3	33.0	20.8
	P05	16.5	16.7	0.8
	Max	28.1	34.3	22.1
	Min	15.9	15.8	-0.7

En un escenario poco dispersivo como el actual, las concentraciones dosimétricas registradas durante la cuarta campaña arrojaron niveles moderadamente por encima de los valores medios en buena parte del conjunto disponible; se constatan no obstante descensos significativos, respecto a los promedios, que parecen localizarse precisamente en alguno de los nodos con niveles más elevados. La tabla 11 constata este comportamiento, con concentraciones superiores en un 8.4% para la red regular y algo mayores, 15.3%, para la red periférica, con un incremento más marcado en los valores mínimos que en los máximos en el primero de los escenarios, resultando al contrario para los muestreos circundantes a la ciudad. La distribución de concentraciones para el presente muestreo en ambas redes, frente a la población general (figura 38) muestra una mayor anchura en el rango de valores, propio de situaciones de menor ventilación, y con una cierta asimetría hacia los rangos altos, en línea con la distribución general.

La distribución espacial de los valores de inmisión sobre la ciudad, a través de los mapas de las figuras 39 y 40, muestra el incremento de las concentraciones señalada, que afecta a toda la ventana de trabajo, aunque parece perfilar menos gradientes, sin un máximo central tan definido como en ocasiones anteriores. Esta circunstancia se manifiesta especialmente en los mapas de anomalías subsiguientes, en los que el crecimiento general en el casco urbano presenta niveles negativos, tanto absolutos como porcentuales, centrados precisamente en la zona más céntrica del casco antiguo de la ciudad, donde se registraba habitualmente el núcleo máximo.

Las mediciones automáticas de la red de vigilancia de la figura 42 muestran también la secuencia de concentraciones ambiente elevadas durante la campaña, con un patrón claramente invernal en el que destaca la presencia del máximo al final de la tarde, habitualmente superior al matutino. Climáticamente los niveles de noviembre presentan valores muy altos, resultando los promedios actuales en general inferiores a aquellos en la mayoría de las diez estaciones consideradas (tabla 12).

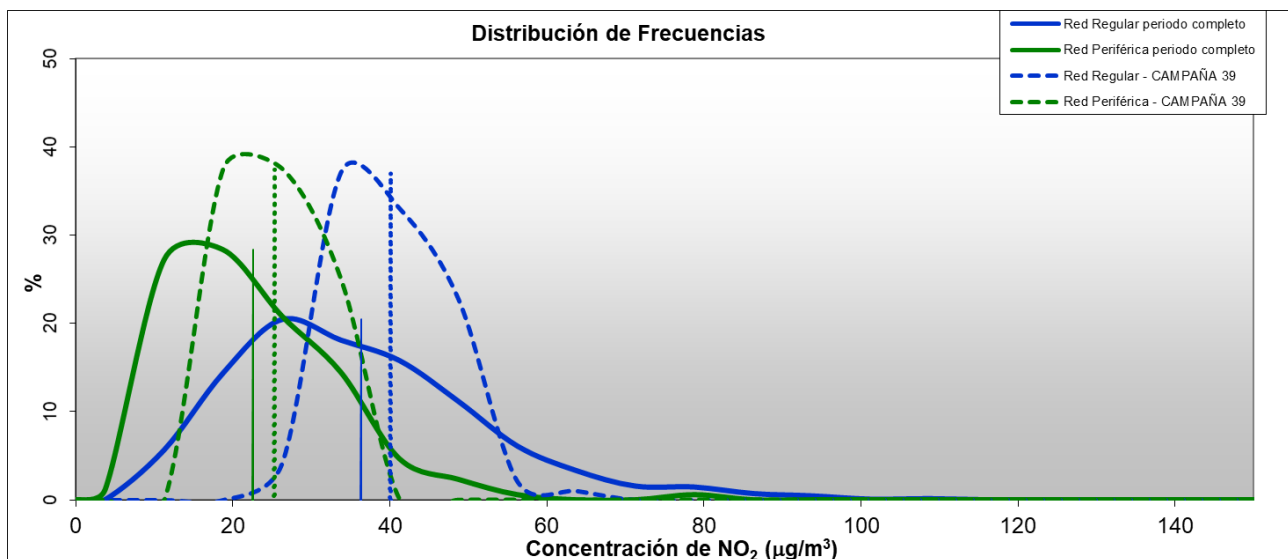


Figura 38. Distribución de frecuencias de las medidas dosimétricas de NO₂ para las dos redes: base de datos total (líneas continuas) y muestreo actual LN4 (líneas a trazos). Todas las distribuciones están normalizadas. Las concentraciones indicadas por las líneas verticales representan los valores medios de las correspondientes poblaciones.

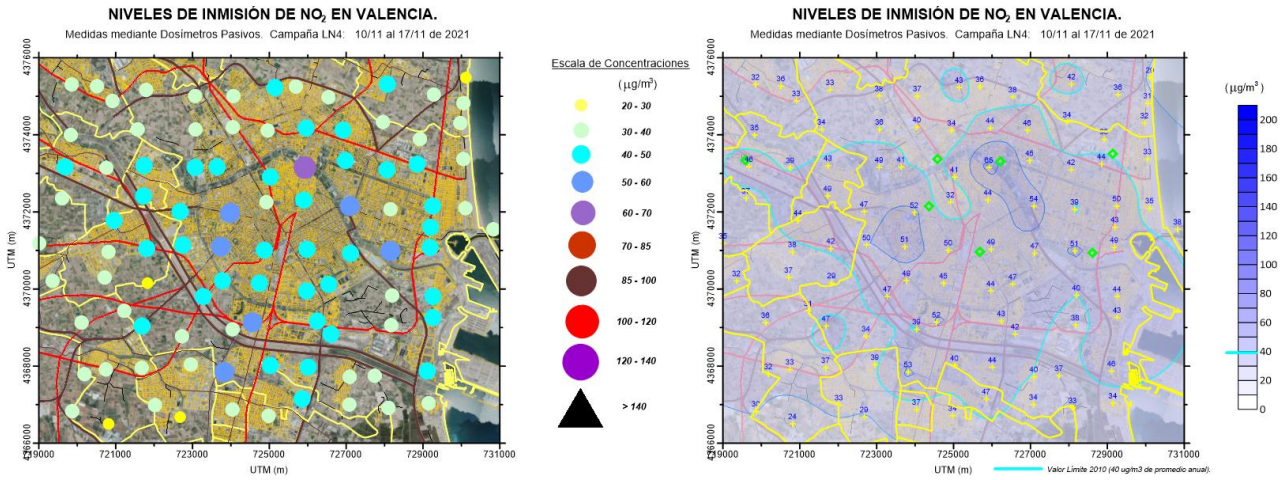


Figura 39. Concentraciones de NO_2 obtenidas durante la campaña LN4 en el entorno de la ciudad de Valencia, para la red regular (en los nodos de medida -mapa de la izquierda- e interpoladas sobre todo el dominio espacial -derecha-).

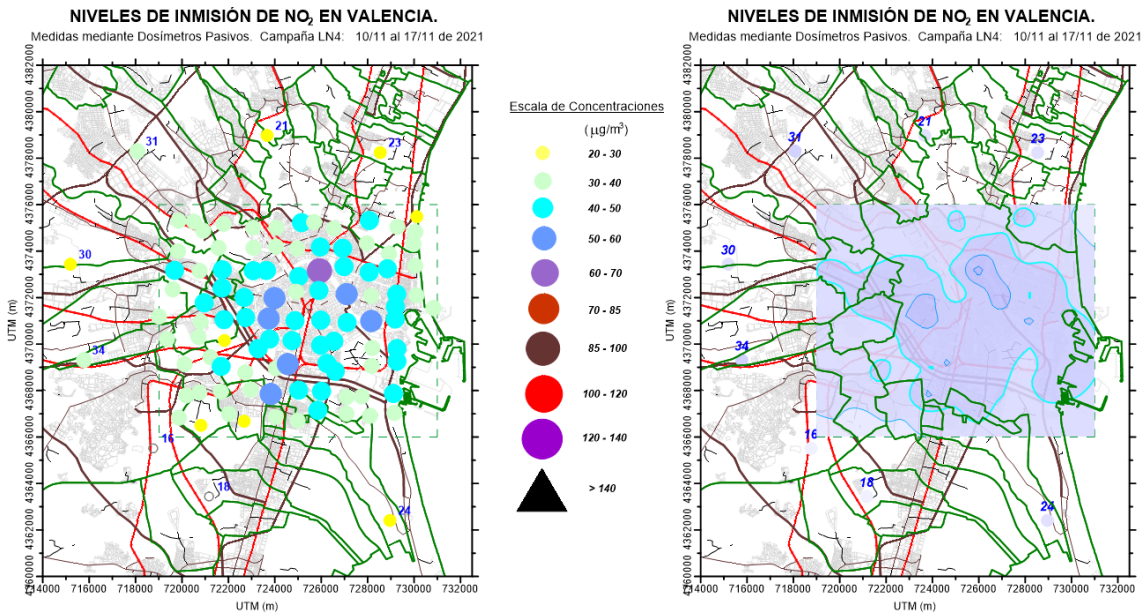


Figura 40. Concentraciones de NO_2 obtenidas durante la campaña LN4 en la que se integran la red regular y la periférica (similar a las gráficas de la figura 29 en su formato).

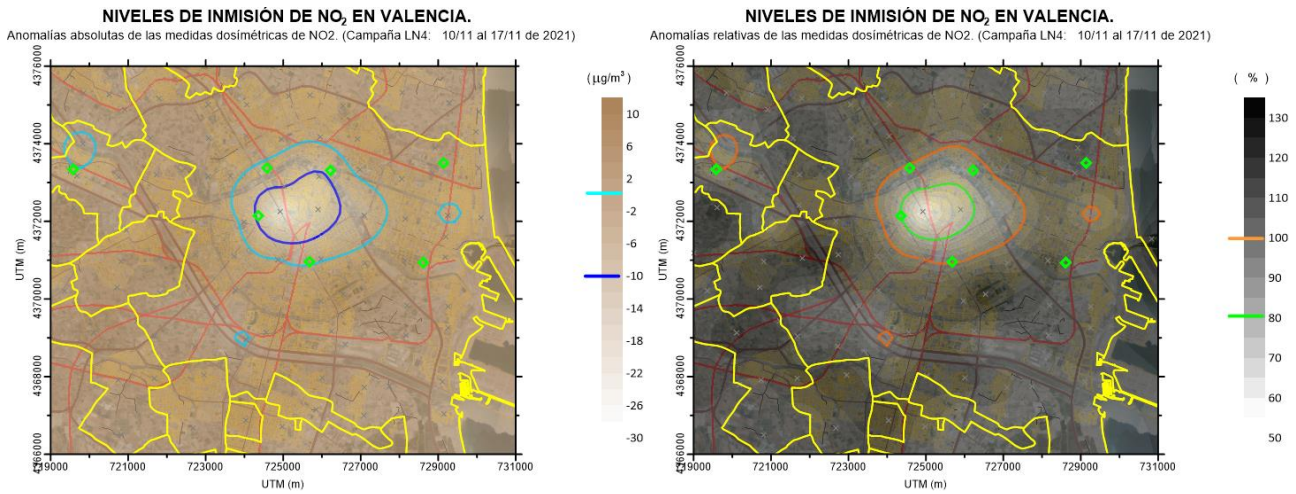


Figura 41. Representación de la distribución espacial de las anomalías absolutas (izquierda) y relativas (derecha) de las concentraciones de NO₂ obtenidas durante la campaña LN4 (respecto al total de los valores promedio históricos para la malla regular de la red de muestreo). En ambas gráficas se resalta alguna isocurva de referencia (en el caso de las variaciones relativas, el valor 100 representa los puntos sin cambio).

