



Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y BIOCENCIAS
NEKAZARITZAKO INGENIARITZAKO ETA BIOZIENTZIETAKO GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA

CREACIÓN DE UN VISOR WEB CON LAS PREDICCIONES DE CONTAMINANTES
ATMOSFÉRICOS DE CAMS Y ANÁLISIS DE LA FIABILIDAD DE LAS PREDICCIONES EUROPEAS

presentado por

IÑIGO MELER USTÉS (e)k

aurkeztua

MÁSTER UNIVERSITARIO EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN
UNIBERTSITATE MASTERRA INFORMAZIO GEOGRAFIKOKO SISTEMETAN ETA TELEDETEKZIOAN



Septiembre, 2022 / 2022, Iraila

Agradecimientos

En primer lugar, querría mostrar mi agradecimiento a María González de Audicana, la que ha sido mi directora del Trabajo de Fin de Estudios durante todo este largo proceso. Sin su colaboración todo este camino realizado hubiese sido aún mucho más difícil. Gracias por haber puesto tanto de tu parte y por haberme apoyado en todo momento, ya sea a nivel formativo como en lo personal.

En segundo lugar, y no con menos importancia, quisiera, de verdad, agradecer a todo el equipo de Kunak Technologies S.L. por su increíble acogida en la empresa desde el primer momento, así como por el buen trato recibido a lo largo de todos estos meses de prácticas y desarrollo del TFE. En especial me gustaría dar las gracias a Edurne Ibarrola, mi tutora de las prácticas, que desde el día que entre por la puerta ha puesto a mi disposición todo su conocimiento y material tecnológico necesario para que mi estancia en la oficina haya sido lo más cómoda y provechosa posible de una manera amable y cercana. No quiero dejar de acordarme tampoco del equipo de Software, Asier, Emilio... ¡qué habría sido de este trabajo sin vosotros! No sabría cómo daros las gracias por haberme ayudado de la manera en que lo habéis hecho con el tema de la programación, siendo un ámbito del que tenía nociones muy básicas al comienzo. He aprendido mucho de todos vosotros y estoy seguro de que me llevo una experiencia importante para lo que venga de aquí en adelante ¡GRACIAS!

Finalmente, dar las gracias también a todas las demás personas que, de forma desinteresada, me han ayudado a que en mayor o menor medida haya aprendido muchas cosas nuevas durante estos meses y que han formado parte de este costoso pero bonito camino.

A.U.

Resumen

Los principales objetivos del presente trabajo han sido, por un lado, crear un visor web para aumentar y mejorar las funcionalidades actuales ofrecidas por el KunakCloud y poder ser, posteriormente, introducidas en el visor web de la empresa. Para ello se han insertado capas de predicciones de seis contaminantes atmosféricos a nivel global y europeo. Para ello, se ha hecho uso del servicio WMS del Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) y se ha generado el código de JavaScript con la librería Leaflet. Por otro lado, se ha realizado un análisis de la fiabilidad de las predicciones europeas frente a los archivos ajustados generados a posteriori para cuatro fechas de estudio. Los datos se han descargado de la ADS (Atmosphere Data Store) y se han procesado con QGIS 3.24. En el caso del visor web, el código de JavaScript creado se mostró funcional a la hora de representar las diferentes capas de información, así como para el manejo de la dimensión temporal de dichas capas. Además, se han conseguido desarrollar herramientas y funcionalidades complementarias. Finalmente, en cuanto al análisis de la fiabilidad de las predicciones europeas realizado, por lo general, se muestran tendencias diarias y estacionales que coinciden con las dinámicas horarias y mensuales teóricas registradas por diversos autores y, los errores y la variabilidad observadas en las predicciones suelen aumentar con los cambios de concentraciones más pronunciados y en los meses con mayores concentraciones. Así mismo, en la mayor parte de los contaminantes las predicciones subestiman los valores de concentración, pero los errores y variabilidad obtenidos han sido muy pequeños y las capas de información insertadas en el visor podrían ser recursos fiables.

Palabras clave: Web mapping, visor web, JavaScript, contaminantes atmosféricos, CAMS, predicciones.

