

Trabajo de Fin de Grado

Análisis geoestadístico de la contaminación por ozono y su relación con las temperaturas estivales en la Comunidad de Madrid (2020–2024).

Geostatistical analysis of ozone pollution and its relationship with summer temperatures in the Community of Madrid (2020–2024).



Doble Grado en Ciencias Ambientales y Geografía y Ordenación del Territorio (curso 2024/2025)

Facultad de Ciencias

Realizado por Arturo Linares Salgueiro

Junio 2025

Título grabado en el expediente:

La evolución del ozono en los últimos años y su relación con el aumento de las temperaturas en la Comunidad de Madrid.

The evolution of ozone in recent years and its relationship with the increase in temperatures in the Community of Madrid.

Índice

1.	Introducción.....	1
2.	Objetivos de la investigación.....	2
3.	Metodología.....	3
3.1.	Redes de calidad del aire y fuentes de emisión. Formación del contaminante.	4
3.1.1.	Redes de calidad del aire	4
3.1.2.	Naturaleza del ozono como contaminante.....	8
3.2.	Legislaciones, estrategias y recomendaciones vigentes (UE, nacional, autonómica y OMS). Valores límite	10
4.	Análisis de los resultados	13
4.1.	Análisis descriptivo de la contaminación	14
4.2.	Relación entre el O ₃ y la temperatura.....	17
4.3.	Modelado espacial de la contaminación en la Comunidad Autónoma de Madrid. Aplicación de técnicas geoestadísticas	19
5.	Discusión	23
6.	Conclusiones.....	25
7.	Bibliografía.....	26

Anexos

Resumen

Dentro del contexto actual de preocupación por la contaminación atmosférica, este trabajo se centra en analizar la evolución de la contaminación por ozono troposférico en la Comunidad Autónoma de Madrid entre los veranos de 2020 y 2024, además de relacionar estos valores con datos de temperatura. Se han empleado métodos de revisión bibliográfica, para determinar las políticas implementadas, las legislaciones pertinentes y la obtención de datos; y técnicas geoestadísticas para, mediante el tratamiento de esos datos, evaluar la efectividad de dichas políticas y determinar la evolución de los niveles de ozono en el área de estudio. Los resultados muestran las tendencias temporales de este contaminante, identificando áreas con mayores concentraciones y analizando si superaban los límites establecidos por la legislación vigente.

Palabras clave

Ozono, contaminación atmosférica, interpolación espacial, Comunidad de Madrid, altas temperaturas.

Abstract

Within the current context of concern over air pollution, this study focuses on analyzing the evolution of tropospheric ozone pollution in the Autonomous Community of Madrid between the summers of 2020 and 2024, in addition to linking these values with temperature data. Literature review methods have been used to determine the implemented policies, relevant legislation, and data collection; and geostatistical techniques have been used to process these data, evaluate the effectiveness of these policies, and determine the evolution of ozone levels in the study area. The results show the temporal trends of this pollutant, identifying areas with higher concentrations and analyzing whether they exceeded the limits established by current legislation.

Key words

Ozone, air pollution, spatial interpolation, Community of Madrid, high temperatures.

1. Introducción

En las últimas décadas, la calidad del aire se ha consolidado como una de las principales preocupaciones medioambientales y sanitarias en las ciudades europeas. La contaminación atmosférica representa un riesgo creciente para la salud humana, especialmente en entornos densamente poblados y con alta presión de movilidad como la Comunidad de Madrid, donde el crecimiento demográfico, la urbanización y la intensidad del tráfico rodado han contribuido significativamente a la degradación de la calidad del aire (EEA, 2023).

Entre los contaminantes más problemáticos destaca el ozono troposférico (O_3), un gas secundario que no se emite directamente a la atmósfera, sino que se forma a partir de reacciones fotoquímicas entre precursores como el dióxido de nitrógeno (NO_2) y los compuestos orgánicos volátiles (COVs), bajo condiciones de alta radiación solar y temperaturas elevadas (Coates et al., 2016). Este fenómeno es especialmente relevante en el contexto del cambio climático, ya que las temperaturas más altas y los episodios de olas de calor favorecen la formación de ozono a nivel del suelo (Schnell & Prather, 2017).

En la Comunidad de Madrid, este tipo de contaminación representa un desafío particular. Si bien el núcleo urbano de la capital es responsable de gran parte de las emisiones precursoras, los niveles más altos de ozono se suelen registrar en zonas periurbanas y rurales, debido a la dinámica de transporte y transformación de los contaminantes (Querol et al., 2019). Esta distribución espacial no homogénea refleja la complejidad del fenómeno, que combina fuentes locales con procesos atmosféricos regionales.

El ozono troposférico es un contaminante con efectos contrastados: mientras en la estratosfera cumple un papel protector frente a la radiación ultravioleta, a nivel del suelo actúa como un agente oxidante con efectos nocivos para la salud, la vegetación y los edificios. La exposición prolongada al ozono puede provocar síntomas respiratorios, agravamiento de enfermedades pulmonares crónicas y aumento de la mortalidad prematura, especialmente en poblaciones vulnerables como niños, personas mayores y pacientes asmáticos (WHO, 2021; Nuvolone et al., 2018; Zhang et al., 2019).

El interés por estudiar la evolución del ozono en Madrid no solo se justifica por sus implicaciones sanitarias, sino también por su relación directa con las variables meteorológicas,

en particular la temperatura. Las tendencias observadas en los últimos años apuntan a un incremento sostenido de las temperaturas estivales, con veranos más cálidos, largos y con más episodios de calor extremo (AEMET, 2023). Estos cambios refuerzan las condiciones para la formación de ozono, lo que sugiere una posible intensificación del problema en los próximos años si no se aplican medidas eficaces.

Diversos planes han tratado de reducir los niveles de contaminación, centrando sus esfuerzos en disminuir el tráfico, modernizar la flota de vehículos implantar planes de movilidad urbana sostenible que introduzcan medidas de mitigación, que permitan reducir las emisiones derivadas de la movilidad y crear zonas de bajas emisiones en ciudades de más de 50.000 habitantes (Jefatura del Estado, 2021, art. 14.3). En Madrid estas medidas se ven implementadas con el Plan Azul +, Madrid Central o Madrid 360 (Ayuntamiento de Madrid, 2022). Sin embargo, aunque estas medidas han logrado descensos notables en los niveles de NO₂, los episodios de superación de los umbrales de ozono siguen siendo frecuentes, especialmente durante los meses de verano.

Este trabajo pretende analizar la evolución de los niveles de ozono troposférico en la Comunidad de Madrid durante los meses de verano de 2020 a 2024, evaluando su relación con las temperaturas máximas registradas, con el fin de entender mejor los factores que condicionan su comportamiento espacial y temporal. Esta información resulta clave para anticipar escenarios futuros, diseñar estrategias de mitigación más eficaces y proteger la salud de la población frente a los efectos del calentamiento global.

2. Objetivos de la investigación

Este análisis evolutivo de 2020 a 2024 no solo busca aportar una visión actualizada de la situación de la calidad del aire en la Comunidad de Madrid, sino también contribuir al debate sobre las medidas necesarias y aplicadas para alcanzar un ambiente más saludable y sostenible en este ámbito, enfatizando la importancia de la colaboración entre la comunidad científica, los responsables de la formulación de políticas y la sociedad en su conjunto para enfrentar este desafío global. Para llevar a cabo el análisis espacial y evaluar con precisión la contaminación por ozono troposférico es clave la utilización de herramientas de modelización.

Dicho esto, el objetivo principal de este trabajo es evaluar el comportamiento del O_3 a lo largo de este periodo, y determinar si ha habido una mejora, deterioro o estabilidad en la calidad del aire respecto a este contaminante.

Como objetivos secundarios, se quiere:

- Identificar las áreas de la región con mayores niveles de contaminación durante el periodo de tiempo establecido.
- Comparar los niveles de O_3 con los límites establecidos por la legislación vigente, evaluando su cumplimiento.
- Estudiar la relación entre los niveles de contaminación por ozono y las altas temperaturas en la Comunidad de Madrid, una supuesta correlación positiva.
- Estudiar el impacto de las políticas medioambientales implementadas en el área de estudio en los últimos años.
- En función de los resultados, divulgar los resultados del estudio para aumentar la concienciación sobre la calidad del aire y promover la participación ciudadana en iniciativas de mejora ambiental.

3. Metodología

Como se ha señalado anteriormente, el área de estudio de este trabajo comprende toda la Comunidad Autónoma de Madrid, con una superficie de 8022 km², que alberga una población total que supera los 7 millones de habitantes (INE, 2024). El análisis de la calidad del aire en este espacio se pretende realizar mediante dos métodos: revisión bibliográfica y aplicación de técnicas geoestadísticas.

La revisión bibliográfica ha consistido, en primer lugar, en la recopilación de información acerca del contaminante objeto de estudio para poder comprender cómo se forma y y se concentra en la troposfera y como es su comportamiento en diferentes ambientes. También, se ha procedido a revisar las diferentes legislaciones (europea, nacional autonómica) sobre la calidad del aire en la zona de estudio con el principal objetivo de averiguar los límites de concentración del ozono troposférico. En este sentido también se han consultado los valores límite impuestos por otros organismos internacionales, aunque sin potestad legislativa, como

los de la OMS. Para la obtención de los datos de emisiones de los contaminantes, y poder así utilizarlos para realizar el análisis geoestadístico, se han consultado las redes de calidad del aire competentes, junto con informes anuales emitidos por la Comunidad de Madrid, el Ayuntamiento de Madrid y el MITECO. Ante la falta de disponibilidad en acceso abierto de parte de los datos necesarios para el análisis de ozono, se procedió a su solicitud al Área de Calidad Atmosférica de la Comunidad de Madrid, que los suministró para el desarrollo de este trabajo.

También, para el estudio de la relación entre los niveles de ozono y las altas temperaturas, se llevó a cabo un procedimiento específico para la obtención de la variable meteorológica. Dado que las estaciones de calidad del aire no proporcionan directamente la temperatura media de las máximas mensuales, esta variable se obtuvo a través del portal AEMET OpenData. Las estaciones meteorológicas disponibles en dicho portal no coinciden espacialmente con las estaciones de calidad del aire, por lo que se procedió a realizar una interpolación espacial mediante el método de inverso de la distancia (IDW), utilizando los datos de las estaciones meteorológicas de AEMET. Este método fue seleccionado por su eficacia en la estimación de variables ambientales cuando se dispone de un número limitado de puntos de muestreo y se busca mantener la influencia espacial de los valores más próximos (Lu & Wong, 2008). A continuación, se extrajeron los valores interpolados correspondientes a la ubicación de cada estación de calidad del aire, y dichos valores fueron los empleados en el análisis posterior.

En cuanto al análisis del ozono, antes de aplicar técnicas geoestadísticas, se ha tenido que llevar a cabo un análisis estadístico descriptivo del contaminante en los diferentes años de estudio. Con posterioridad se ha realizado ese modelado para ver la distribución espacial del contaminante en todo el ámbito de estudio. Este proceso se ha realizado para cada año utilizado.

Posteriormente, se revisarán los planes de mitigación de la contaminación atmosférica implementados en la zona de estudio para, en función de los resultados, analizar su eficacia.

3.1.Redes de calidad del aire y fuentes de emisión. Formación del contaminante.

3.1.1. Redes de calidad del aire

Para el análisis se han empleado datos de dos redes oficiales de calidad del aire presentes en la región, las cuales ofrecen información diferente: La del Ayuntamiento de Madrid y la de la Comunidad de Madrid, que ofrece cobertura a nivel regional.

La Red de Calidad del Aire del Ayuntamiento de Madrid está compuesta por un sistema integral que incluye estaciones fijas y móviles de vigilancia, un centro de control y plataformas de predicción e información pública (Ayuntamiento de Madrid, s.f.-a). Esta red se encarga de monitorear continuamente diversos contaminantes atmosféricos, entre los que se incluye el contaminante objeto de este trabajo (O_3), y otros como el dióxido de nitrógeno (NO_2), las partículas en suspensión (PM_{10} y $PM_{2.5}$), y otros gases y partículas, a través de 24 estaciones fijas distribuidas por la ciudad (de las cuales 14 miden ozono) y una unidad móvil que permite obtener mediciones en diferentes localizaciones según sea necesario.