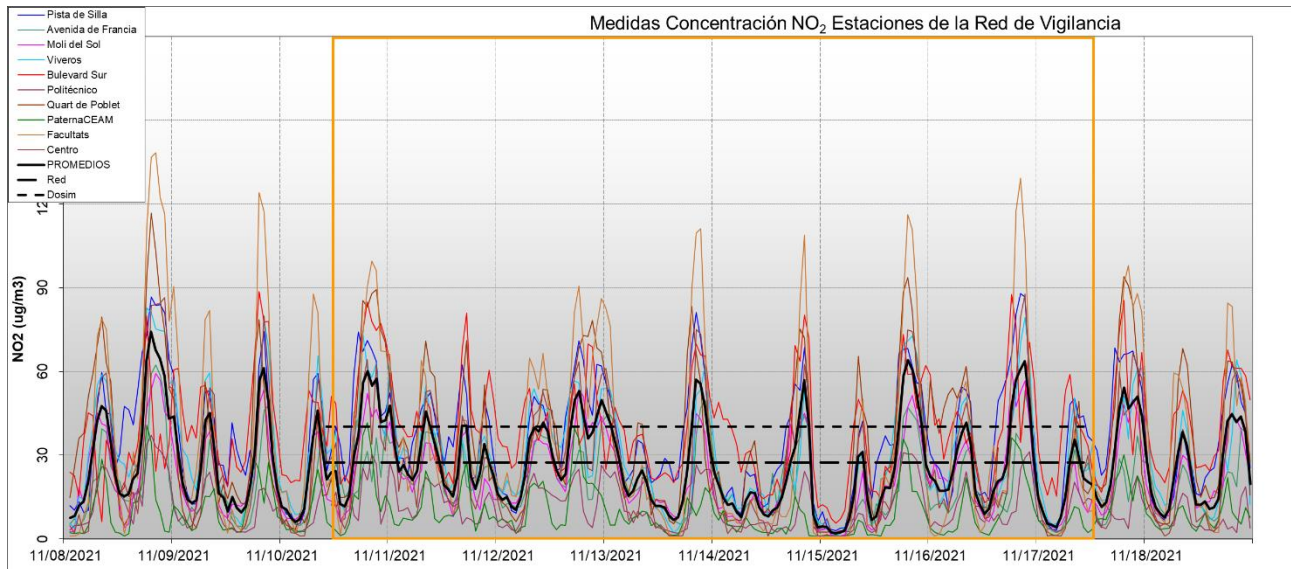


Figura 42. Series temporales de concentración de NO₂ registradas durante el periodo de exposición de los captadores pasivos durante la campaña LN4 (recuadro). La curva negra resaltada representa el promedio de todas las estaciones. Se indican en las dos líneas de trazos los niveles promedio dosimétricos (cortos) y automáticos-regular (según se transcriben en la tabla 12).

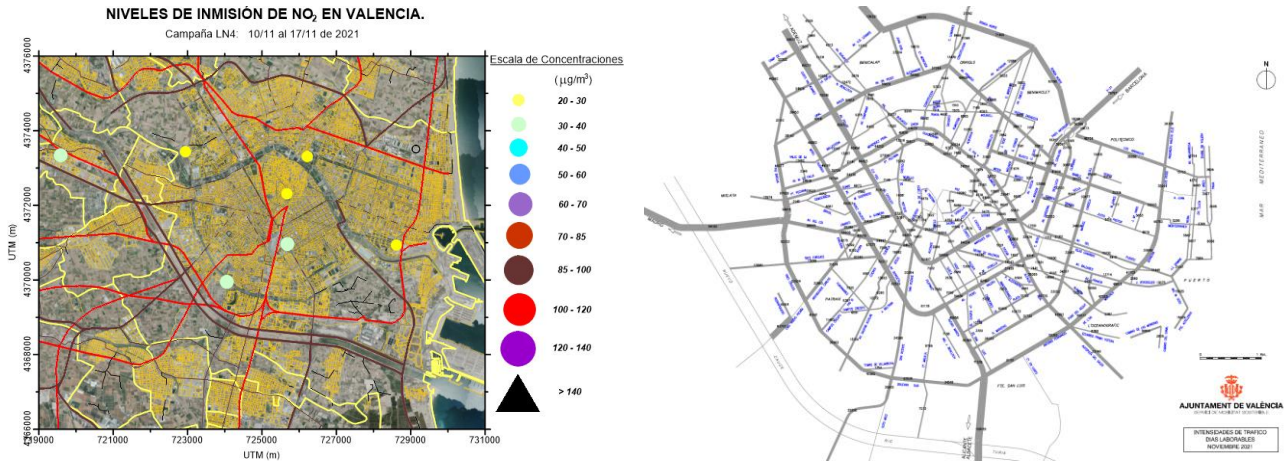


Figura 43. Niveles de concentración promedio de NO_2 medidos por las cabinas automáticas en la ciudad de Valencia durante el mismo periodo de exposición dosimétrica (izquierda), junto a los niveles de tráfico rodado registrados en la red urbana durante el mes de noviembre/2021 (fuente web del Ayuntamiento de Valencia).

Tabla 12. Niveles promedio de concentración de NO_2 (todos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) registrados en las cabinas de vigilancia de la red valenciana en el entorno de la ciudad de Valencia para el periodo coincidente con la exposición de los dosímetros durante el muestreo LN4 (valor medio red regular y concentración puntual máxima absoluta), comparados con los niveles medios de aquellos (se incluye referencia media del mes de noviembre).

Estación	Media	Máximo Horario	Media Noviembre
València - Pista de Silla *	36	88	43
València -Avd. Francia *	21	53	36
València - Molí del Sol *	22	61	30
València - Vivers *	29	79	33
València -Bulevard Sud *	39	88	37
València - Politècnic *	12	31	34
Quart de Poblet *	35	94	32
Paterna CEAM	10	42	20
Burjassot - Facultats	33	129	32
València - Centro *	25	88	37
Red Dosimétrica	40	65	
Cabinas Totales	26	129	33
Cabinas Red Regular (*)	27	94	35
% Dosim/Red	147	70	



RECAPITULACIÓN Y CONCLUSIONES.

El año 2021 supuso de nuevo un periodo anómalo, marcado por las alteraciones en la dinámica social normal introducida por los condicionantes impuestos por la persistencia de la pandemia del COVID19 y que, con diferentes niveles de intensidad dependiendo del grado de afectación de la infección, jalonaron todos los ámbitos de actividad humana, económica, social, industrial, personal, etc. Con una presión menor que la sufrida durante el año 2020, presidido en la memoria colectiva por el estricto confinamiento de la primera oleada de contagios, el año actual se vio afectado por las medidas, con diferente nivel de forzamiento, durante toda su duración.

NIVELES DE INMISIÓN DE NO₂ EN VALENCIA.

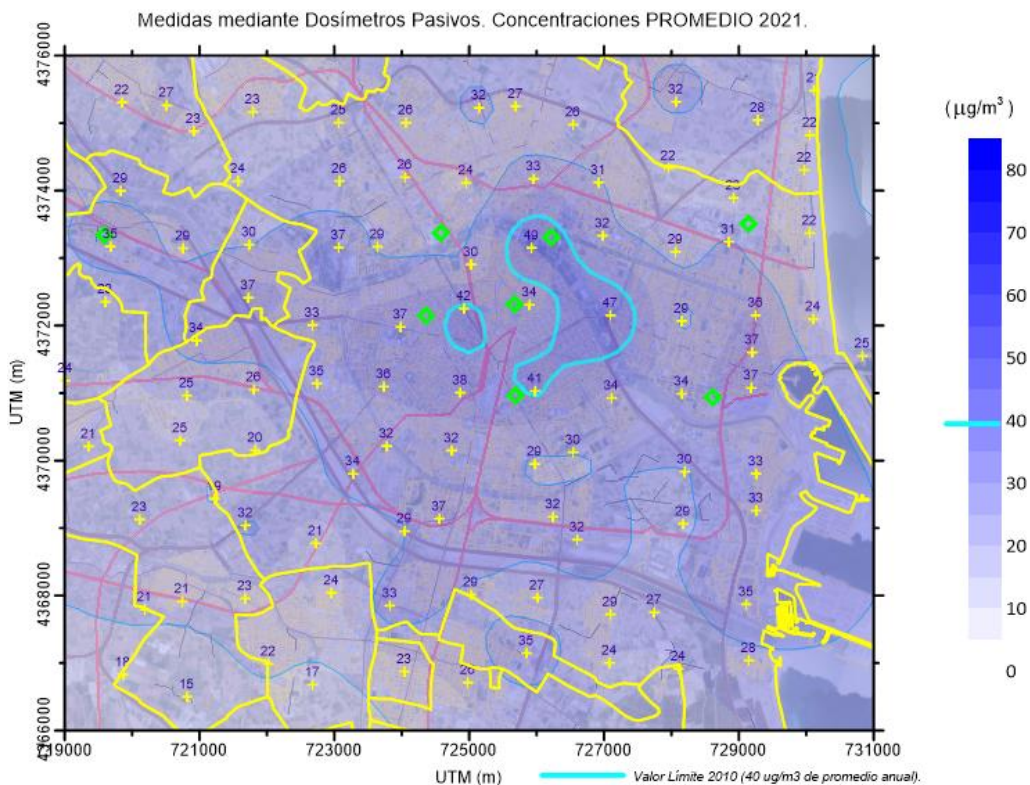


Figura 44: Distribución espacial de los valores de concentración promedio de NO₂ para el año 2021 (similar a la figura A5).

En el contexto de las presentes mediciones, es el tráfico rodado en el seno de la ciudad de Valencia y su entorno el foco responsable en mayor grado de los niveles de contaminación ambiente registrados (al que contribuye el tráfico industrial inherente a la actividad portuaria, así como el impacto de los buques con atraque en los diques próximos, con potencial impacto en zonas próximas a los mismos), y en su comportamiento residirá en gran medida la explicación de los cambios documentados. En un proceso que se inició el año anterior, en el que la caída inicial del número de vehículos circulantes en el ámbito de la ciudad resultó radical en las primeras instancias, la recuperación ha seguido un proceso gradual, en el que se ha visto involucrado todo el año actual, hasta alcanzar finalmente niveles muy próximos a los prepandémicos en el conjunto del Municipio. En la interpretación de los resultados habrán de tenerse en cuenta también la influencia sobre los niveles ambientales derivados de la reorganización circulatoria en el núcleo central de la ciudad, promovida por numerosas medidas de peatonalización de calles y plazas y fuertes restricciones al acceso de vehículos particulares.