Abstract

The main objectives of this work have been, on the one hand, to create a web viewer to increase and improve the current functionalities offered by the KunakCloud and to be able to be, subsequently, introduced in the company's web viewer. For this, layers of predictions of six atmospheric pollutants at a global and European level have been inserted. To do this, the WMS service of the Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) has been used and the JavaScript code has been generated with the Leaflet library. On the other hand, an analysis of the reliability of the European predictions has been carried out against the adjusted files generated a posteriori for four study dates. The data has been downloaded from the ADS (Atmosphere Data Store) and processed with QGIS 3.24. In the case of the web viewer, the JavaScript code created was shown to be functional when it came to representing the different layers of information, as well as for managing the temporal dimension of said layers. In addition, complementary tools and functionalities have been developed. Finally, regarding the analysis of the reliability of the European forecasts carried out, in general, hourly and seasonal trends are shown that coincide with the theoretical hourly and monthly dynamics recorded by various authors, and the errors and variability observed in the forecasts are usually increase with the most pronounced concentration changes and in the months with the highest concentrations. Likewise, in most of the pollutants, the predictions underestimate the concentration values, but the errors and variability obtained have been very small and the layers of information inserted in the viewer could be reliable resources.

Key words: Web mapping, web viewer, JavaScript, air pollutants, CAMS, predictions.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	7
1.1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1.1. Kunak Technologies S.L.....	9
1.2. OBJETIVOS.....	10
2. SITUACIÓN DE PARTIDA.....	12
2.1. KUNAKCLOUD.....	12
2.2. VISOR WEB.....	13
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	16
3.1. VISOR WEB.....	16
3.1.1. Fuente de datos.....	16
3.1.1.1. Capas base.....	16
3.1.1.2. Capas de información: predicciones de contaminantes atmosféricos del CAMS.....	17
3.1.1.3. Accesibilidad a los datos y evaluación de su calidad.....	20
3.1.2. Herramientas utilizadas para el desarrollo del visor web.....	20
3.1.2.1. HTML.....	20
3.1.2.2. CSS.....	21
3.1.2.3. JavaScript (JS).....	21
3.1.2.4. Leaflet.....	21
3.1.2.5. Sublime Text.....	22
3.1.3. Obtención de las capas de información.....	22
3.1.4. Procesamiento de datos y creación de nuevas funcionalidades del visor web.....	23
3.1.4.1. Inserción y visualización de capas.....	24
3.1.4.2. Controlador de capas.....	25
3.1.4.3. Dimensión temporal: barra temporal y calendario.....	26
3.1.4.4. Leyendas.....	29
3.1.4.5. Pop-up de la concentración del contaminante.....	30
3.1.4.6. Otras mejoras del visor web.....	31
3.2. ANÁLISIS DE LAS PREDICCIONES EUROPEAS DE CAMS.....	32
3.2.1. Fuente de datos.....	32
3.2.2. Herramientas usadas en el procesamiento de datos para el análisis de las predicciones.....	33
3.2.2.1. QGIS.....	33
3.2.3. Datos necesarios y descarga de los archivos.....	33
3.2.4. Metodología para el procesamiento de datos y análisis realizados.....	36
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1. VISOR KUNAKCLOUD.....	37
4.1.1. Capas base y capas de información.....	37
4.1.1.1. Capas base.....	37
4.1.1.2. Capas base.....	38
4.1.2. Controlador de capas.....	40
4.1.3. Dimensión temporal: barra temporal y calendario.....	41
4.1.4. Leyendas.....	45
4.1.5. Pop up de contaminantes.....	46
4.1.6. Otras mejoras.....	49
4.1.6.1. Icono de información.....	49
4.2. ANÁLISIS DE ERRORES EN LAS PREDICCIONES EUROPEAS DE CONTAMINANTES (CAMs).....	49
4.2.1. Dióxido de nitrógeno (NO ₂).....	50
4.2.1.1. Análisis de las predicciones europeas de NO ₂ según el plazo de antelación en la predicción.....	50
4.2.1.2. Análisis estacional de las predicciones europeas de NO ₂	53
4.2.2. Dióxido de azufre (SO ₂).....	55
4.2.2.1. Análisis de las predicciones europeas de SO ₂ según el plazo de antelación en la predicción.....	55
4.2.2.2. Análisis estacional de las predicciones europeas de SO ₂	58
4.2.3. Monóxido de carbono (CO).....	59
4.2.3.1. Análisis de las predicciones europeas de CO en función del plazo de antelación en la predicción.....	59