La Red de Vigilancia del Ayuntamiento de Madrid no solo ofrece monitorización en tiempo real, sino también predicciones diarias y alertas ante episodios de alta contaminación, comunicadas a través de diversos canales como la app 'Aire de Madrid' o SMS (Ayuntamiento de Madrid, s.f.-a). Estas medidas forman parte de un sistema orientado a la protección de la salud pública y al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible. Además, los datos registrados y los informes asociados están disponibles para su consulta y descarga en el Portal de Calidad del Aire y en el catálogo de datos abiertos (Mora, 2018).

Dado que el ámbito territorial cubierto por la red del Ayuntamiento de Madrid se limita al término municipal, incorporar la totalidad de sus estaciones habría supuesto una sobrerrepresentación de un espacio relativamente reducido en comparación con el conjunto de la Comunidad de Madrid. Esto podría haber afectado negativamente al resultado de la interpolación espacial, al introducir un sesgo en la distribución de los puntos y reducir la representatividad regional del modelo (Babak & Deutsch, 2009). Por este motivo, se optó por utilizar únicamente una estación representativa del área central del municipio, Escuelas Aguirre, equilibrando así la densidad de puntos respecto a las 28 estaciones de la red autonómica.

En cuanto a la Red de Calidad del Aire de la Comunidad de Madrid es un sistema de vigilancia y control de la contaminación atmosférica gestionado por la Consejería de Medio Ambiente, Agricultura e Interior. Su objetivo principal es registrar los niveles de concentración de los principales contaminantes atmosféricos para definir las actuaciones o políticas necesarias que

permitan alcanzar los valores de calidad del aire establecidos por la legislación vigente. La red está compuesta por estaciones automáticas fijas distribuidas por todo el territorio de la Comunidad de Madrid, así como dos unidades móviles, que detectan y registran una gran variedad de contaminantes, entre los que se incluye el ozono troposférico. Así como ocurre con la red del Ayuntamiento de Madrid, no todas las estaciones miden los mismos contaminantes, pero a diferencia de dicha red, el ozono es, junto con los óxidos de nitrógeno (NO_x), el único contaminante registrado por todas las estaciones de la red autonómica.

La configuración actual de la Red de Calidad del Aire de la Comunidad de Madrid es fruto del estudio de zonificación iniciado en 2005 y revisado en 2010, 2014 y 2019, en cumplimiento de la legislación nacional y europea (Directiva 2008/50/CE y RD 102/2011). La revisión de 2019 mantuvo las zonas definidas en 2014, siendo el único cambio la incorporación de la estación de Puerto de Cotos (Rascafría) a la Zona Rural Sierra Norte. Posteriormente, en 2023, se sumaron cuatro nuevas estaciones en municipios con más de 75.000 habitantes: Las Rozas, Parla, Pozuelo de Alarcón y San Sebastián de los Reyes. Los datos de estas nuevas estaciones se han tenido en cuenta para el análisis en el periodo que han estado disponibles, a excepción del mes de junio de 2023, ya que entraron en funcionamiento a mediados de dicho mes.

Actualmente, la red cuenta con 28 estaciones fijas distribuidas en seis zonas homogéneas (tres urbanas y tres rurales), a las que se suma la red municipal del Ayuntamiento de Madrid. Las estaciones se clasifican en función del contaminante o grupo de contaminantes que miden y su tipología: 11 de tráfico, 2 industriales y 15 de fondo. Respecto al ozono, 10 estaciones son urbanas, 12 suburbanas y 6 rurales (4 remotas y 2 regionales).

Esta última diferenciación responde al hecho de que los niveles de ozono no suelen ser más altos en las zonas de emisión directa (áreas urbanas), sino que tienden a alcanzar concentraciones máximas en zonas suburbanas y rurales, como resultado del transporte y transformación de sus precursores a cierta distancia de las fuentes de emisión (EEA, 2023). En concreto, las estaciones rurales, y especialmente las clasificadas como remotas o regionales, son fundamentales para evaluar la exposición de la población al ozono, ya que están alejadas de fuentes locales de emisión que puedan interferir en las mediciones (EEA, 2019). Este enfoque es coherente con lo establecido por la Directiva 2008/50/CE y se aplica también en el diseño de redes de vigilancia en otros países europeos. Además, la clasificación según el tipo de entorno permite evaluar con mayor precisión los efectos del ozono sobre la salud y el medio

ambiente, y sirve de base para políticas de control específicas adaptadas al contexto territorial (Sicard et al., 2013).

Por último, hay que señalar que, del mismo modo que para la red local, los datos recopilados por esta red están disponibles en tiempo real y pueden consultarse a través del portal de calidad del aire de la Comunidad de Madrid o la aplicación móvil. Este portal ofrece información detallada sobre las estaciones de medición, incluyendo fotografías, planos de ubicación, equipamientos de cada una de ellas; así como información acerca de los episodios de contaminación y los posibles síntomas que pueden causar. Además, permite la consulta de datos históricos desde el año 2000, la generación de gráficos personalizados y la descarga de informes diarios, mensuales, trimestrales y anuales; con ciertas limitaciones.

Esta infraestructura, en todo su conjunto, es fundamental para el seguimiento y evaluación de la calidad del aire en la región, proporcionando información esencial para la toma de decisiones en materia de salud pública y medio ambiente.

A continuación, se muestra un mapa de la Comunidad de Madrid con las estaciones utilizadas para el análisis, siendo estas, como ya se ha mencionado, todas las de la red autonómica y una de la red del Ayuntamiento de Madrid, clasificadas según el área de ubicación:

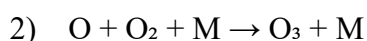
y Moreno, 2017), siendo ambos contaminantes generados en parte por el tráfico en ambientes urbanos (Cañada, 2021), y cuya generación se ve intensificada en períodos de elevada radiación solar (Querol, 2019).

La formación de ozono a partir de los NO_x se da, de manera simplificada, reaccionando con la luz solar de longitud de onda inferior a 400 nm (Díaz y Linares, 2005), dándose una serie de reacciones.

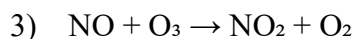
En primer lugar, se daría esta reacción de fotodisociación del dióxido de nitrógeno, mediante la cual este compuesto absorbe luz solar (radiación UV) y se descompone en monóxido de nitrógeno (NO) y oxígeno atómico (O):



En segundo lugar, para la formación de ozono, se da una reacción de oxidación del oxígeno atómico con el oxígeno presente en el aire:



Pero, debido a la alta inestabilidad del ozono, este se destruye fácil y rápidamente en presencia de NO, para volver a formar NO₂ y O₂ (Región de Murcia, s.f.):



Esta última reacción es el motivo por el cual los máximos de ozono se den en espacios suburbanos, como parques o las afueras, en lugar de en el centro de la ciudad; ya que en estos espacios suburbanos las emisiones de NO_x a la atmósfera son menores. Este proceso puede ser el causante de que una reducción de emisiones de NO_x produzca un aumento en las concentraciones de O₃ (Díaz y Linares, 2005), dándose una posible correlación negativa entre ambos contaminantes en ambientes urbanos.

La eficiencia de este conjunto de reacciones está fuertemente influenciada por las condiciones meteorológicas, especialmente por la temperatura y la radiación solar. Diversos estudios han demostrado que las olas de calor y los episodios prolongados de altas temperaturas intensifican la formación de ozono en la troposfera (EEA, 2022). Esto se debe a que tanto la fotodisociación del NO₂ como la formación del ozono a partir de O y O₂ se ven favorecidas en condiciones de

fuerte insolación y temperatura elevada (Coates et al., 2016). Además, a temperaturas más altas aumenta la emisión de compuestos orgánicos volátiles biogénicos, lo que incrementa la disponibilidad de precursores del ozono (Sicard et al., 2020).

Este fenómeno se ve especialmente acentuado en entornos urbanos debido a la existencia de islas de calor, que elevan aún más las temperaturas locales y potencian el desarrollo de condiciones fotoquímicas. Las proyecciones climáticas señalan que el calentamiento global podría agravar esta situación: según Jacob y Winner (2009), un aumento de 1 °C puede conllevar incrementos de entre 2 y 5 ppb en las concentraciones de ozono troposférico. Este hecho convierte al ozono en un claro ejemplo de contaminante influido por el cambio climático, en el que la reducción de emisiones no siempre conlleva una disminución proporcional de su concentración si no se consideran también los factores climáticos.

3.2. Legislaciones, estrategias y recomendaciones vigentes (UE, nacional, autonómica y OMS). Valores límite

Relativo a la calidad del aire, y que estén directamente relacionados con el presente trabajo, existen legislaciones a diferentes niveles, siendo estos el nivel europeo, el estatal y el local.

A nivel europeo, la Comisión Europea, a través de la Directiva 2008/50/CE, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa, establece un marco legal de referencia para todos los estados miembro; con el objetivo de evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos de la contaminación del aire sobre la salud humana y el medio ambiente (Directiva 2008/50/CE).

Esta legislación se propone fijar y establecer estándares, realizar evaluaciones, recopilar datos sobre la calidad del aire en los estados miembro y garantizar la accesibilidad de esta información a los ciudadanos, preservar la calidad del aire donde ya es satisfactoria y mejorarla donde sea necesario, y finalmente, incentivar la colaboración entre los estados miembro para reducir la contaminación del aire (Ayuntamiento de Madrid 2023). Entre los estándares de calidad del aire que se establecen, están los valores límite u objetivo, umbrales de información y alerta, niveles críticos específicos para la protección de la vegetación, así como los criterios

para la determinación del número mínimo de puntos de muestreo para la medición de los diferentes contaminantes.

A nivel estatal existen tres legislaciones para tener en cuenta en el área de estudio y en relación con este trabajo, siendo la primera la Ley 34/2007 de calidad del aire y protección de la atmósfera. Esta ley establece el marco general para la protección de la atmósfera contra la contaminación, aplicando principios de prevención, precaución y corrección de contaminación en el origen, como el famoso principio de “el que contamina paga”. Esta ley abarca un amplio espectro de contaminantes atmosféricos, entre los que se incluye el ozono, sentando las bases para las políticas y acciones específicas relativas a estos, promoviendo medidas para prevenir y reducir su presencia en el aire. El fin de esta Ley es alcanzar unos niveles óptimos de calidad del aire para evitar, prevenir o reducir riesgos o perjuicios sobre la salud humana, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza.

Además de la Ley 34/2007, influyen el Real Decreto 102/2011 relativo a la mejora de la calidad del aire y el Real Decreto 39/2017 por el que se modifica el Real Decreto 102/2011.

El Real Decreto 102/2011 establece los valores límite y objetivos referidos a varios contaminantes y define los métodos de evaluación de la calidad del aire, los umbrales para la información y alerta a la población y las responsabilidades de las administraciones públicas en la gestión de la calidad del aire. Por otro lado, el Real Decreto 39/2017 se centra en modificar métodos y criterios de evaluación para los contaminantes.

A nivel local, se ha elegido destacar la Ordenanza 4/2021 de Calidad del Aire y Sostenibilidad de Madrid, la cual establece una serie de medidas para mejorar la calidad del aire y reducir la contaminación atmosférica en la ciudad de Madrid. Esta normativa regula las emisiones de diversas fuentes, incluyendo instalaciones fijas, actividades comerciales e industriales y el tráfico (Ordenanza 4/2021).

A nivel autonómico, en la Comunidad de Madrid se han implementado diversas estrategias y planes de acción, derivados de la legislación vigente, para mejorar la calidad del aire y reducir la contaminación atmosférica, especialmente en áreas sensibles como el ozono troposférico. Entre ellas destaca la Estrategia de Calidad del Aire y Cambio Climático 2013-2020 (Plan Azul+), que incluyó medidas dirigidas a sectores clave como el transporte, la industria, la

agricultura y el ámbito residencial, con el fin de reducir emisiones de contaminantes y promover tecnologías más limpias (Comunidad de Madrid, s.f.-a).