La distribución espacial de los niveles dosimétricos promediados durante las cuatro campañas durante el año 2021 se muestra en la figura 44. Pueden alertarse algunas diferencias notables con respecto a los niveles medios totales de la figura A05 del anexo. Aunque formalmente la distribución sigue un patrón similar con una disposición eminentemente radial, con máximos secundarios en torno a las grandes vías y zona portuaria, es apreciable la reducción general de los valores en toda la ventana, a la vez que el núcleo central del centro antiguo de la ciudad ya no manifiesta los máximos absolutos, situación que se revela muy claramente en la figura 45 correspondiente a la distribución de las anomalías para el año en curso. Todos los nodos registran una disminución de los niveles de contaminación ambiente durante el 2021 frente al promedio general (figuras 46 y 47), con disminuciones más intensas en los emplazamientos habitualmente afectados por valores normales más elevados. El ajuste lineal sugeriría una reducción del 24% en la red regular y en torno al 18% en la periférica.

NIVELES DE INMISIÓN DE NO₂ EN VALENCIA.

Anomalías relativas de las medidas dosimétricas de NO₂. (Año 2021)

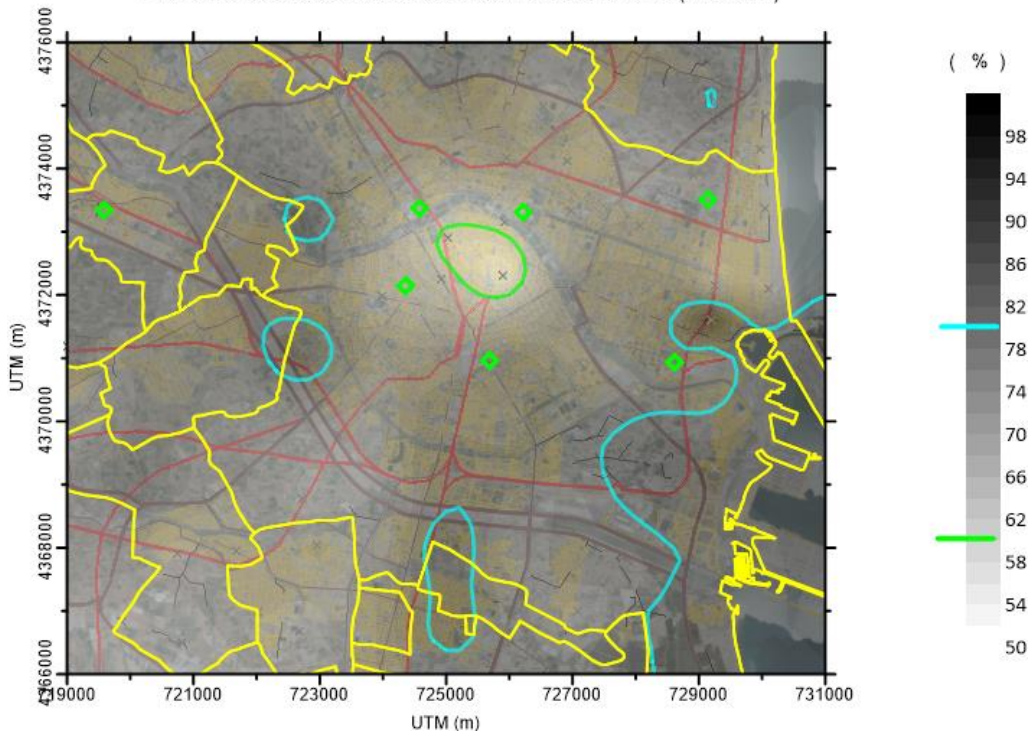


Figura 45. Distribución espacial de las anomalías relativas de las concentraciones de NO₂ medias durante el año 2021.

Las referencias proporcionadas por las estaciones automáticas de la ciudad, compiladas en conjunto para el año 2021 se muestran en sus diferentes aspectos en las gráficas de las figuras 48 a 50.

En primer lugar, las medidas dosimétricas promediadas sobre toda la ciudad (ofrecen una valoración de conjunto de todo el espacio urbano) en las cuatro campañas, junto a los correspondientes promedios de las ocho estaciones automáticas situadas dentro de la ventana de la red dosimétrica regular, muestran la evolución temporal similar de las diferentes redes, marcadas por la estacionalidad, con el marcado rasgo habitual de que los promedios dosimétricos resultan sustancialmente mayores que los procedentes de las medidas automáticas equivalentes (sobre los mismos periodos temporales), reflejo de que miden sistemáticamente en entornos más afectados que las estaciones de referencia, sometidas condiciones de implantación más



estrictas. Y como también se ha manifestado en años previos, los promedios sobre la red automática urbana no difieren mucho de los correspondientes dosimétricos de la red periférica, situados en entornos todos ellos alejados de una presión directa de emisiones, como efecto de la extensión de la pluma de la ciudad, que se expande más allá de las propias zonas de emisión intensa. En un comportamiento habitual, los niveles resultaron notablemente más bajos durante las dos campañas centrales, frente a las primera y última, lo que se manifiesta en general en todas las estaciones y muestreos dosimétricos, como reflejo de la inherente variabilidad estacional.

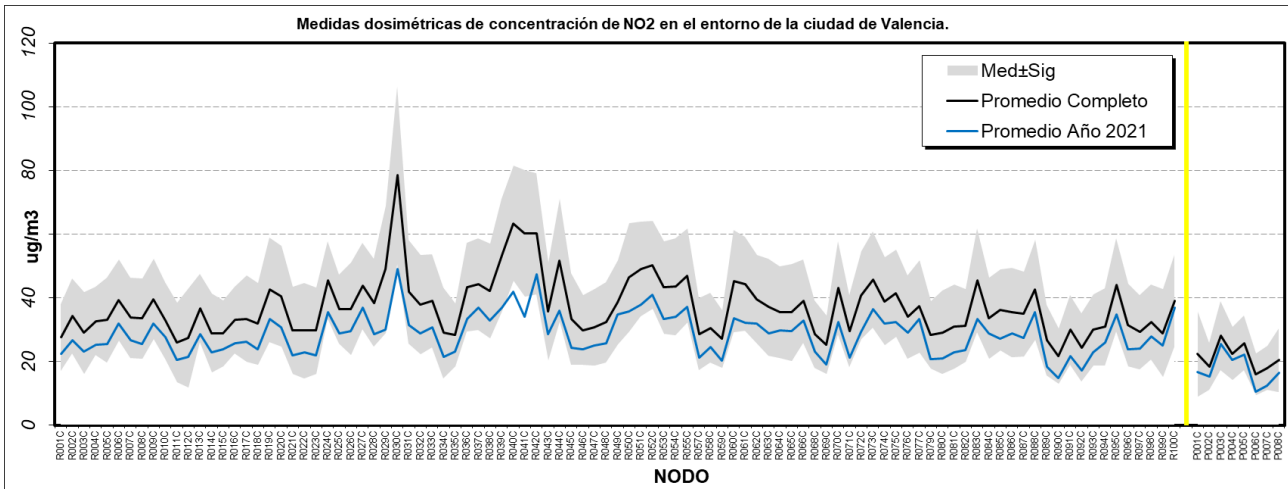


Figura 46. Niveles de concentración de NO₂ para los puntos de medida de la red dosimétrica obtenidos para el promedio de las cuatro campañas del año 2021 (línea azul) frente a los promedios históricos disponibles para los mismos emplazamientos (se muestra el valor medio -línea negra- con un margen de una sigma por ambos lados). A la derecha de la línea vertical amarilla se sitúan los nodos de la red periférica.

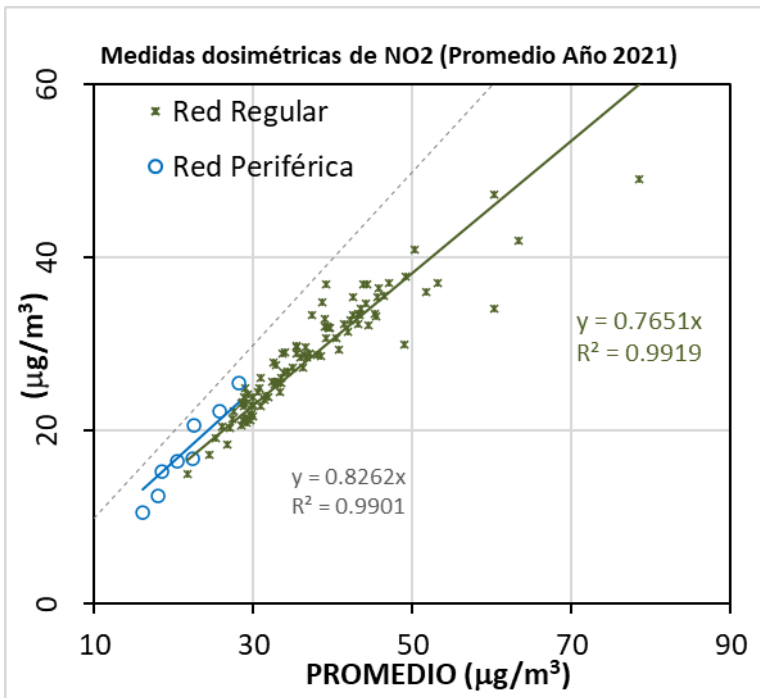


Figura 47. Regresión de los niveles dosimétricos promedio para el año 2021 frente a los valores medios totales, en ambas redes.

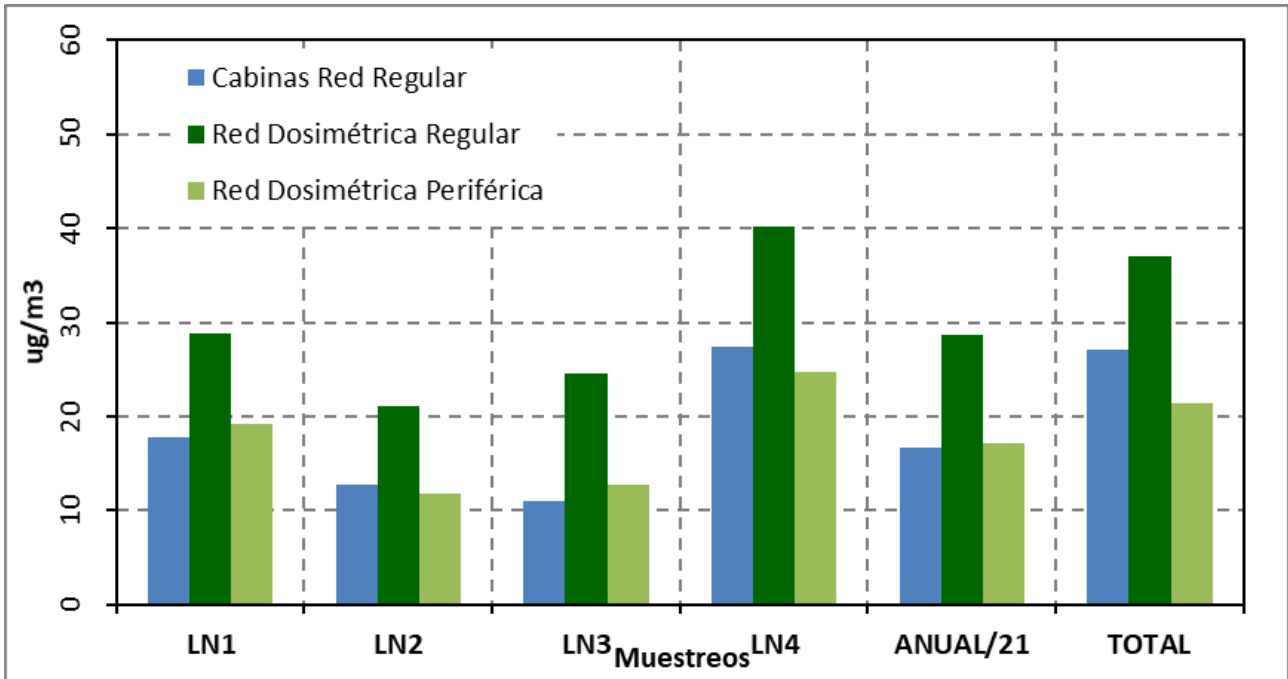


Figura 48. Comparación de los niveles medios de concentración de NO₂ registrados en la red automática para las cuatro campañas disponibles (el promedio de las cabinas comprende las situadas dentro del área de la red regular, según la figura 02); los valores de la derecha representan los correspondientes promedios para el año 2021 y para el banco de datos histórico completo disponible (tanto de las estaciones automáticas como de dosímetros).

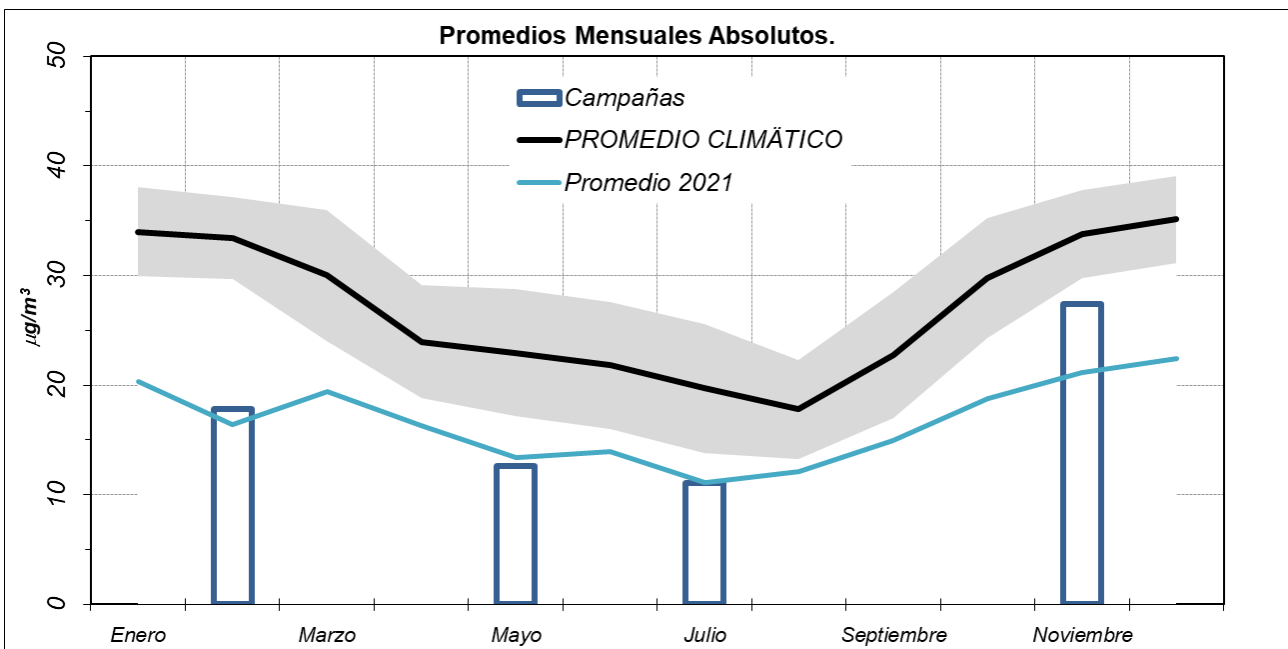


Figura 49. Inserción de los niveles ambientales de NO₂ en el conjunto de las medias mensuales de las estaciones automáticas en torno al Municipio de Valencia -red regular- durante los cuatro muestreos de referencia del 2021 (barras) y para el año 2021 (línea azul), frente al comportamiento climático mensual para el mismo grupo de estaciones (representado por el valor medio conjunto y la banda de variabilidad definida por ± 1 sigma).



Las medidas automáticas permiten insertar los periodos muestreados en su contexto climático, lo que se muestra en la figura 49. Estadísticamente las cuatro se sitúan muy por debajo de los niveles climáticos históricos (que marcan valores excesivamente altos, influencia de los niveles elevados de años antiguos) pero que se ajustan bastante bien al promedio anual, con su onda estacional característica, resultando discordante solo la campaña de noviembre con niveles superiores a los que registraría el propio mes. Este comportamiento estacional se mantiene en todas las cabinas aproximadamente, solo marcando Politécnico y Paterna-CEAM poca variabilidad, con niveles por debajo de la pauta normal del resto.

La revisión de la posible dependencia con los factores ambientales de la figura 51 confirma cualitativamente la variación estacional, aunque de difícil correlación directa con los niveles de calidad ambiental en términos tan generales

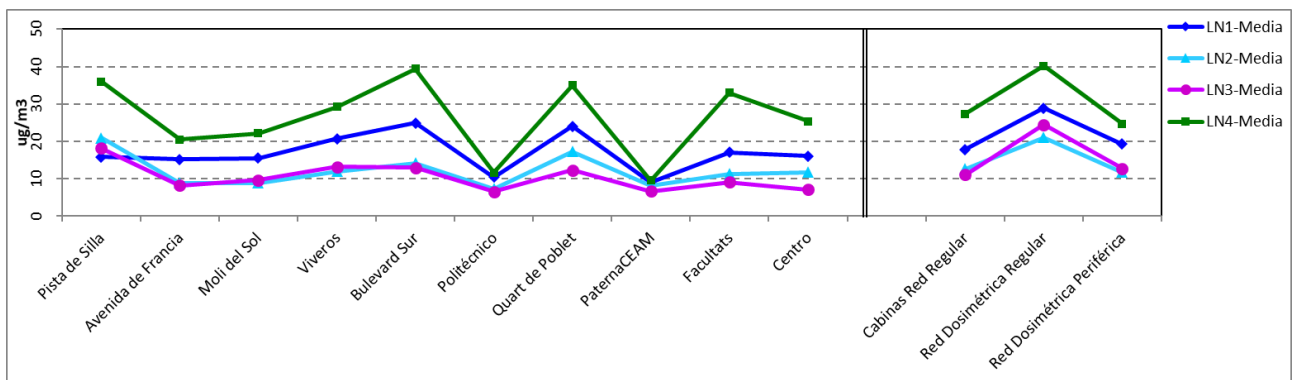


Figura 50: Comportamiento de las concentraciones medias de NO₂ registradas en las cabinas automáticas de la red situadas dentro del ámbito de muestreo para las cuatro campañas disponibles, comparadas con los promedios dosimétricos en los mismos intervalos.

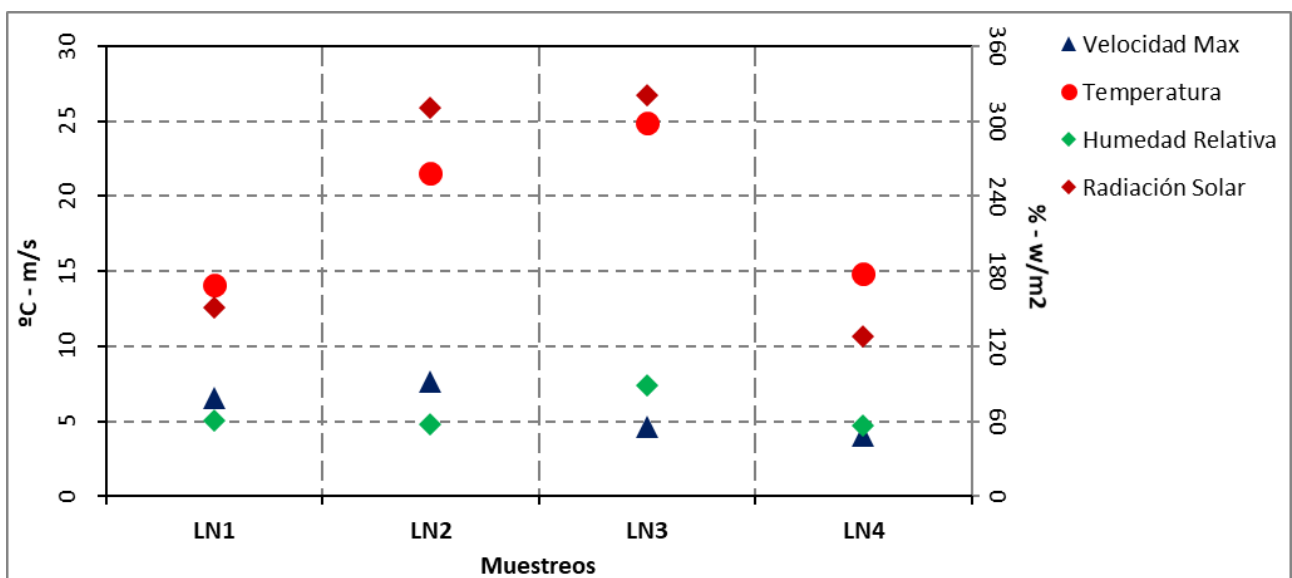


Figura 51. Comportamiento de los valores medios de los principales parámetros meteorológicos durante los cuatro muestreos ejecutados (el origen de las medidas es el mismo que el del resto de las magnitudes meteorológicas utilizadas en los trabajos).



La inserción de los muestreos presentes en su contexto anual se amplía con la figura 52 y la tabla 13, donde se presentan los estadísticos principales para las estaciones de la red de vigilancia en el entorno de Valencia durante el año en curso y solo para los periodos de muestreo. Puede valorarse que las medidas se realizan en periodos con niveles de concentración ambiente muy similares a las medias del año en todas las cabinas, con una regresión de pendiente prácticamente unitaria. Esto soportaría la buena representatividad de las mediciones dosimétricas como características del comportamiento de los niveles ambientales medios de dióxido de nitrógeno para el año 2021.