Este plan ha sido sucedido por la Estrategia de Energía, Clima y Aire 2023-2030, aprobada en enero de 2024, que establece un enfoque integral alineado con los objetivos europeos en materia de sostenibilidad. Entre sus metas destacan la reducción del 50 % de las emisiones contaminantes del tráfico respecto a 2018, la electrificación total del transporte público y de vehículos de reparto urbano, y el fomento de la rehabilitación energética y el autoconsumo con fuentes renovables (Comunidad de Madrid, s.f.-b). Esta estrategia también contempla planes de acción específicos para episodios de alta contaminación, así como medidas concretas para reducir los niveles de ozono troposférico, contaminante especialmente problemático en la región durante los meses cálidos.

Fuera de la potestad jurídica, hay organizaciones que muestran preocupación por esta problemática, entre las cuales destaca la Organización Mundial de la Salud (OMS). En 2021, la OMS publicó un documento titulado “WHO global air quality guidelines”, lo que traducido al español significa “Pautas mundiales de la OMS sobre la calidad del aire”. Este documento, tal y como el propio nombre indica, recoge una serie de pautas o recomendaciones actualizadas para mejorar la calidad del aire y proteger la salud humana de los efectos adversos de la contaminación atmosférica, por lo que no son de obligado cumplimiento ni tienen valor legislativo. Se aborda los principales contaminantes con efectos nocivos sobre la salud, o contaminantes “clásicos”, los cuales son las partículas en suspensión ($PM_{2.5}$ y PM_{10}), ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono.

Algunas de las recomendaciones que se tratan son los valores máximos de concentración del contaminante en un periodo de tiempo determinado (valores anuales, horarios, diarios u octohorarios), estrategias de concienciación sobre estas pautas y su incorporación en políticas y estándares de calidad del aire a nivel mundial o declaraciones de buenas prácticas sobre el manejo de algunos contaminantes específicos, como las partículas en suspensión.

Tabla 1. Concentraciones máximas permitidas por la legislación vigente para la protección de la salud humana. Fuente: elaboración propia a partir de Directiva 2008/50/CE y Real Decreto 102/2011

Contaminante	Valor límite / objetivo / umbral de alerta	Concentración	Nº máx. de superaciones
O ₃	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias.	120 µg/m ³	25 días /año, promediados en un período de 3 años
	Umbral de información. Media horaria	180 µg/m ³	
	Umbral de alerta. Media horaria	240 /m ³	

Tabla 2. Concentraciones máximas recomendadas por la OMS para la protección de la salud humana. Fuente: elaboración propia a partir de WHO global air quality guidelines.

Contaminante	Valor límite / objetivo / umbral de alerta	Concentración	Nº máx de superaciones
O ₃	Media octohoraria máxima	100 µg/m ³ *	
	Temporada alta	60 µg/m ³ *	

*Estos son los valores objetivo / recomendados finales, existen también objetivos intermedios.

4. Análisis de los resultados

En el presente apartado se ha procedido a analizar la situación de la Comunidad Autónoma de Madrid en cuanto a su calidad del aire en función de los datos obtenidos y procesados del O₃, además, para estudiar una posible correlación con el aumento de la concentración de este contaminante se ha tenido en cuenta otra variable, la temperatura. Los datos utilizados para llevar a cabo este análisis corresponden con los valores límite regulados por la legislación vigente (Directiva 2008/50/CE y Real Decreto 102/2011), y teniendo en cuenta que este trabajo se enfoca en una evolución de la contaminación por ozono en los veranos de 2020 a 2024, las variables utilizadas para el análisis son las siguientes:

O₃: Número de días que se ha superado la máxima diaria de las medias móviles octohorarias (120 µg/m³), promediado en un periodo de tres años, teniendo en cuenta únicamente los meses de verano. Máximo permitido por legislación = 25 días/año.

Temperatura: Valor promedio de las temperaturas máximas diarias para cada mes (Tm_max) en grados centígrados (°C), teniendo en cuenta únicamente los meses de verano.

4.1. Análisis descriptivo de la contaminación

El análisis descriptivo de la variable de O₃ anteriormente mencionada entre 2020 y 2024 evidencia una problemática recurrente y preocupante. Esto es porque los datos muestran que el límite establecido por la legislación vigente se alcanza o supera sistemáticamente durante los tres meses estivales, sin necesidad de considerar el resto del año.

Tabla 3. Estadísticos descriptivos del O₃. Fuente: elaboración propia con SPSS.

		Estadísticos del O ₃				
		2020	2021	2022	2023	2024
N	Válido	25	25	25	28	29
	Perdido	4	4	4	1	0
Media		27,75	23,37	22,93	25,9	29,63
Mediana		24,67	22,33	20,5	24	27,33
Desv. estándar		9,43	10,28	8,98	10,63	8,81
Rango		33	35	30	42,33	39,5
Percentiles	25	20,5	18,83	16,5	19,42	22,83
	50	24,67	22,33	20,5	24	27,33
	75	35,67	32	30	33,75	37,17

En 2020, el promedio de superaciones por estación ya se situaba por encima del valor objetivo, con 27,75 días de media y un 25% de las estaciones registrando más de 35,67 días, reflejo de una situación generalizada de alta contaminación. En 2021 se observa un leve descenso en el valor medio (23,37 días), aunque la dispersión aumentó, lo que sugiere una mayor desigualdad entre estaciones. Este descenso se acentúa en 2022, el año con menor incidencia de todo el periodo, con una media de 22,93 días y la mediana más baja (20,5 días). No obstante, a partir de 2023 los valores se incrementan de nuevo. En ese año, el valor medio asciende a 25,9 días, el rango se amplía hasta 42,33 y la desviación estándar alcanza su valor máximo, indicando grandes diferencias entre las estaciones. Esta tendencia creciente se consolida en 2024, cuando se registra la media más alta del periodo (29,63 días) y un 25% de las estaciones superan los 37 días, lo que confirma una situación crítica.

Para analizar con mayor claridad la distribución espacial y la evolución temporal de las superaciones del umbral legal de ozono, los datos se han representado en dos gráficos

diferenciados: uno recoge las estaciones ubicadas en el área metropolitana de Madrid, y el otro muestra las estaciones situadas en entornos rurales y suburbanos. Esta separación permite mejorar la legibilidad y, al mismo tiempo, resaltar los diferentes patrones de comportamiento que presenta el ozono en función del tipo de entorno.

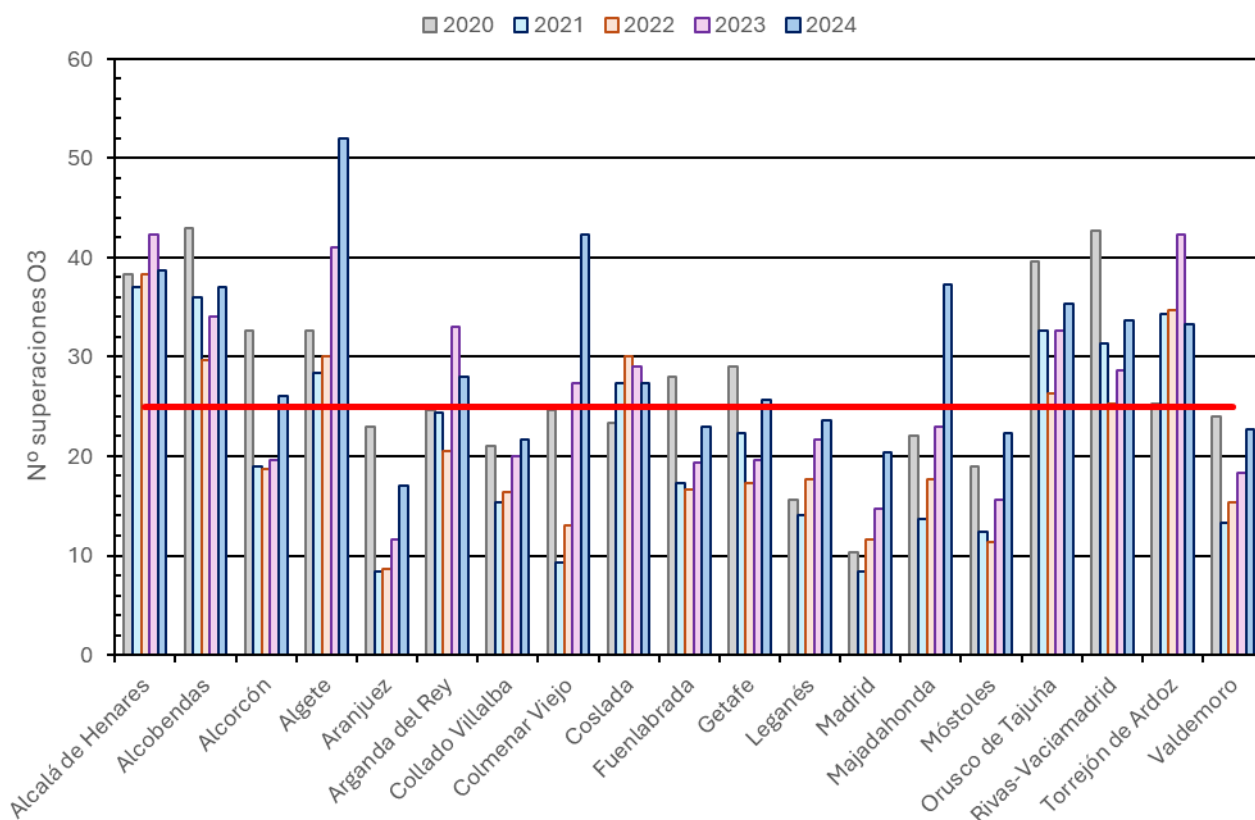


Figura 2. Gráfico del número de superaciones promedio de los valores límites de O₃ por estación (área metropolitana). Fuente: elaboración propia

En el gráfico correspondiente al área metropolitana (Figura 2) se incluyen estaciones como las de Alcalá de Henares, Alcorcón, Madrid, Getafe, Leganés o Móstoles, entre otras. En este grupo, si bien varias estaciones superan de forma recurrente el umbral legal de 25 superaciones estivales, los niveles son muy dispares entre estaciones y años, llegando a alcanzar niveles muy extremos. Algunos casos a destacar son Colmenar Viejo, Alcalá de Henares, Algete o Rivas-Vaciamadrid, que destacan por registrar valores muy elevados en varios años, como en 2024, cuando Algete sobrepasa las 50 superaciones. Esto puede que haga dudar de la premisa de que los niveles de ozono son superiores en las zonas suburbanas que en las urbanas, pero también

se debe tener en cuenta que la mayoría de estos municipios, aunque no estén en zonas catalogadas como rurales, se encuentran relativamente lejos de las fuentes directas de emisión. En cambio, estaciones como Coslada, Leganés, Getafe o Madrid presentan niveles más contenidos, especialmente en los veranos de menor incidencia como 2022; superando en ocasiones el valor umbral. Cabe señalar que las estaciones recientemente incorporadas a la red de medición (Parla, Las Rozas, San Sebastián de los Reyes y Pozuelo de Alarcón) no se han incluido en estos gráficos por motivos de homogeneidad temporal, ya que solo cuentan con datos completos en 2024.

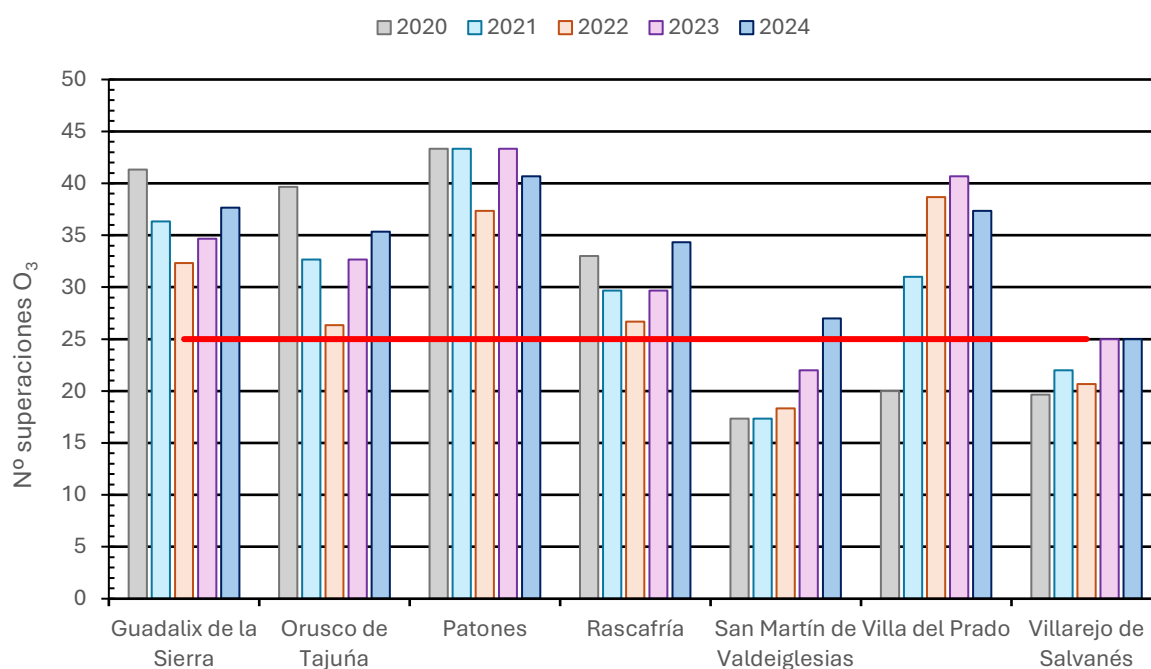


Figura 3. Gráfico del número de superaciones promedio de los valores límites de O₃ por estación (áreas rurales). Fuente: elaboración propia

Por otro lado, el gráfico de estaciones rurales y suburbanas muestra una situación más homogénea pero crítica. Estaciones como Guadalix de la Sierra, Patones, Rascafría o San Martín de Valdeiglesias presentan de forma sistemática más de 30 superaciones estivales, excediendo en varios casos las 40. Este patrón refuerza la evidencia de que las áreas rurales, especialmente las del norte y noreste de la región, concentran niveles más altos de ozono como resultado del transporte de contaminantes precursores desde el área metropolitana y su transformación fotoquímica en entornos donde la baja presencia de NO₂ limita los procesos de

eliminación del ozono. A ello se suman condiciones atmosféricas como la estabilidad, menor ventilación o irradiación solar más prolongada, especialmente frecuentes en entornos abiertos.

En conjunto, esta separación gráfica permite no solo mejorar la legibilidad visual, sino también profundizar en el análisis de los contrastes espaciales en la exposición al ozono, los cuales serían más difíciles de identificar en una única representación conjunta.

4.2. Relación entre el O₃ y la temperatura

Como se ha mencionado anteriormente, el ozono troposférico es un contaminante secundario cuya concentración está condicionada por diversos factores, entre los cuales destacan la radiación solar, la presencia de precursores (NO_x y COVs) y la temperatura del aire. En este contexto, se ha analizado la posible relación entre las dos variables de estudio, con el objetivo de determinar en qué medida el calor influye en la frecuencia de episodios de contaminación por ozono.

Con el objetivo de evaluar esta relación, se planteó inicialmente una correlación considerando todas las observaciones disponibles: datos mensuales por estación y año. Sin embargo, esta muestra extensa (435 pares de observaciones) mostró resultados estadísticamente no significativos, lo cual puede atribuirse a la alta variabilidad del ozono, que responde de forma diferente en función de la localización de las estaciones, el régimen de vientos o la proximidad a fuentes emisoras.

Para reducir el ruido introducido por estas variables locales, se adoptó una segunda estrategia basada en promedios mensuales agregados. Se calcularon los valores medios de temperatura máxima y número de superaciones de ozono para cada mes del verano (junio, julio y agosto) en cada año del periodo 2020–2024, promediando los datos de todas las estaciones. Esta metodología generó una muestra de 15 observaciones emparejadas, más adecuada para captar la tendencia general del comportamiento regional del ozono frente a la temperatura.

Tabla 4. Correlaciones entre O₃ y la temperatura media de las máximas. Fuente: elaboración propia

Correlaciones			
Valor T	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	Valor T	O ₃
		1 15	0,848 ^a <0,001 15
O ₃	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	0,848 ^a <0,001 15	1 15
^a . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).			

El resultado obtenido muestra una correlación de Pearson de 0,848 significativa ($p < 0,001$), lo que indica una relación positiva fuerte entre ambas variables. Aunque esta correlación no implica causalidad directa, sí respalda la hipótesis de que la temperatura es un factor clave en la intensificación de episodios de contaminación por ozono durante los meses estivales.

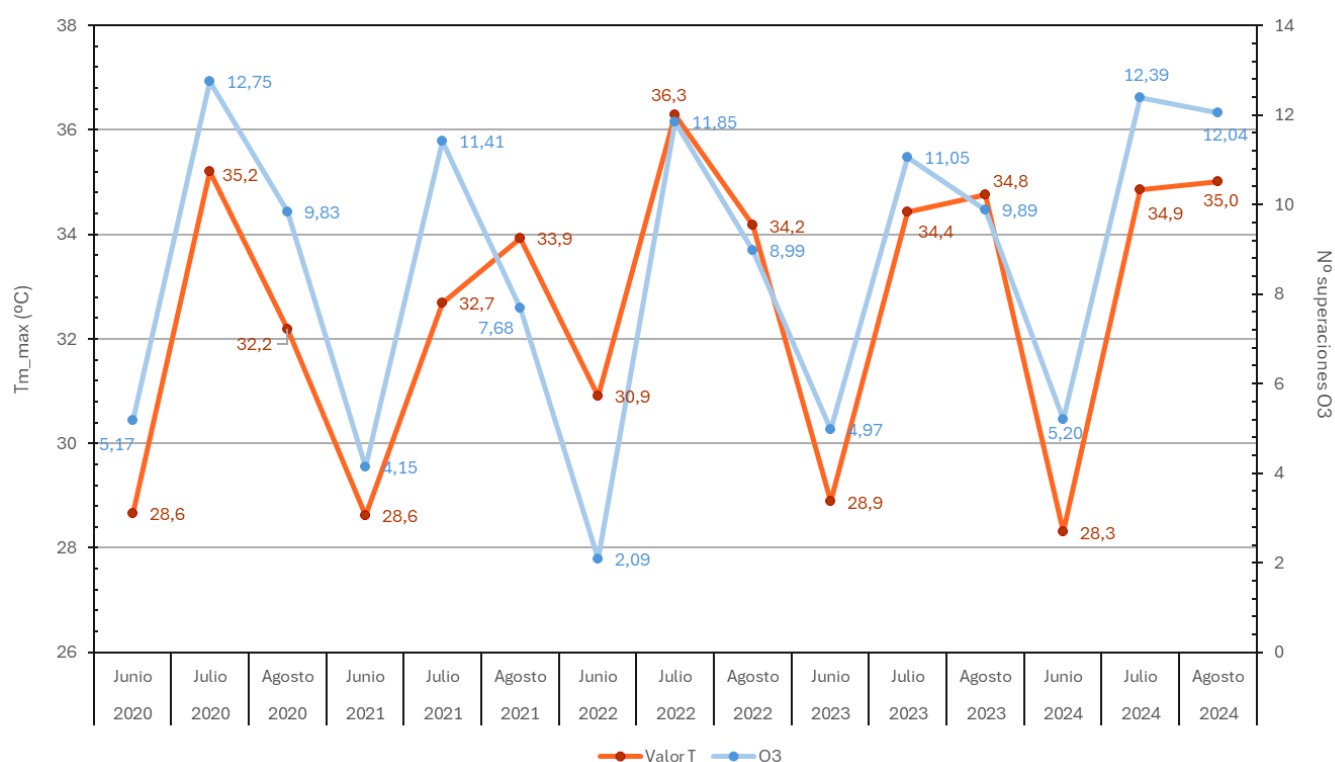


Figura 4. Gráfico comparativo de las variables de O₃ y temperatura. Fuente: elaboración propia.

Este resultado se ve reflejado visualmente en el gráfico de la Figura 4, donde se representan las series temporales de temperatura media de las máximas y número medio de superaciones por estación. En él se aprecia que los picos de temperatura coinciden, en términos generales, con los picos de superaciones de ozono, como ocurre en julio de 2020, julio de 2022 y julio de 2023, que presentan tanto temperaturas elevadas como una mayor frecuencia de episodios de ozono. Del mismo modo, los meses con temperaturas más suaves, como los junios de 2021, 2022 o 2024, tienden a mostrar niveles reducidos de superaciones. Aunque existen pequeñas desviaciones, en general ambas curvas siguen un patrón similar, lo que confirma la relación estadística encontrada.

En conjunto, estos hallazgos permiten afirmar que la temperatura desempeña un papel relevante en la dinámica del ozono en la Comunidad de Madrid, especialmente cuando se considera a escala regional. No obstante, el hecho de que esta relación solo se haya manifestado claramente al eliminar la variabilidad espacial refuerza la idea de que el comportamiento del ozono está también muy condicionado por factores locales, como pueden ser el tipo de entorno (urbano o rural), el relieve, la circulación atmosférica o la distribución de fuentes emisoras. Por tanto, aunque el aumento de las temperaturas puede agravar la problemática del ozono, cualquier estrategia de mitigación deberá incorporar también una dimensión territorial.

4.3. Modelado espacial de la contaminación en la Comunidad Autónoma de Madrid. Aplicación de técnicas geoestadísticas

Se pretende analizar la distribución espacial del contaminante en todo el territorio autonómico a partir de los valores de las 28 estaciones seleccionadas. Para ello se utilizan técnicas de interpolación espacial que estimarán todos los valores de contaminación donde no hay datos a partir de los puntos en los que sí hay información.

Este análisis espacial se ha llevado a cabo mediante la herramienta de “*Geostatistical wizard*” implementado en ArcGIS Pro. Antes de continuar con el procedimiento realizado para la elaboración de los modelos espaciales representados un poco más adelante, se debe aclarar que se realizaron diferentes pruebas con diferentes métodos y parámetros proporcionados por el *Geostatistical wizard*; pero se seleccionaron aquellos métodos cuyas predicciones daban un mejor resultado estadístico y más ajustados a la realidad geográfica.

Esta calidad de los resultados de las predicciones se ha determinado evaluando los parámetros de la validación cruzada, según lo estipulado por Cañada, 2007.

Tabla 5. Parámetros de la validación cruzada y los correspondientes indicadores de calidad en la predicción. Fuente: elaboración propia según Cañada, 2007.

Parámetro	Indicador de calidad en la predicción
Media	Lo más próximo posible a 0
Error cuadrático medio	Lo más próximo posible a 0
Media estandarizada	Lo más próximo posible a 0
Error cuadrático medio estandarizado	Lo más próximo posible a 1
Error típico medio	Lo más próximo posible al Error cuadrático medio

En vista de los valores obtenidos para el contaminante en cada año, el método de interpolación utilizado en todos los casos ha sido el “kriging ordinario”, variando parámetros como el número de vecinos y el tipo de sector para cada año (ver Anexo II).

Una vez generado el modelo mediante el kriging ordinario, se debió realizar otro geoproceso para convertir la capa geoestadística en una capa ráster, mediante la herramienta “*GA Layer To Rasters*” en ArcGIS Pro. Esto se realizó con el objetivo de ampliar la extensión de los datos predichos a los límites de la Comunidad de Madrid, ya que la capa geoestadística solo abarcaba información dentro de una cuadrícula formada por los límites de las estaciones. Por último, esta capa ráster fue sometida a un recorte con la herramienta “*Clip*” para representar exclusivamente los datos predichos dentro del término municipal madrileño.

A continuación, se muestra una tabla con los estadísticos de la validación cruzada correspondientes al resultado de la interpolación obtenidos para cada año:

Tabla 5. Estadísticos de la validación cruzada para el O₃. Fuente: elaboración propia a partir de ArcGIS Pro.