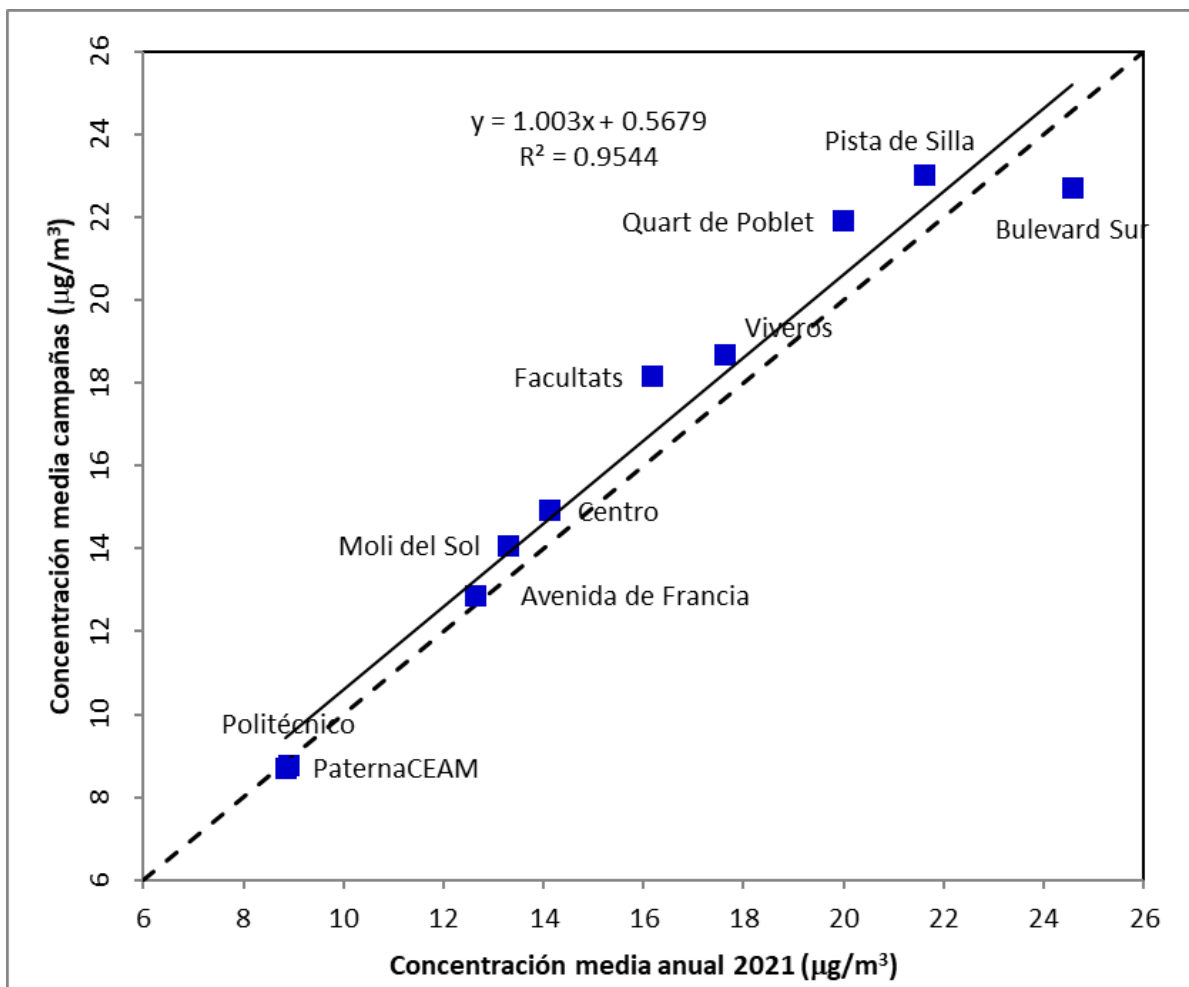


Figura 52. Comparación de los valores de concentración de NO_2 media anual para el 2021 frente a los promedios coincidentes con los periodos de exposición dosimétrica registradas en las cabinas de la RVVCCA en el entorno del Municipio de Valencia (la línea continua indica la pendiente).



Tabla 13. Principales estadísticos de los niveles de concentración horaria de NO_2 (todos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) registrados en las cabinas de vigilancia de la red valenciana en el entorno de la ciudad de Valencia para el año 2021 completo (superior) y para el periodo coincidente con los cuatro muestreos dosimétricos (inferior).

2021	Pista de Silla	Av. de Francia	Moli del Sol	Viveros	Bulev. Sur	Politéc.	Quart Poblet	Paterna CEAM	Facult.	Centro.	PROMED
Media	22	13	13	18	25	9	20	9	16	14	15
Máximo	97	71	83	99	117	99	117	71	138	97	81
Sigma	18	10	11	15	19	9	17	9	19	13	12
P95	56	34	37	49	63	27	56	27	56	42	40
P98	65	43	46	60	75	37	70	37	74	53	48
Camp.											
Media	23	13	14	19	23	9	22	9	18	15	16
Máximo	88	61	74	86	105	46	95	60	129	88	64
Sigma	19	11	12	16	19	7	20	9	23	15	13
P95	61	37	42	53	62	25	66	26	70	46	46
P98	68	44	49	65	74	30	83	35	90	60	55

El análisis de la representatividad de las medidas durante el año en curso se refuerza también con la evaluación de las condiciones aerológicas reflejadas en las rosas de la figura 53 y tabla 14. La circulación del viento en la zona de estudio durante el año 2021 no resultó muy diferente, al menos cualitativamente, de un comportamiento normal. Tampoco lo es el periodo estricto ocupado por las cuatro campañas experimentales, tal y como ilustra la correspondiente rosa de vientos y muestran los valores numéricos de la tabla. La similitud de las condiciones dispersivas reforzaría la idea de que las anomalías observadas en el campo de concentración ambiente tendrían su causa principalmente en una limitación de las emisiones.

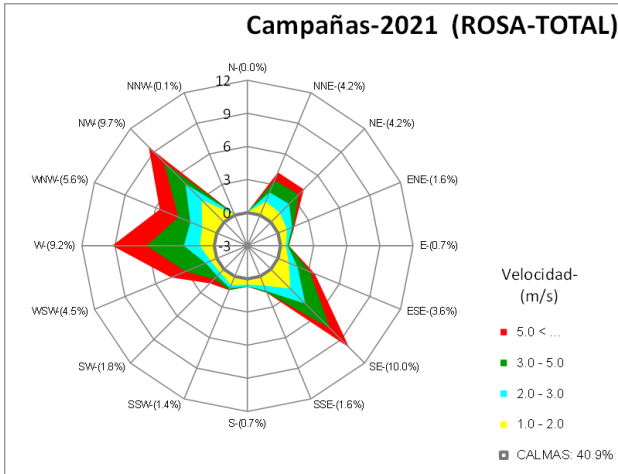
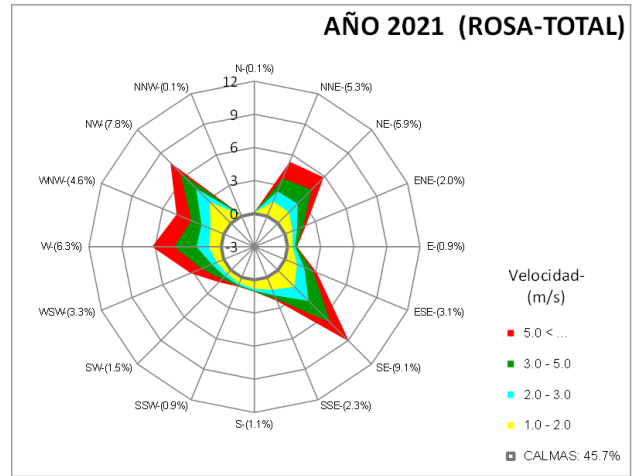
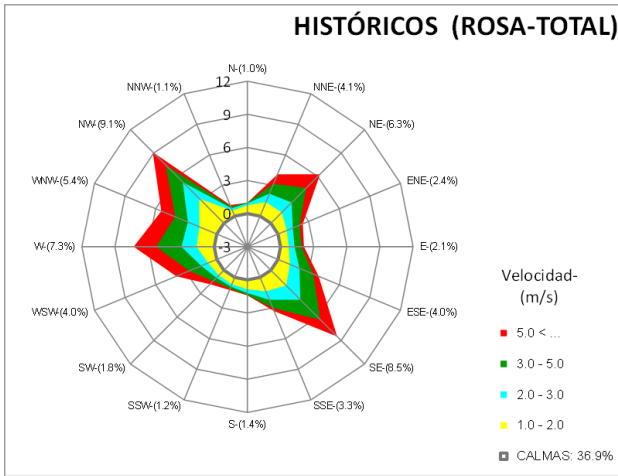


Figura 53. Rosas de viento para el periodo de datos completo disponible 2010-2021 (superior derecha), para el año 2021 completo (superior izquierda) y para el periodo coincidente con los cuatro muestreos con los captadores pasivos realizados a lo largo del mismo año (inferior).

Tabla 14. Similar a la tabla 13 para el caso de los registros meteorológicos (procedentes de la estación VALÈNCIA-CONSELLERIA-METEO); las estimaciones se refieren a los promedios diezminutales.

2021	Velocidad (m/s)	Vel. Max (m/s)	Temperat. (C)	Hum. Rel. (%)	Rad. Sol. (w/m ²)	Lluvia (l/m ²)	Presión (mb)
Media	2.1	5.7	18.0	70.0	199.4	0.0	1003.7
Máximo	24.3	40.4	37.4	100.0	1220.0	12.8	1024.0
Sigma	2.5	4.8	6.5	20.7	290.8	0.2	5.8
P95	7.2	15.1	28.5	99.0	860.0	0.0	1014.0
P98	9.1	19.0	30.5	100.0	958.0	0.0	1017.0
Camp.							
Media	2.2	5.7	18.7	65.6	225.7	0.0	1004.4
Máximo	18.8	32.6	33.0	100.0	1140.0	2.8	1023.0
Sigma	2.4	4.6	5.6	21.8	311.2	0.1	5.7
P95	6.9	15.1	28.4	99.0	926.0	0.0	1019.0
P98	8.6	17.9	30.3	99.0	984.0	0.0	1021.0



ANEXO I. COMPILACIÓN GRÁFICA DE LOS PROMEDIOS HISTÓRICOS.

Tabla A01. Composición de la base de datos de muestreos con captadores pasivos de NO₂ de alta resolución en el entorno de la ciudad de Valencia. Algunas campañas adolecen de una limitada cobertura de emplazamientos, por lo que no forman parte de la estimación de los estadísticos poblacionales.