	2020	2021	2022	2023	2024
Nº estaciones	25	25	25	29	29
Media	-0,034	-0,177	-0,145	-0,390	-0,030
Error cuadrático medio	8,284	9,381	7,939	8,359	7,013
Media estandarizada	0,011	-0,013	-0,011	-0,034	-0,007
Error cuadrático medio estandarizado	1,385	1,201	1,252	0,937	1,027
Error típico medio	6,270	8,176	6,407	9,225	7,099

Siguiendo el procedimiento descrito, se han obtenido los mapas de contaminación por O₃ en la Comunidad Autónoma de Madrid en el periodo de estudio (figura 5).

Los resultados cartografiados permiten visualizar con claridad tanto la distribución espacial como la evolución temporal de los niveles de ozono troposférico en la Comunidad de Madrid durante los veranos de 2020 a 2024.

En cuanto a la distribución espacial, se observa un patrón reiterado en los cinco veranos analizados: los valores más elevados se concentran en el norte y noreste de la región, mientras que las zonas suroeste y sureste tienden a presentar menores niveles. Este comportamiento es coherente con el fenómeno de acumulación de ozono en áreas rurales y de suburbanas, donde se acumula debido a la reducida presencia de NO₂, dificultando su destrucción y favoreciendo su permanencia en la troposfera. En el verano de 2020, destacan niveles moderadamente altos en el norte y este, pero todavía con zonas por debajo del umbral legal. En 2021, las áreas más afectadas se extienden más hacia el noreste y aparecen núcleos con más de 40 superaciones. El mapa de 2022 muestra una disminución generalizada, con amplias zonas de la mitad sur y oeste por debajo de las 25 superaciones, lo que representa el año más favorable del periodo. En 2023, vuelven a intensificarse las concentraciones en el tercio norte y noreste, recuperando el patrón típico de acumulación. Finalmente, el verano de 2024 presenta la situación más crítica, con amplias zonas del norte superando las 45 superaciones, consolidando el patrón espacial más extremo de toda la serie.

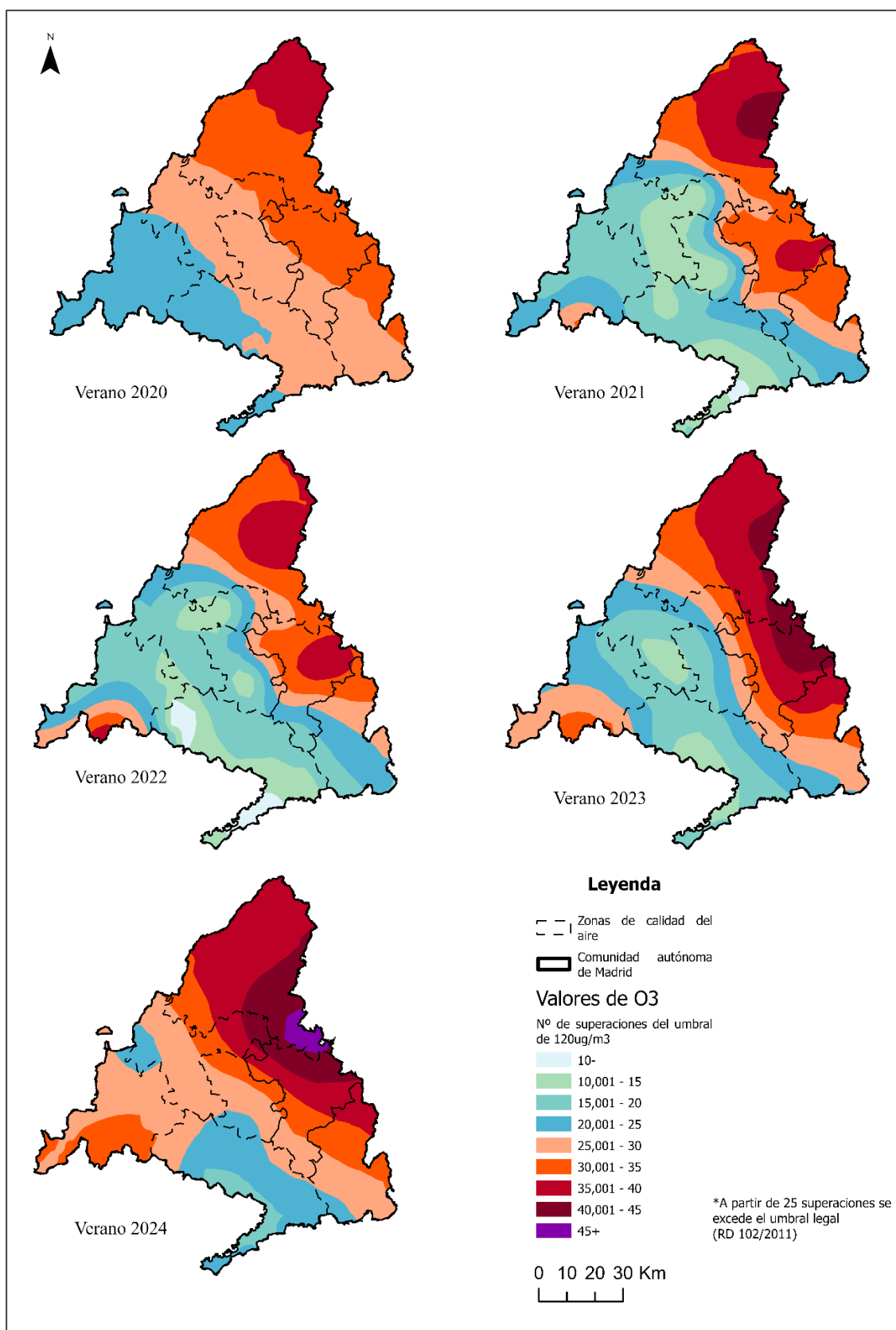


Figura 5. Distribución espacial del contaminante a lo largo del periodo de estudio. Fuente: elaboración propia.

Respecto a la evolución temporal, se observa una clara alternancia de picos y descensos, aunque con una tendencia general ascendente. El verano de 2020 presenta niveles ya elevados, aunque no extremos, mientras que 2021 supone un ligero empeoramiento en las zonas más septentrionales. En 2022 se produce un descenso notable y generalizado, como ya se señaló en los análisis estadísticos anteriores, probablemente debido a condiciones meteorológicas menos favorables para la formación de ozono. Sin embargo, esta mejora resulta puntual, ya que tanto en 2023 como en 2024 los niveles se incrementan nuevamente. Destaca 2024, el cual marca el pico máximo de todo el periodo, con la mayor parte del territorio superando el umbral y alcanzando niveles extremos. Esta evolución refuerza la preocupación sobre la posible intensificación del problema en el contexto de cambio climático y pone en evidencia la persistencia del patrón de exposición en las mismas áreas del norte de la región.

5. Discusión

Los resultados obtenidos a lo largo de este estudio reflejan una situación persistente y generalizada de superación del valor objetivo de ozono troposférico en gran parte del territorio de la Comunidad de Madrid durante los veranos de 2020 a 2024. Esto confirma el cumplimiento del objetivo principal del trabajo, que era evaluar si la calidad del aire respecto al ozono había mejorado, empeorado o permanecido estable. En este sentido, los datos muestran una tendencia general creciente, aunque no constante ya que existe una leve mejora en 2022, seguida de un claro repunte en 2023 y un empeoramiento significativo en 2024, año en el que se alcanzan los niveles más altos del periodo analizado.

Desde el punto de vista espacial, también se han cumplido los objetivos específicos. Se ha logrado identificar con claridad las zonas con mayor incidencia del contaminante, que se localizan de forma reiterada en el norte y noreste de la región, especialmente en estaciones como Guadalix de la Sierra, Patones o Algete. Estas áreas presentan una acumulación de ozono, resultado del transporte de precursores desde el área metropolitana y de unas condiciones meteorológicas que favorecen su formación, a lo que se suma la reducida presencia de NO₂ en estas zonas, lo que limita los procesos de destrucción del ozono y favorece su acumulación. En cambio, las estaciones urbanas muestran niveles más variables y, en algunos casos, más moderados, aunque no exentos de superaciones.

En relación con el tercer objetivo, el análisis del cumplimiento de la legislación vigente, los resultados son claros: el valor objetivo de 25 superaciones anuales se supera en numerosas estaciones incluso considerando únicamente el periodo estival, lo que implica un incumplimiento sistemático de la normativa en la mayor parte del territorio autonómico.

Respecto a la relación con las temperaturas máximas, los análisis han mostrado que, si bien no se observa una correlación directa cuando se analizan todos los datos de forma individualizada, sí aparece una correlación positiva fuerte y significativa cuando se trabaja con valores mensuales promediados a escala regional. Este hallazgo confirma que la temperatura es un factor clave, aunque no exclusivo, en la formación de ozono, ya que este se ve igualmente influido por otros aspectos locales.

También, si bien no se ha podido realizar un análisis cuantitativo del impacto de las políticas medioambientales recientes, los resultados sugieren que, aunque estas medidas pueden haber sido eficaces para reducir otros contaminantes como el NO₂, su efecto sobre el ozono ha sido limitado. Esto podría deberse, entre otros factores, a la compleja naturaleza secundaria del ozono, a la interacción con el cambio climático y a la falta de un enfoque más integral y holístico para enfrentar los desafíos que presenta este contaminante. Como opinión personal, aunque no hayan conseguido mejorar la situación del ozono sí que ha servido ha beneficiado a la calidad del aire en general, por lo que se considera necesario extender las medidas restrictivas de tráfico y las políticas de movilidad sostenible a otras áreas metropolitanas. También es fundamental realizar estudios que evalúen el impacto del cambio climático y las condiciones meteorológicas en la formación y dispersión de O₃, y fomentar la colaboración entre la comunidad científica, los órganos públicos competentes y la ciudadanía.

Por último, es importante recalcar que este estudio presenta ciertas limitaciones que se deben de tener en cuenta. Estas limitaciones están relacionadas con el tipo de análisis, que al tratarse de una comparación evolutiva de los datos anuales no se pueden reflejar otros agentes que han podido influir en los resultados obtenidos, como las emisiones de los contaminantes precursores, variables meteorológicas que puedan influir en el transporte como el viento o los episodios concretos de alta contaminación. También, señalar que el modelado realizado no es exacto, tanto por las variaciones producidas por el procesamiento geoestadístico, como la no consideración de factores territoriales como el relieve o los edificios, además de nuevamente los factores climáticos, que puedan afectar a la dispersión. Este estudio sirve como una visión

general de lo ocurrido en este periodo, pero si se quiere más concreción es necesario realizar un análisis más profundo, teniendo en cuenta los factores mencionados anteriormente.

6. Conclusiones

A partir del análisis realizado en este trabajo pueden extraerse las siguientes conclusiones principales:

- El ozono troposférico sigue representando un problema ambiental y sanitario significativo en la Comunidad de Madrid, con niveles que superan de forma sistemática el umbral legal durante los meses de verano en gran parte de las estaciones analizadas.
- En el periodo 2020–2024 se observa una tendencia general ascendente, especialmente destacada en el año 2024, lo que refleja un empeoramiento de la calidad del aire en relación con este contaminante.
- La distribución espacial del ozono presenta un patrón recurrente, con valores más altos en las zonas rurales y de fondo del norte y nordeste de la región, lo que evidencia el impacto del transporte de contaminantes y la acumulación regional.
- Existe una correlación positiva y significativa entre las temperaturas máximas y el número de superaciones de ozono, lo que sugiere que el calentamiento global podría agravar aún más esta problemática en el futuro.
- Las medidas actuales de control de la contaminación, centradas sobre todo en el tráfico rodado, no están siendo suficientes para reducir los niveles de ozono, por lo que se requieren estrategias más específicas y adaptadas a las particularidades de este contaminante.
- A la vista de estos resultados, es fundamental reforzar la vigilancia, la planificación territorial y la concienciación ciudadana, promoviendo acciones orientadas tanto a la reducción de precursores como a la adaptación al cambio climático, con especial atención a las zonas rurales más afectadas.

Este trabajo contribuye, por tanto, a mejorar la comprensión del comportamiento del ozono en la región, y puede servir de base para futuras investigaciones y estrategias más eficaces de gestión de la calidad del aire en un contexto de cambio climático creciente.

7. Bibliografía

- Ayuntamiento de Madrid. (2021). Ordenanza 4/2021, de 30 de marzo, de Calidad del Aire y Sostenibilidad. Boletín Oficial del Ayuntamiento de Madrid, núm. 8917. <https://sede.madrid.es/eli/es-md-01860896/odnz/2021/04/16/4/dof/spa/html>
- Ayuntamiento de Madrid. (2022). Madrid 360: Plan de Sostenibilidad Ambiental. Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad.
- Ayuntamiento de Madrid. (2023). Calidad del aire 2022: Informe anual. Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad.
- Babak, O., & Deutsch, C. V. (2009). Statistical approach to inverse distance interpolation. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23(5), 543–553. <https://doi.org/10.1007/s00477-008-0226-6>
- Cañada Torrecilla, M. R., & Moreno Jiménez, A. (2017). El contraste intraurbano de la contaminación del aire por NO₂ y O₃: estudio en grandes ciudades españolas con datos observados e interpolados con SIG. *GeoFocus (Artículos)*, 19, 27–53. <https://doi.org/10.21138/GF.499>
- Cañada Torrecilla, M. R. (2021). El riesgo de contaminación por ozono en dos ciudades españolas: Madrid y Sevilla. *Geographicalia*, 73, 195–212. <https://doi.org/10.21138/bage.1755>
- Coates, J., Mar, K. A., Ojha, N., & Butler, T. M. (2016). The influence of temperature on ozone production under varying NO_x conditions: a modelling study. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 11601–11615. <https://doi.org/10.5194/acp-16-11601-2016>
- Comunidad de Madrid. (s.f.-a). Estrategia de Calidad del Aire y Cambio Climático 2013–2020 (Plan Azul+). Recuperado de <https://www.comunidad.madrid/transparencia/informacion-institucional/planes-programas/estrategia-calidad-del-aire-y-cambio-climatico-comunidad>
- Comunidad de Madrid. (s.f.-b). Estrategia de Energía, Clima y Aire de la Comunidad de Madrid 2023–2030. Recuperado de <https://www.comunidad.madrid/transparencia/informacion-institucional/planes-programas/estrategia-energia-clima-y-aire-comunidad-madrid-2023>
- Díaz, J., & Linares, C. (2005). Efectos en la salud de la exposición a ozono troposférico. *Revista de Salud Ambiental*, 5(2), 37–48.

- Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. Diario Oficial de la Unión Europea, L 152/1. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050&from=EN>
- European Environment Agency (EEA). (2019). Monitoring of ozone under the European Union ambient air quality directives. <https://www.eea.europa.eu/publications/monitoring-of-ozone>
- European Environment Agency (EEA). (2022). Air quality in Europe – 2022 report. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022>
- European Environment Agency (EEA). (2023). Air quality in Europe – 2023 report. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2023>
- Jacob, D. J., & Winner, D. A. (2009). Effect of climate change on air quality. *Atmospheric Environment*, 43(1), 51–63. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.051>
- Jefatura del Estado. (2007). Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera. Boletín Oficial del Estado, núm. 275, de 16 de noviembre de 2007, 47381–47395. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-19744>
- Jefatura del Estado. (2021). *Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, art. 14.3*. Boletín Oficial del Estado, núm. 121, de 21 de mayo de 2021, 62009–62052. <https://www.boe.es/eli/es/l/2021/05/20/7>
- Lu, G. Y., & Wong, D. W. (2008). An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Computers & Geosciences*, 34(9), 1044–1055. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.07.010>
- Moreno Jiménez, A. (2005). Sistemas y análisis de la información geográfica: manual de autoaprendizaje con ArcGIS. Ra-Ma.
- Mora, N. A. (2018). Contaminación atmosférica en la Comunidad de Madrid: elaboración y propiedades del Patrón de inmisión de NO₂. Universidad Autónoma de Madrid.
- Nuvolone, D., Petri, D., & Voller, F. (2018). The effects of ozone on human health. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 8074–8088.

- Querol Carceller, X. (2019). Calidad del aire urbano en Europa: retos científicos y de política ambiental. *Revista de Salud Ambiental*, 19, 75–77.
- Región de Murcia, Consejería de Sanidad y Consumo. (s.f.). El ozono troposférico y sus efectos sobre la salud. Recuperado de <https://www.murciasalud.es/pagina.php?id=208166>
- Schnell, J. L., & Prather, M. J. (2017). Co-occurrence of extremes in surface ozone, particulate matter, and temperature over eastern North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(11), 2854–2859. <https://www.pnas.org/content/114/11/2854>
- Sicard, P., De Marco, A., Agathokleous, E., et al. (2020). Amplified ozone pollution in cities during the COVID-19 lockdown. *Science of The Total Environment*, 735, 139542. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139542>
- Sicard, P., De Marco, A., Dalstein-Richier, L., Tagliaferro, F., Renou, C., & Paoletti, E. (2013). An epidemiological assessment of stomatal ozone flux-based critical levels for visible ozone injury in Southern European forests. *Science of The Total Environment*, 447, 302–311. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.113>
- World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and carbon monoxide. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034211>
- Zhang, J., Wei, Y., & Fang, Z. (2019). Ozone pollution: a major health hazard worldwide. *Frontiers in Immunology*, 10, 2518.

Anexos

Anexo I. Tabla con los datos de ozono y temperaturas en bruto.

Cod_estación	Estación	Año	Mes	Valor T	O3
28013002	Aranjuez	2020	Junio	30,3	3,67
28013002	Aranjuez	2020	Julio	36,7	10,33
28013002	Aranjuez	2020	Agosto	33,8	9,00
28013002	Aranjuez	2021	Junio	30,1	0,33
28013002	Aranjuez	2021	Julio	34,2	4,33
28013002	Aranjuez	2021	Agosto	35,4	3,67
28013002	Aranjuez	2022	Junio	32,7	0,00
28013002	Aranjuez	2022	Julio	38,0	3,33
28013002	Aranjuez	2022	Agosto	36,0	5,33
28013002	Aranjuez	2023	Junio	30,5	3,67
28013002	Aranjuez	2023	Julio	36,0	2,67
28013002	Aranjuez	2023	Agosto	36,2	5,33
28013002	Aranjuez	2024	Junio	31,8	4,00
28013002	Aranjuez	2024	Julio	37,2	4,67
28013002	Aranjuez	2024	Agosto	37,3	8,33
28180001	Villarejo de Salvanés	2020	Junio	30,0	2,33
28180001	Villarejo de Salvanés	2020	Julio	36,0	10,33
28180001	Villarejo de Salvanés	2020	Agosto	33,2	7,00
28180001	Villarejo de Salvanés	2021	Junio	30,0	3,67
28180001	Villarejo de Salvanés	2021	Julio	34,3	10,33
28180001	Villarejo de Salvanés	2021	Agosto	34,9	4,67
28180001	Villarejo de Salvanés	2022	Junio	32,4	2,33
28180001	Villarejo de Salvanés	2022	Julio	37,5	11,67
28180001	Villarejo de Salvanés	2022	Agosto	35,2	6,67
28180001	Villarejo de Salvanés	2023	Junio	30,3	6,00
28180001	Villarejo de Salvanés	2023	Julio	36,0	11,67
28180001	Villarejo de Salvanés	2023	Agosto	35,7	7,33
28180001	Villarejo de Salvanés	2024	Junio	29,5	6,00
28180001	Villarejo de Salvanés	2024	Julio	36,0	10,00
28180001	Villarejo de Salvanés	2024	Agosto	35,7	9,00
28161001	Valdemoro	2020	Junio	29,8	3,33
28161001	Valdemoro	2020	Julio	36,0	11,00
28161001	Valdemoro	2020	Agosto	33,2	9,67
28161001	Valdemoro	2021	Junio	29,8	1,33
28161001	Valdemoro	2021	Julio	33,9	7,67
28161001	Valdemoro	2021	Agosto	34,8	4,33
28161001	Valdemoro	2022	Junio	31,9	0,33
28161001	Valdemoro	2022	Julio	37,4	9,33
28161001	Valdemoro	2022	Agosto	35,2	5,67
28161001	Valdemoro	2023	Junio	30,0	1,00
28161001	Valdemoro	2023	Julio	35,5	11,00
28161001	Valdemoro	2023	Agosto	35,8	6,33
28161001	Valdemoro	2024	Junio	29,5	1,00

Cod estación	Estación	Año	Mes	Valor T	O3
28161001	Valdemoro	2024	Julio	35,9	12,33
28161001	Valdemoro	2024	Agosto	36,0	9,33
28171001	Villa del Prado	2020	Junio	27,2	4,67
28171001	Villa del Prado	2020	Julio	34,3	9,67
28171001	Villa del Prado	2020	Agosto	30,9	5,67
28171001	Villa del Prado	2021	Junio	27,0	5,67
28171001	Villa del Prado	2021	Julio	31,0	15,00
28171001	Villa del Prado	2021	Agosto	32,9	10,33
28171001	Villa del Prado	2022	Junio	29,3	4,67
28171001	Villa del Prado	2022	Julio	35,3	17,67
28171001	Villa del Prado	2022	Agosto	32,9	16,33
28171001	Villa del Prado	2023	Junio	27,1	7,67
28171001	Villa del Prado	2023	Julio	32,6	16,00
28171001	Villa del Prado	2023	Agosto	33,4	17,00
28171001	Villa del Prado	2024	Junio	26,7	6,67
28171001	Villa del Prado	2024	Julio	33,5	14,33
28171001	Villa del Prado	2024	Agosto	33,8	16,33
28058004	Fuenlabrada	2020	Junio	29,5	4,67
28058004	Fuenlabrada	2020	Julio	36,0	13,00
28058004	Fuenlabrada	2020	Agosto	32,8	10,33
28058004	Fuenlabrada	2021	Junio	29,3	2,33
28058004	Fuenlabrada	2021	Julio	33,2	10,00
28058004	Fuenlabrada	2021	Agosto	34,5	5,00
28058004	Fuenlabrada	2022	Junio	31,8	1,00
28058004	Fuenlabrada	2022	Julio	37,3	10,33
28058004	Fuenlabrada	2022	Agosto	34,8	5,33
28058004	Fuenlabrada	2023	Junio	29,8	4,33
28058004	Fuenlabrada	2023	Julio	35,1	9,00
28058004	Fuenlabrada	2023	Agosto	35,5	6,00
28058004	Fuenlabrada	2024	Junio	29,0	4,67
28058004	Fuenlabrada	2024	Julio	35,6	9,67
28058004	Fuenlabrada	2024	Agosto	35,7	8,67
28102001	Orusco de Tajuña	2020	Junio	29,9	7,67
28102001	Orusco de Tajuña	2020	Julio	36,0	19,00
28102001	Orusco de Tajuña	2020	Agosto	33,2	13,00
28102001	Orusco de Tajuña	2021	Junio	29,9	7,33
28102001	Orusco de Tajuña	2021	Julio	34,2	15,33
28102001	Orusco de Tajuña	2021	Agosto	34,9	10,00
28102001	Orusco de Tajuña	2022	Junio	32,4	2,67
28102001	Orusco de Tajuña	2022	Julio	37,5	14,67
28102001	Orusco de Tajuña	2022	Agosto	35,2	9,00
28102001	Orusco de Tajuña	2023	Junio	30,2	5,67
28102001	Orusco de Tajuña	2023	Julio	36,0	16,67
28102001	Orusco de Tajuña	2023	Agosto	35,7	10,33
28102001	Orusco de Tajuña	2024	Junio	29,3	5,67
28102001	Orusco de Tajuña	2024	Julio	35,9	17,00
28102001	Orusco de Tajuña	2024	Agosto	35,7	12,67
28014002	Arganda del Rey	2020	Junio	30,7	4,00
28014002	Arganda del Rey	2020	Julio	35,1	12,67