Nº de campaña	Fecha de inicio	Fecha de final	Nº de Captadores	
			Red regular	Red periférica
1 Ant	20/02/2002	25/02/2002	97	9
2 Ant	26/11/2002	03/12/2002	90	9
3 Ant	21/04/2004	28/04/2004	92	9
1	18/12/2008	23/12/2008	95	8
2	21/01/2009	26/01/2009	96	8
3	17/02/2009	23/02/2009	96	8
Fallas	16/03/2009	20/03/2009	13	-
4	26/03/2009	31/03/2009	96	8
5	23/04/2009	28/04/2009	96	8
6	14/05/2009	19/05/2009	95	8
7	04/06/2009	09/06/2009	97	8
8	09/07/2009	14/07/2009	96	8
9	14/07/2009	20/07/2009	94	7
10	29/10/2009	03/11/2009	92	7
11	19/11/2009	24/11/2009	96	8
12	10/12/2009	15/12/2009	97	8
NO2/NH3-1	14/02/2011	02/03/2011	47	7
13	17/06/2011	27/06/2011	96	8
14	20/10/2011	25/10/2011	97	8
15	18/02/2014	25/02/2014	95	-
16	18/11/2015	24/11/2015	94	8
17	13/09/2016	20/09/2016	95	8
18	15/11/2016	21/11/2016	95	8
19	14/02/2017	21/02/2017	97	8
20	16/05/2017	23/05/2017	96	8
21	19/07/2017	26/07/2017	97	8
22	22/11/2017	30/11/2017	96	8
23	21/02/2018	28/02/2018	95	8
24	16/05/2018	23/05/2018	97	8
25	11/07/2018	18/07/2018	95	8
26	14/11/2018	21/11/2018	97	8
27	13/02/2019	20/02/2019	95	8
28	08/05/2019	15/05/2019	96	8
29	18/07/2019	25/07/2019	96	8
30	13/11/2019	20/11/2019	97	8
31	12/02/2020	19/02/2020	97	8
32 exp	29/04/2020	06/05/2020	95	8
33	20/05/2020	27/05/2020	95	8
34	15/07/2020	22/07/2020	97	8
35	18/11/2020	25/11/2020	96	8
36	10/02/2021	17/02/2021	96	8
37	12/05/2021	19/05/2021	96	8
38	15/07/2021	22/07/2021	97	7
39	10/11/2021	17/11/2021	97	8

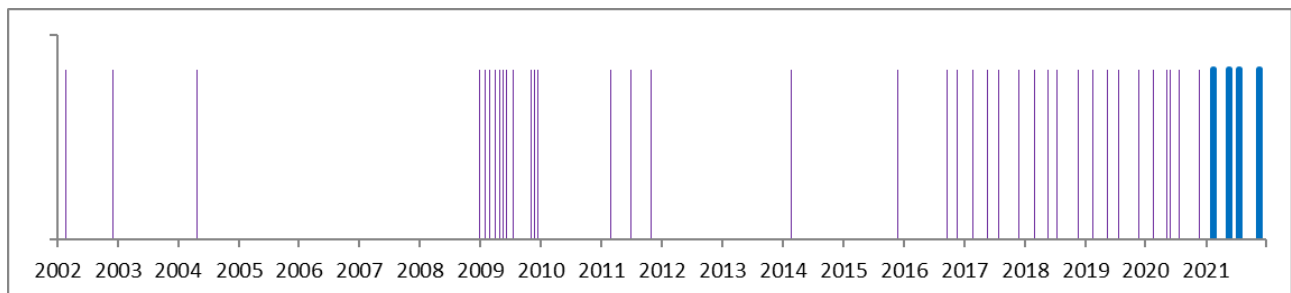


Figura A01. Cobertura temporal de la base de datos de campañas dosimétricas de NO₂ en Valencia (se resaltan las cubiertas en el presente informe).



NIVELES DE INMISIÓN DE NO₂ EN VALENCIA.

Medidas mediante Dosímetros Pasivos. Concentraciones PROMEDIO.

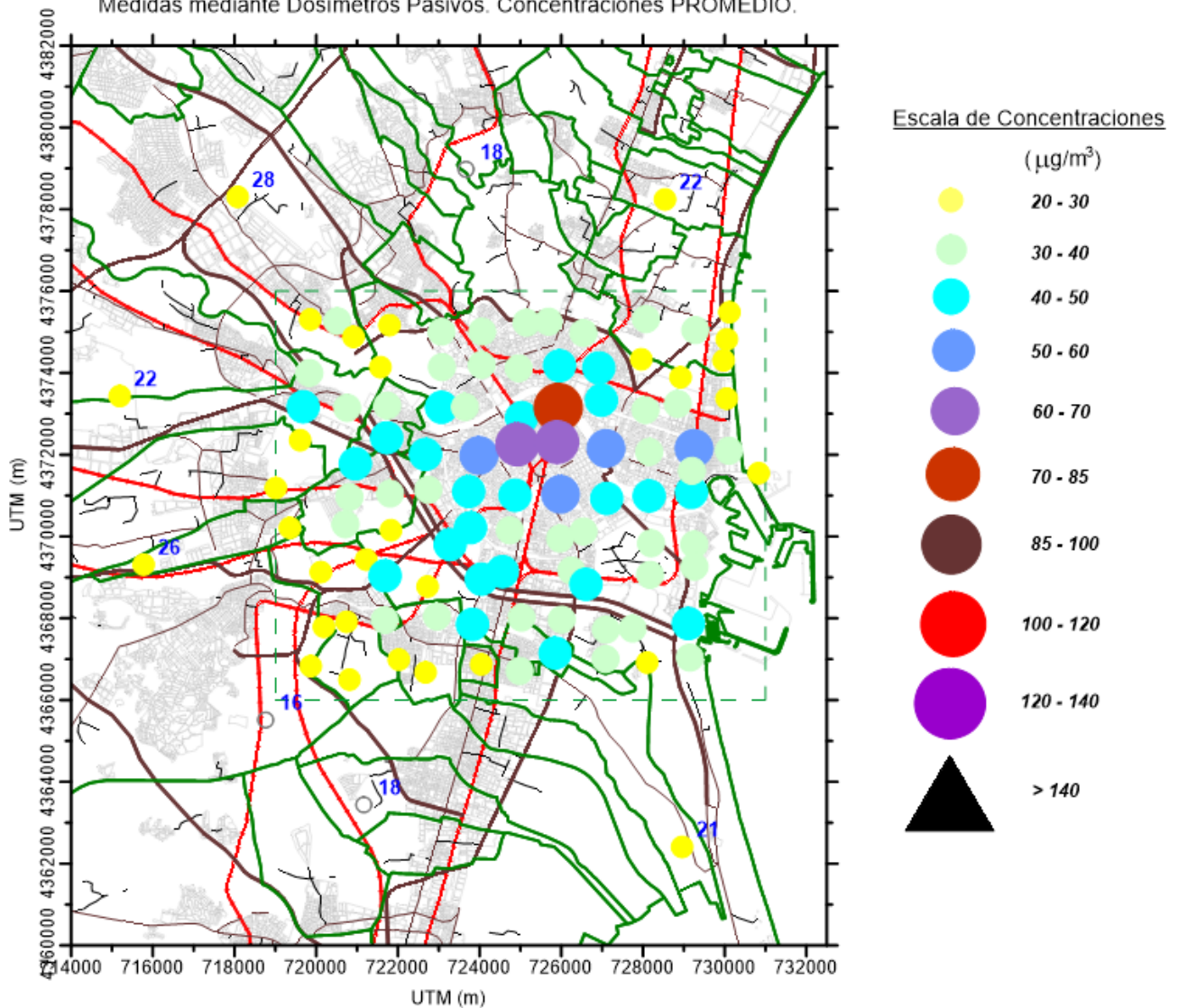


Figura A02. Distribución espacial puntual en las dos redes de muestreo de los valores de concentración de NO₂ promediados para toda la base de datos disponible.



NIVELES DE INMISIÓN DE NO₂ EN VALENCIA.

Medidas mediante Dosímetros Pasivos. Concentraciones PROMEDIO.

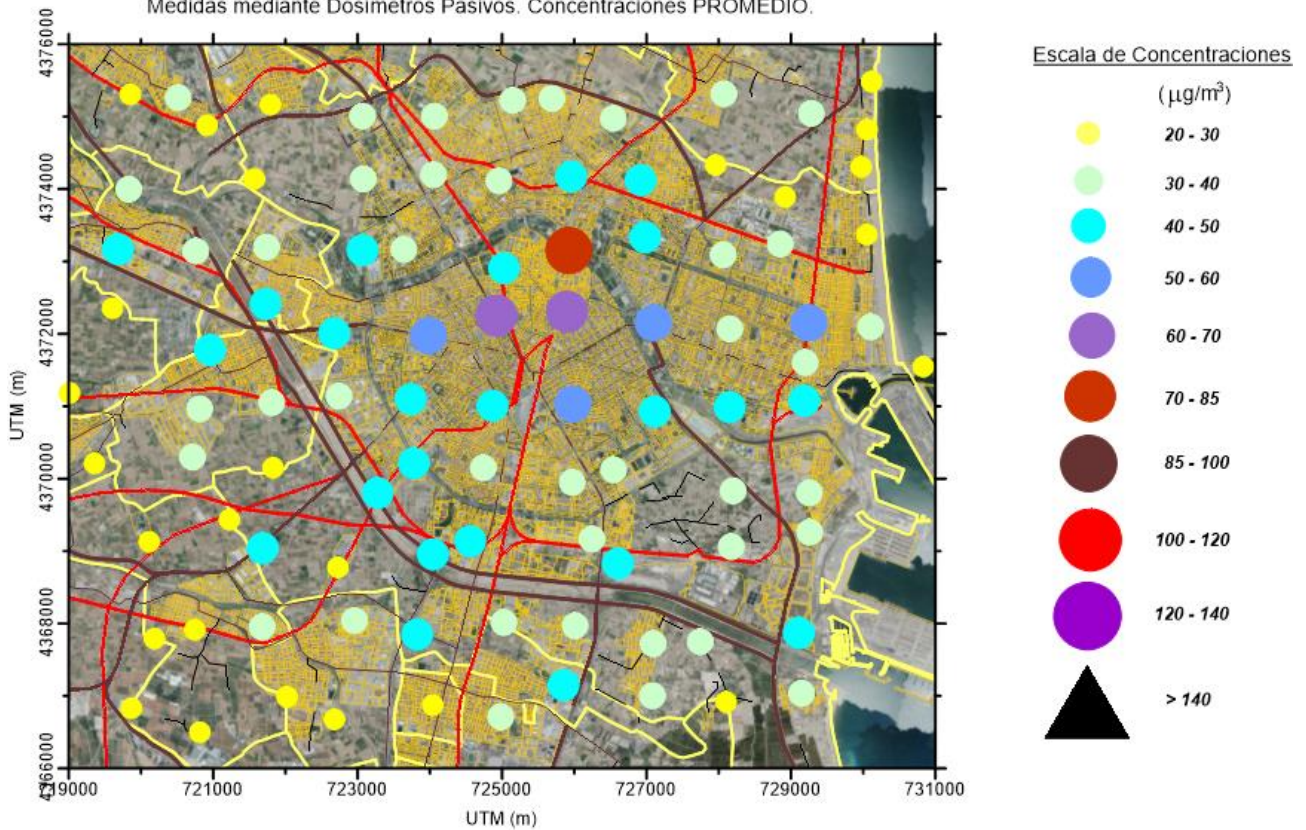


Figura A03. Distribución espacial puntual en el área de la red de muestreo semirregular de los valores de concentración de NO₂ promediados para toda la base de datos disponible.



NIVELES DE INMISIÓN DE NO₂ EN VALENCIA.

Medidas mediante Dosímetros Pasivos. Concentraciones PROMEDIO.