Cod_estación	Estación	Año	Mes	Valor T	O3
28014002	Arganda del Rey	2020	Agosto	34,8	8,00
28014002	Arganda del Rey	2021	Junio	32,6	5,00
28014002	Arganda del Rey	2021	Julio	37,8	12,33
28014002	Arganda del Rey	2021	Agosto	35,9	7,00
28014002	Arganda del Rey	2022	Junio	31,2	4,00
28014002	Arganda del Rey	2022	Julio	36,9	10,50
28014002	Arganda del Rey	2022	Agosto	36,6	6,00
28014002	Arganda del Rey	2023	Junio	30,4	11,50
28014002	Arganda del Rey	2023	Julio	37,0	15,00
28014002	Arganda del Rey	2023	Agosto	36,8	6,50
28014002	Arganda del Rey	2024	Junio	29,3	12,00
28014002	Arganda del Rey	2024	Julio	35,8	11,50
28014002	Arganda del Rey	2024	Agosto	35,7	4,50
28065014	Getafe	2020	Junio	29,5	5,00
28065014	Getafe	2020	Julio	36,3	13,00
28065014	Getafe	2020	Agosto	33,0	11,00
28065014	Getafe	2021	Junio	29,4	3,00
28065014	Getafe	2021	Julio	33,1	12,33
28065014	Getafe	2021	Agosto	34,6	7,00
28065014	Getafe	2022	Junio	32,0	0,67
28065014	Getafe	2022	Julio	37,6	10,33
28065014	Getafe	2022	Agosto	35,0	6,33
28065014	Getafe	2023	Junio	30,0	4,33
28065014	Getafe	2023	Julio	35,3	8,33
28065014	Getafe	2023	Agosto	35,6	7,00
28065014	Getafe	2024	Junio	29,2	5,33
28065014	Getafe	2024	Julio	35,8	10,67
28065014	Getafe	2024	Agosto	35,8	9,67
28013002	Móstoles	2020	Junio	30,3	3,33
28013002	Móstoles	2020	Julio	36,7	6,67
28013002	Móstoles	2020	Agosto	33,8	9,00
28013002	Móstoles	2021	Junio	30,1	1,00
28013002	Móstoles	2021	Julio	34,2	6,33
28013002	Móstoles	2021	Agosto	35,4	5,00
28013002	Móstoles	2022	Junio	32,7	0,00
28013002	Móstoles	2022	Julio	38,0	6,67
28013002	Móstoles	2022	Agosto	36,0	4,67
28013002	Móstoles	2023	Junio	30,5	3,33
28013002	Móstoles	2023	Julio	36,0	7,67
28013002	Móstoles	2023	Agosto	36,2	4,67
28013002	Móstoles	2024	Junio	31,8	4,33
28013002	Móstoles	2024	Julio	37,2	10,33
28013002	Móstoles	2024	Agosto	37,3	7,67
28074007	Leganés	2020	Junio	29,5	3,67
28074007	Leganés	2020	Julio	36,0	6,67
28074007	Leganés	2020	Agosto	32,8	5,33
28074007	Leganés	2021	Junio	29,3	2,00
28074007	Leganés	2021	Julio	33,1	8,67
28074007	Leganés	2021	Agosto	34,4	3,33

Cod_estación	Estación	Año	Mes	Valor T	O3
28074007	Leganés	2022	Junio	31,8	1,00
28074007	Leganés	2022	Julio	37,3	10,67
28074007	Leganés	2022	Agosto	34,7	6,00
28074007	Leganés	2023	Junio	29,7	4,33
28074007	Leganés	2023	Julio	35,0	10,33
28074007	Leganés	2023	Agosto	35,4	7,00
28074007	Leganés	2024	Junio	28,9	5,00
28074007	Leganés	2024	Julio	35,6	9,00
28074007	Leganés	2024	Agosto	35,6	9,67
28007004	Alcorcón	2020	Junio	29,4	6,00
28007004	Alcorcón	2020	Julio	35,9	15,67
28007004	Alcorcón	2020	Agosto	32,6	11,00
28007004	Alcorcón	2021	Junio	29,2	3,67
28007004	Alcorcón	2021	Julio	33,0	10,67
28007004	Alcorcón	2021	Agosto	34,3	4,67
28007004	Alcorcón	2022	Junio	31,6	1,33
28007004	Alcorcón	2022	Julio	37,1	11,00
28007004	Alcorcón	2022	Agosto	34,6	6,33
28007004	Alcorcón	2023	Junio	29,6	3,33
28007004	Alcorcón	2023	Julio	34,9	10,33
28007004	Alcorcón	2023	Agosto	35,3	6,00
28007004	Alcorcón	2024	Junio	28,7	4,00
28007004	Alcorcón	2024	Julio	35,5	12,33
28007004	Alcorcón	2024	Agosto	35,6	9,67
28123002	Rivas-Vaciamadrid	2020	Junio	30,1	7,00
28123002	Rivas-Vaciamadrid	2020	Julio	35,6	20,67
28123002	Rivas-Vaciamadrid	2020	Agosto	33,9	15,00
28123002	Rivas-Vaciamadrid	2021	Junio	30,9	5,33
28123002	Rivas-Vaciamadrid	2021	Julio	35,5	15,33
28123002	Rivas-Vaciamadrid	2021	Agosto	35,2	10,67
28123002	Rivas-Vaciamadrid	2022	Junio	31,5	2,33
28123002	Rivas-Vaciamadrid	2022	Julio	37,1	13,00
28123002	Rivas-Vaciamadrid	2022	Agosto	35,7	10,00
28123002	Rivas-Vaciamadrid	2023	Junio	30,1	7,00
28123002	Rivas-Vaciamadrid	2023	Julio	36,2	11,67
28123002	Rivas-Vaciamadrid	2023	Agosto	36,2	10,00
28123002	Rivas-Vaciamadrid	2024	Junio	29,1	6,67
28123002	Rivas-Vaciamadrid	2024	Julio	35,7	13,67
28123002	Rivas-Vaciamadrid	2024	Agosto	35,7	13,33
28133002	San Martín de Valdeiglesias	2020	Junio	26,7	2,00
28133002	San Martín de Valdeiglesias	2020	Julio	34,0	9,00
28133002	San Martín de Valdeiglesias	2020	Agosto	30,7	6,33
28133002	San Martín de Valdeiglesias	2021	Junio	26,5	1,33
28133002	San Martín de Valdeiglesias	2021	Julio	30,6	9,67
28133002	San Martín de Valdeiglesias	2021	Agosto	32,5	6,33
28133002	San Martín de Valdeiglesias	2022	Junio	28,8	0,33
28133002	San Martín de Valdeiglesias	2022	Julio	34,9	10,33
28133002	San Martín de Valdeiglesias	2022	Agosto	32,5	7,67
28133002	San Martín de Valdeiglesias	2023	Junio	26,4	3,33

Cod estación	Estación	Año	Mes	Valor T	O3
28133002	San Martín de Valdeiglesias	2023	Julio	32,0	10,00
28133002	San Martín de Valdeiglesias	2023	Agosto	32,9	8,67
28133002	San Martín de Valdeiglesias	2024	Junio	26,0	3,33
28133002	San Martín de Valdeiglesias	2024	Julio	32,9	12,33
28133002	San Martín de Valdeiglesias	2024	Agosto	33,3	11,33
28049003	Coslada	2020	Junio	30,0	4,67
28049003	Coslada	2020	Julio	36,4	11,00
28049003	Coslada	2020	Agosto	33,3	7,67
28049003	Coslada	2021	Junio	29,6	5,33
28049003	Coslada	2021	Julio	33,6	12,67
28049003	Coslada	2021	Agosto	34,7	9,33
28049003	Coslada	2022	Junio	31,9	2,67
28049003	Coslada	2022	Julio	37,5	15,33
28049003	Coslada	2022	Agosto	35,1	12,00
28049003	Coslada	2023	Junio	29,9	6,33
28049003	Coslada	2023	Julio	35,7	12,33
28049003	Coslada	2023	Agosto	35,8	10,33
28049003	Coslada	2024	Junio	29,4	5,00
28049003	Coslada	2024	Julio	36,0	12,00
28049003	Coslada	2024	Agosto	36,0	10,33
28080003	Majadahonda	2020	Junio	29,1	4,00
28080003	Majadahonda	2020	Julio	35,7	8,33
28080003	Majadahonda	2020	Agosto	32,5	9,67
28080003	Majadahonda	2021	Junio	28,8	1,33
28080003	Majadahonda	2021	Julio	33,0	6,00
28080003	Majadahonda	2021	Agosto	34,4	6,33
28080003	Majadahonda	2022	Junio	31,2	1,00
28080003	Majadahonda	2022	Julio	36,4	7,00
28080003	Majadahonda	2022	Agosto	34,1	9,67
28080003	Majadahonda	2023	Junio	29,6	4,33
28080003	Majadahonda	2023	Julio	34,7	7,67
28080003	Majadahonda	2023	Agosto	35,5	11,00
28080003	Majadahonda	2024	Junio	28,7	7,33
28080003	Majadahonda	2024	Julio	35,3	14,67
28080003	Majadahonda	2024	Agosto	35,4	15,33
28148004	Torrejón de Ardoz	2020	Junio	29,7	4,00
28148004	Torrejón de Ardoz	2020	Julio	36,3	11,67
28148004	Torrejón de Ardoz	2020	Agosto	33,2	9,67
28148004	Torrejón de Ardoz	2021	Junio	29,1	6,33
28148004	Torrejón de Ardoz	2021	Julio	33,1	15,67
28148004	Torrejón de Ardoz	2021	Agosto	34,7	12,33
28148004	Torrejón de Ardoz	2022	Junio	32,0	4,67
28148004	Torrejón de Ardoz	2022	Julio	37,5	17,33
28148004	Torrejón de Ardoz	2022	Agosto	35,1	12,67
28148004	Torrejón de Ardoz	2023	Junio	29,9	8,67
28148004	Torrejón de Ardoz	2023	Julio	35,6	18,33
28148004	Torrejón de Ardoz	2023	Agosto	35,7	15,33
28148004	Torrejón de Ardoz	2024	Junio	29,3	7,00
28148004	Torrejón de Ardoz	2024	Julio	35,8	15,67

Cod_estación	Estación	Año	Mes	Valor T	O3
28148004	Torrejón de Ardoz	2024	Agosto	35,8	10,67
28005002	Alcalá de Henares	2020	Junio	29,6	6,67
28005002	Alcalá de Henares	2020	Julio	36,3	18,33
28005002	Alcalá de Henares	2020	Agosto	33,2	13,33
28005002	Alcalá de Henares	2021	Junio	29,0	8,00
28005002	Alcalá de Henares	2021	Julio	33,0	16,33
28005002	Alcalá de Henares	2021	Agosto	34,8	12,67
28005002	Alcalá de Henares	2022	Junio	32,2	5,33
28005002	Alcalá de Henares	2022	Julio	37,7	17,67
28005002	Alcalá de Henares	2022	Agosto	35,2	15,33
28005002	Alcalá de Henares	2023	Junio	29,8	8,67
28005002	Alcalá de Henares	2023	Julio	35,6	18,33
28005002	Alcalá de Henares	2023	Agosto	35,8	15,33
28005002	Alcalá de Henares	2024	Junio	29,3	6,67
28005002	Alcalá de Henares	2024	Julio	35,9	17,33
28005002	Alcalá de Henares	2024	Agosto	35,9	14,67
28006004	Alcobendas	2020	Junio	29,1	8,67
28006004	Alcobendas	2020	Julio	35,7	19,00
28006004	Alcobendas	2020	Agosto	32,5	15,33
28006004	Alcobendas	2021	Junio	29,2	7,33
28006004	Alcobendas	2021	Julio	33,0	16,00
28006004	Alcobendas	2021	Agosto	34,4	12,67
28006004	Alcobendas	2022	Junio	31,7	3,33
28006004	Alcobendas	2022	Julio	35,7	14,00
28006004	Alcobendas	2022	Agosto	34,6	12,33
28006004	Alcobendas	2023	Junio	29,5	5,67
28006004	Alcobendas	2023	Julio	34,9	14,00
28006004	Alcobendas	2023	Agosto	35,2	14,33
28006004	Alcobendas	2024	Junio	28,6	6,00
28006004	Alcobendas	2024	Julio	35,3	15,67
28006004	Alcobendas	2024	Agosto	35,5	15,33
28009001	Algete	2020	Junio	29,2	5,33
28009001	Algete	2020	Julio	35,9	15,00
28009001	Algete	2020	Agosto	32,7	12,33
28009001	Algete	2021	Junio	29,0	4,67
28009001	Algete	2021	Julio	33,0	13,00
28009001	Algete	2021	Agosto	34,4	10,67
28009001	Algete	2022	Junio	31,7	2,33
28009001	Algete	2022	Julio	36,8	15,33
28009001	Algete	2022	Agosto	34,7	12,33
28009001	Algete	2023	Junio	29,5	8,33
28009001	Algete	2023	Julio	35,1	17,33
28009001	Algete	2023	Agosto	35,3	15,33
28009001	Algete	2024	Junio	28,8	11,00
28009001	Algete	2024	Julio	35,4	21,33
28009001	Algete	2024	Agosto	35,5	19,67
28047002	Collado Villalba	2020	Junio	26,8	4,67
28047002	Collado Villalba	2020	Julio	34,0	9,67
28047002	Collado Villalba	2020	Agosto	30,6	6,67