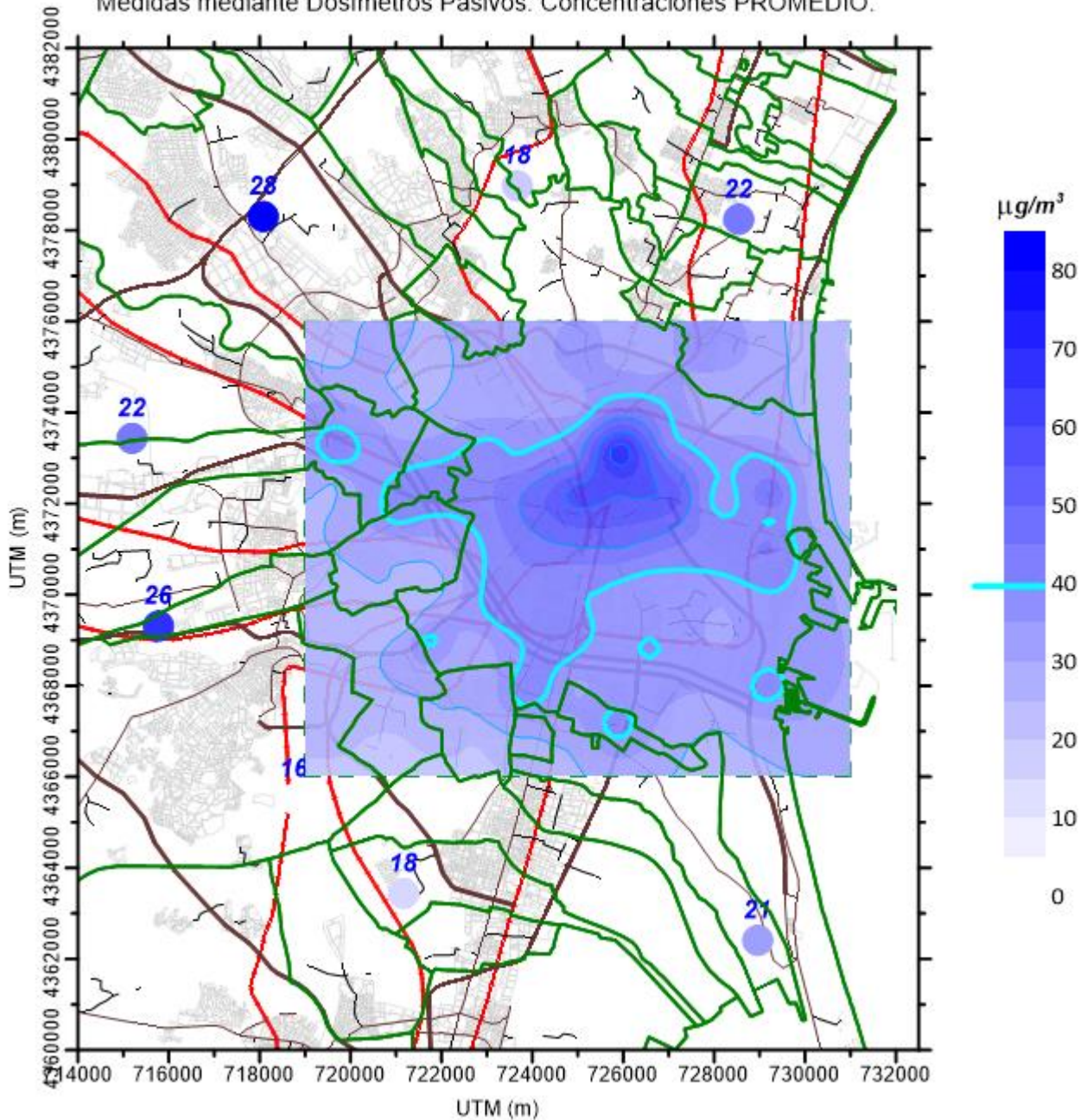


Figura A04. Distribución espacial interpolada en las dos redes de muestreo de los valores de concentración de NO₂ promediados para toda la base de datos disponible.



NIVELES DE INMISIÓN DE NO₂ EN VALENCIA.

Medidas mediante Dosímetros Pasivos. Concentraciones PROMEDIO.

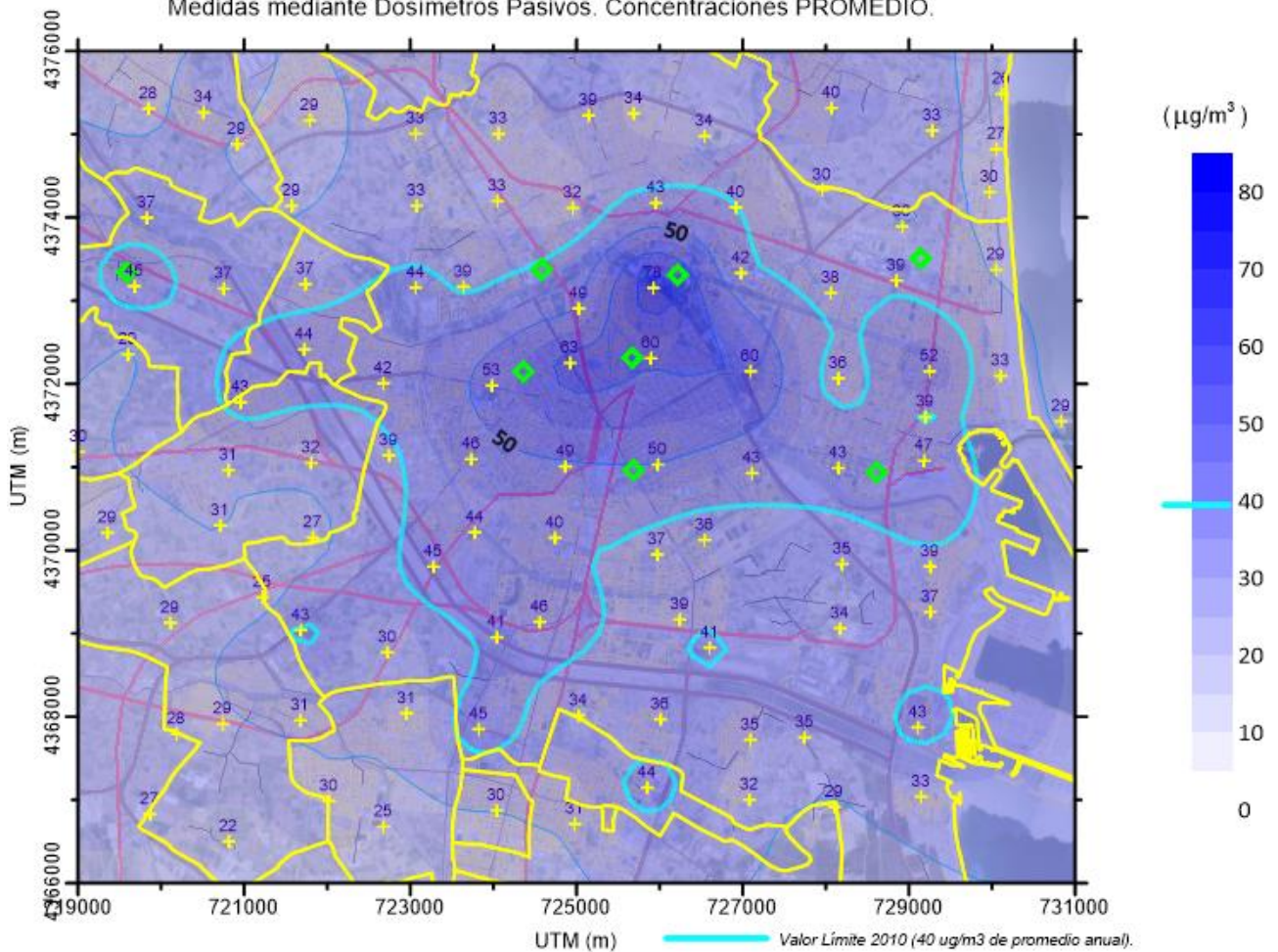


Figura A05. Distribución espacial interpolada en el área de la red de muestreo semirregular de los valores de concentración de NO₂ promediados para toda la base de datos disponible.

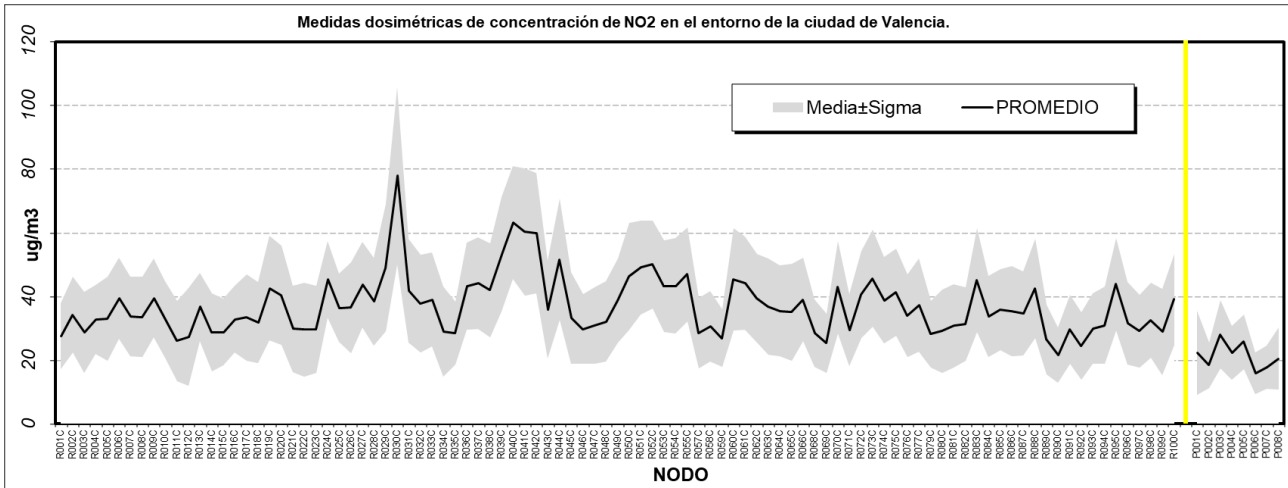


Figura A06. Secuencia de los niveles promedio de NO₂ (\pm una desviación estándar) en cada nodo de las dos redes de muestreo (los periféricos a la derecha del separador vertical) para toda la base de datos disponible.

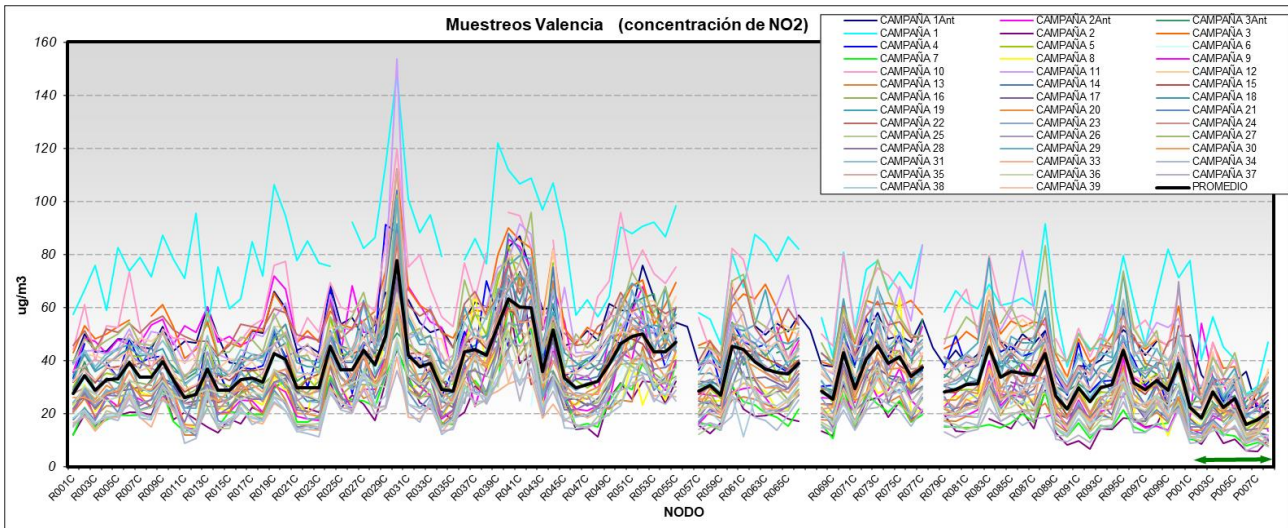


Figura A07. Secuencia de los niveles de NO₂ registrados en cada nodo para la totalidad de las campañas disponibles en las dos redes de muestreo (los periféricos indicados por la flecha horizontal); se resalta en trazo negro grueso el valor medio.

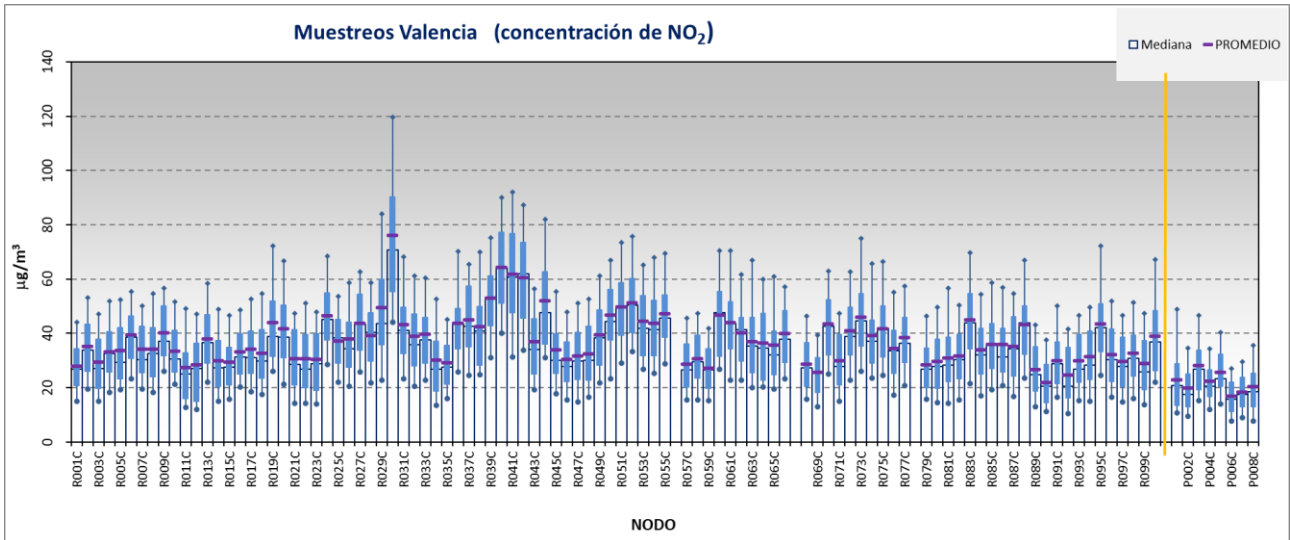


Figura A08. Distribución de la población de concentraciones de NO₂ registrados en cada nodo para la totalidad de las campañas disponibles en las dos redes de muestreo (separadas por una línea vertical); se muestran los valores de los percentiles 95, 75, 25 y 5 en la representación de caja, el promedio en las muescas horizontales y la mediana en las barras huecas.

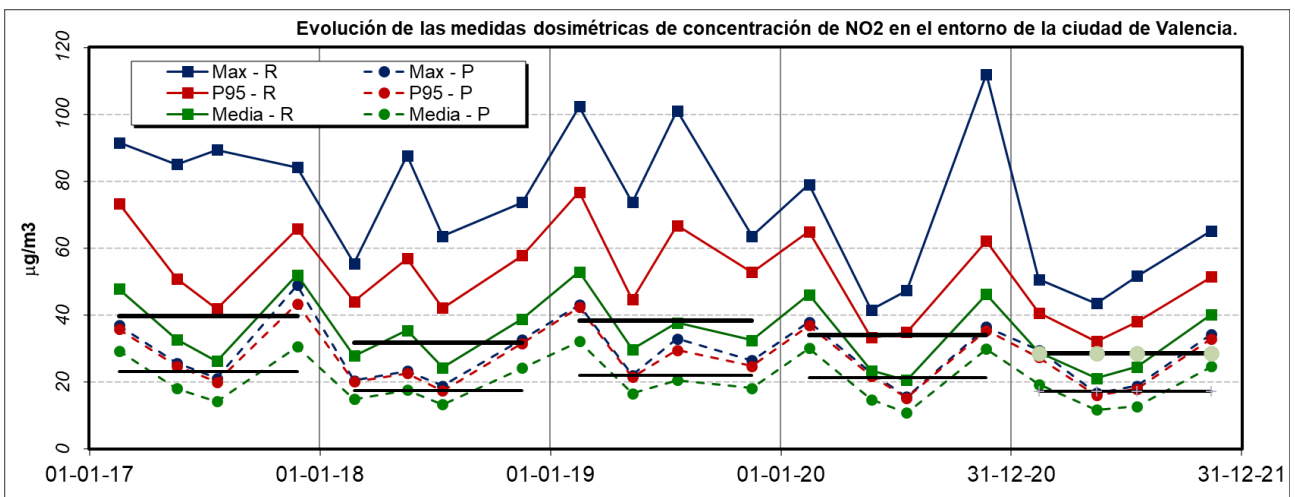


Figura A09. Secuencia temporal de los niveles de NO₂ registrados en las campañas dosimétricas sistemáticas de los últimos cuatro años. Se indica para las dos redes (regular y periférica) los valores medios, máximos y percentil 95 de cada muestreo (cuatro anuales); las líneas rectas indican los promedios anuales absolutos de cada red.

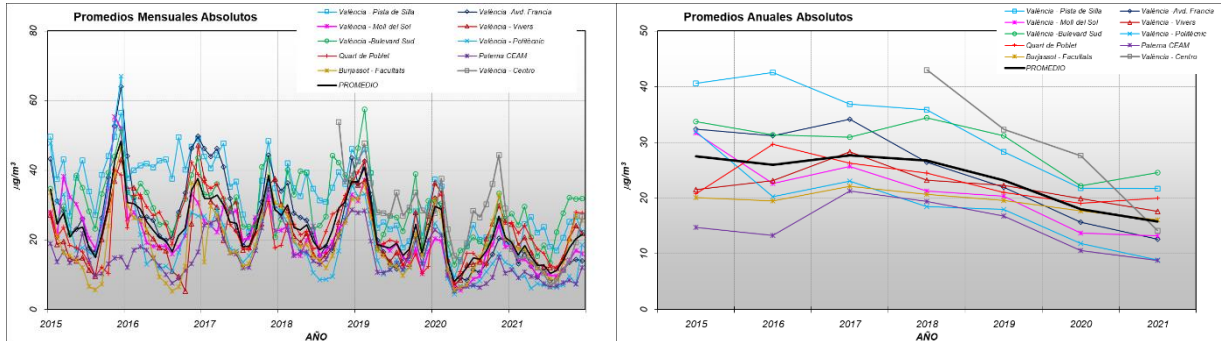


Figura A10. Secuencia temporal de la evolución en los últimos años de los promedios mensuales (izquierda) y anuales (derecha) de las concentraciones de dióxido de nitrógeno en las estaciones automáticas de vigilancia de la calidad del aire situadas en el entorno de las redes de medidas dosimétricas de Valencia.

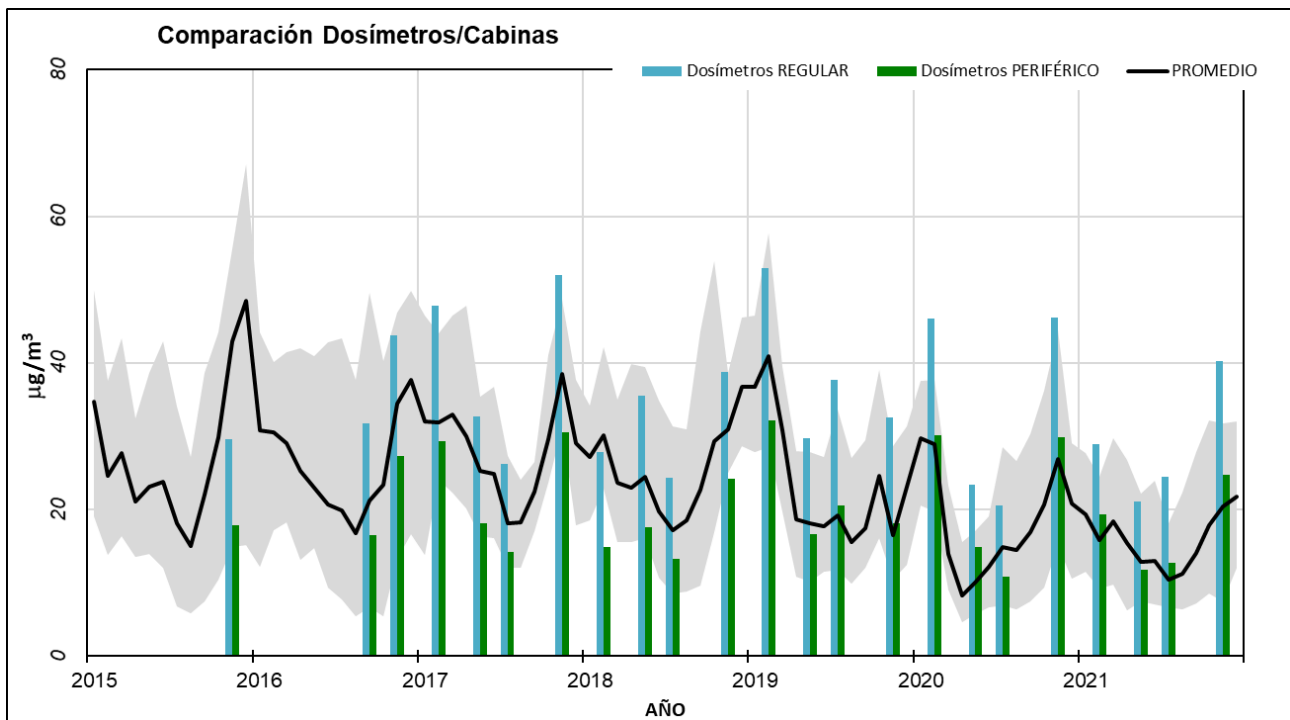


Figura A11. Evolución de los promedios mensuales de NO_2 registrados en las estaciones automáticas dentro del área de muestreo dosimétrica (se representan la línea de valores medios en la banda de máximos y mínimos) frente a los promedios de los pasivos para las dos redes desplegadas en las diferentes campañas disponibles.