Cod_estación	Estación	Año	Mes	Valor T	O3
28047002	Collado Villalba	2021	Junio	27,0	2,00
28047002	Collado Villalba	2021	Julio	30,7	8,67
28047002	Collado Villalba	2021	Agosto	32,7	4,67
28047002	Collado Villalba	2022	Junio	29,4	1,00
28047002	Collado Villalba	2022	Julio	35,4	9,67
28047002	Collado Villalba	2022	Agosto	32,9	5,67
28047002	Collado Villalba	2023	Junio	27,7	4,00
28047002	Collado Villalba	2023	Julio	32,7	9,67
28047002	Collado Villalba	2023	Agosto	33,0	6,33
28047002	Collado Villalba	2024	Junio	26,6	4,67
28047002	Collado Villalba	2024	Julio	33,5	10,00
28047002	Collado Villalba	2024	Agosto	33,9	7,00
28045002	Colmenar Viejo	2020	Junio	26,2	3,67
28045002	Colmenar Viejo	2020	Julio	32,9	11,00
28045002	Colmenar Viejo	2020	Agosto	29,6	10,00
28045002	Colmenar Viejo	2021	Junio	26,1	1,00
28045002	Colmenar Viejo	2021	Julio	30,3	5,67
28045002	Colmenar Viejo	2021	Agosto	31,5	2,67
28045002	Colmenar Viejo	2022	Junio	28,5	0,33
28045002	Colmenar Viejo	2022	Julio	34,0	6,33
28045002	Colmenar Viejo	2022	Agosto	31,7	6,33
28045002	Colmenar Viejo	2023	Junio	26,1	5,00
28045002	Colmenar Viejo	2023	Julio	31,7	11,00
28045002	Colmenar Viejo	2023	Agosto	32,4	11,33
28045002	Colmenar Viejo	2024	Junio	25,8	7,33
28045002	Colmenar Viejo	2024	Julio	32,6	17,00
28045002	Colmenar Viejo	2024	Agosto	33,1	18,00
28067001	Guadalix de la Sierra	2020	Junio	25,8	10,00
28067001	Guadalix de la Sierra	2020	Julio	32,7	18,00
28067001	Guadalix de la Sierra	2020	Agosto	29,5	13,33
28067001	Guadalix de la Sierra	2021	Junio	25,9	8,00
28067001	Guadalix de la Sierra	2021	Julio	29,9	17,00
28067001	Guadalix de la Sierra	2021	Agosto	31,6	11,33
28067001	Guadalix de la Sierra	2022	Junio	28,1	2,67
28067001	Guadalix de la Sierra	2022	Julio	33,7	16,33
28067001	Guadalix de la Sierra	2022	Agosto	31,6	13,33
28067001	Guadalix de la Sierra	2023	Junio	25,9	4,67
28067001	Guadalix de la Sierra	2023	Julio	31,4	15,00
28067001	Guadalix de la Sierra	2023	Agosto	32,2	15,00
28067001	Guadalix de la Sierra	2024	Junio	25,4	5,33
28067001	Guadalix de la Sierra	2024	Julio	32,2	16,33
28067001	Guadalix de la Sierra	2024	Agosto	32,7	16,00
28016001	Patones	2020	Junio	26,0	10,33
28016001	Patones	2020	Julio	33,0	19,00
28016001	Patones	2020	Agosto	30,1	14,00
28016001	Patones	2021	Junio	26,3	11,00
28016001	Patones	2021	Julio	30,2	17,33
28016001	Patones	2021	Agosto	32,0	15,00
28016001	Patones	2022	Junio	28,2	6,33

Cod_estación	Estación	Año	Mes	Valor T	O3
28016001	Patones	2022	Julio	33,7	15,67
28016001	Patones	2022	Agosto	31,7	15,33
28016001	Patones	2023	Junio	25,8	9,67
28016001	Patones	2023	Julio	31,4	16,33
28016001	Patones	2023	Agosto	32,2	17,33
28016001	Patones	2024	Junio	25,5	7,67
28016001	Patones	2024	Julio	32,0	17,67
28016001	Patones	2024	Agosto	32,5	15,33
28079008	Escuelas Aguirre (Madrid)	2020	Junio	28,9	2,00
28079008	Escuelas Aguirre (Madrid)	2020	Julio	35,3	4,00
28079008	Escuelas Aguirre (Madrid)	2020	Agosto	31,9	4,33
28079008	Escuelas Aguirre (Madrid)	2021	Junio	28,2	1,00
28079008	Escuelas Aguirre (Madrid)	2021	Julio	32,5	4,67
28079008	Escuelas Aguirre (Madrid)	2021	Agosto	33,7	2,67
28079008	Escuelas Aguirre (Madrid)	2022	Junio	31,3	0,67
28079008	Escuelas Aguirre (Madrid)	2022	Julio	36,8	7,67
28079008	Escuelas Aguirre (Madrid)	2022	Agosto	34,3	3,33
28079008	Escuelas Aguirre (Madrid)	2023	Junio	29,2	4,33
28079008	Escuelas Aguirre (Madrid)	2023	Julio	34,7	6,67
28079008	Escuelas Aguirre (Madrid)	2023	Agosto	35,2	3,67
28079008	Escuelas Aguirre (Madrid)	2024	Junio	28,6	4,67
28079008	Escuelas Aguirre (Madrid)	2024	Julio	35,2	7,67
28079008	Escuelas Aguirre (Madrid)	2024	Agosto	35,0	8,00
28120001	Rascafría	2020	Junio	20,8	8,00
28120001	Rascafría	2020	Julio	28,3	16,00
28120001	Rascafría	2020	Agosto	25,1	9,00
28120001	Rascafría	2021	Junio	21,1	5,67
28120001	Rascafría	2021	Julio	25,1	14,33
28120001	Rascafría	2021	Agosto	27,3	9,67
28120001	Rascafría	2022	Junio	23,7	1,33
28120001	Rascafría	2022	Julio	30,0	14,33
28120001	Rascafría	2022	Agosto	27,7	11,00
28120001	Rascafría	2023	Junio	21,4	4,00
28120001	Rascafría	2023	Julio	27,0	13,33
28120001	Rascafría	2023	Agosto	27,0	12,33
28120001	Rascafría	2024	Junio	20,8	5,00
28120001	Rascafría	2024	Julio	27,8	14,67
28120001	Rascafría	2024	Agosto	28,6	14,67
28127004	Las Rozas	2020	Junio	28,6	
28127004	Las Rozas	2020	Julio	35,2	
28127004	Las Rozas	2020	Agosto	31,9	
28127004	Las Rozas	2021	Junio	28,2	
28127004	Las Rozas	2021	Julio	32,1	
28127004	Las Rozas	2021	Agosto	33,7	
28127004	Las Rozas	2022	Junio	30,7	
28127004	Las Rozas	2022	Julio	35,6	
28127004	Las Rozas	2022	Agosto	33,1	
28127004	Las Rozas	2023	Junio	28,8	
28127004	Las Rozas	2023	Julio	34,1	

Cod_estación	Estación	Año	Mes	Valor T	O3
28127004	Las Rozas	2023	Agosto	34,5	
28127004	Las Rozas	2024	Junio	27,9	0,00
28127004	Las Rozas	2024	Julio	34,6	8,00
28127004	Las Rozas	2024	Agosto	34,8	18,00
28106001	Parla	2020	Junio	29,5	
28106001	Parla	2020	Julio	36,1	
28106001	Parla	2020	Agosto	32,9	
28106001	Parla	2021	Junio	29,4	
28106001	Parla	2021	Julio	33,3	
28106001	Parla	2021	Agosto	34,5	
28106001	Parla	2022	Junio	31,9	
28106001	Parla	2022	Julio	37,3	
28106001	Parla	2022	Agosto	34,9	
28106001	Parla	2023	Junio	29,8	0,00
28106001	Parla	2023	Julio	35,3	0,00
28106001	Parla	2023	Agosto	35,6	1,00
28106001	Parla	2024	Junio	29,1	0,50
28106001	Parla	2024	Julio	35,7	5,00
28106001	Parla	2024	Agosto	35,7	7,00
28134002	San Sebastián de los Reyes	2020	Junio	29,5	
28134002	San Sebastián de los Reyes	2020	Julio	36,4	
28134002	San Sebastián de los Reyes	2020	Agosto	33,1	
28134002	San Sebastián de los Reyes	2021	Junio	29,9	
28134002	San Sebastián de los Reyes	2021	Julio	33,7	
28134002	San Sebastián de los Reyes	2021	Agosto	35,1	
28134002	San Sebastián de los Reyes	2022	Junio	32,5	
28134002	San Sebastián de los Reyes	2022	Julio	35,6	
28134002	San Sebastián de los Reyes	2022	Agosto	35,4	
28134002	San Sebastián de los Reyes	2023	Junio	30,2	0,00
28134002	San Sebastián de los Reyes	2023	Julio	35,6	5,00
28134002	San Sebastián de los Reyes	2023	Agosto	35,8	17,00
28134002	San Sebastián de los Reyes	2024	Junio	29,2	3,00
28134002	San Sebastián de los Reyes	2024	Julio	35,9	11,50
28134002	San Sebastián de los Reyes	2024	Agosto	36,2	18,00
28115003	Pozuelo de Alarcón	2020	Junio	29,2	
28115003	Pozuelo de Alarcón	2020	Julio	36,0	
28115003	Pozuelo de Alarcón	2020	Agosto	32,7	
28115003	Pozuelo de Alarcón	2021	Junio	29,0	
28115003	Pozuelo de Alarcón	2021	Julio	33,2	
28115003	Pozuelo de Alarcón	2021	Agosto	34,8	
28115003	Pozuelo de Alarcón	2022	Junio	31,4	
28115003	Pozuelo de Alarcón	2022	Julio	36,6	
28115003	Pozuelo de Alarcón	2022	Agosto	34,3	
28115003	Pozuelo de Alarcón	2023	Junio	30,0	0,00
28115003	Pozuelo de Alarcón	2023	Julio	35,0	4,00
28115003	Pozuelo de Alarcón	2023	Agosto	35,9	9,00
28115003	Pozuelo de Alarcón	2024	Junio	29,1	1,00
28115003	Pozuelo de Alarcón	2024	Julio	35,2	7,00
28115003	Pozuelo de Alarcón	2024	Agosto	35,8	11,00

Anexo II. Tabla con los diferentes parámetros seleccionados en el *Kriging ordinario*.

	2020	2021	2022	2023	2024
Tipo de vecinos	Estándar	Estándar	Estándar	Estándar	Estándar
Vecinos máximos	6	6	6	5	5
Vecinos mínimos	2	2	2	2	2
Tipo de sector	4 sectores con 45°	4 sectores con 45°	1 sector	4 sectores con 45°	4 sectores con 45°