4.2.3.2. Análisis estacional de las predicciones europeas de CO.....	63
4.2.4. Ozono (O3).....	64
4.2.4.1. Análisis de las predicciones europeas de O3 en función del plazo de antelación en la predicción... 64	
4.2.4.2. Análisis estacional de las predicciones europeas de O3.....	68
4.2.5. Material particulado de diámetro < 2.5 µm.....	69
4.2.5.1. Análisis de las predicciones europeas de PM2.5 según el plazo de antelación en la predicción.....	69
4.2.5.2. Análisis estacional de las predicciones europeas de PM2.5.....	73
4.2.6. Material particulado de diámetro < 10 µm.....	74
4.2.6.1. Análisis de las predicciones europeas de PM10 según el plazo de antelación en la predicción.....	74
4.2.6.2. Análisis estacional de las predicciones europeas de PM10.....	78
5. CONCLUSIONES.....	80
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

Índice de Figuras

Figura 1. Interfaz de inicio de la página KunakCloud.....	12
Figura 2. Barra de navegación.....	13
Figura 3. Visor web de KunakCloud.....	14
Figura 4. Clústeres de los marcadores.....	14
Figura 5. Opciones de la esquina superior izquierda.....	15
Figura 6. Barra temporal.....	15
Figura 7. A la izquierda, capa base de OSM y, a la derecha, capa base satelital de Google Maps.....	16
Figura 8. Logotipos de las tecnologías y aplicaciones empleadas en la inserción de las nuevas funcionalidades.....	22
Figura 9. Captura obtenida de la llamada realizada a los metadatos del servicio WMS.....	23
Figura 10. Fragmento del código de JavaScript encargado de insertar las capas base.....	24
Figura 11. Fragmento del código de JavaScript encargado de añadir las capas de información.....	24
Figura 12. Fragmento del código de JavaScript encargado de generar el controlador de capas.....	25
Figura 13. Código de la función changeWMSLayers() dividida en sus tres partes diferenciables.....	26
Figura 14. Fragmento del código de JavaScript perteneciente a la función addSliderInMap().....	26
Figura 15. Fragmento del código de JavaScript perteneciente a la función addSliderInMap().....	27
Figura 16. Arriba, fragmento del código de JavaScript que genera las variables hour y date.....	27
Figura 17. Fragmento del código de JavaScript para el desarrollo de la función getHour().....	27
Figura 18. Código de JavaScript para el desarrollo de la función initDatePicker().....	28
Figura 19. Código de JavaScript para el desarrollo de la función DisabledEventsInMap().....	28
Figura 20. Código de JavaScript para el desarrollo de la función getCurrentDay().....	28
Figura 21. Código de JavaScript para el desarrollo de las funciones getCurrentDate() y getCurrentDate2().....	28
Figura 22. Código de JavaScript para el desarrollo de la función getDateCorrectFormToSend().....	29
Figura 23. Fragmento del código de JavaScript encargado de establecer los parámetros principales de la leyenda.....	29
Figura 24. Fragmento del código de mostrar u ocultar las leyendas de las capas de información.....	30
Figura 25. Fragmento del código de JavaScript encargado de generar la función getPollutant().....	30
Figura 26. Fragmento del código de JavaScript encargado de generar contenido el pop-up.....	31
Figura 27. Código de JavaScript para el desarrollo de la función addLegendOperationInMap().....	32
Figura 28. Código de JavaScript para el desarrollo de la función hoverLegendInDiv().....	32
Figura 29. Representación del efecto generado por las capas base bajo una capa de datos de contaminación atmosférica en la zona de la Península Ibérica.....	37
Figura 30. Representación de las previsiones globales de la concentración de los contaminantes atmosféricos del 01/09/2022 a las 12:00 horas UTC.....	38
Figura 31. Representación de las previsiones europeas de la concentración de los contaminantes atmosféricos del 01/09/2022 a las 12:00 horas UTC.....	39
Figura 32. Resultado del controlador de capas generado.....	40
Figura 33. Captura de la barra temporal horaria (arriba) y del calendario (abajo) para el manejo de la dimensión temporal de las capas de información añadidas al visor.....	41
Figura 34. Captura de las predicciones del monóxido de carbono (CO) a nivel global en 3 horas diferentes del 02/09/2022.....	42

Figura 35. Captura de las predicciones del dióxido de azufre (SO₂) a nivel europeo en 3 horas diferentes del 02/09/2022 43

Figura 36. Captura de un ejemplo de las predicciones globales de CO los días 2, 3, 4 y 5 de septiembre de 2022 a las 14:00H UTC en la zona de la Península Ibérica..... 44

Figura 37. Captura de un ejemplo de las predicciones europeas de material particulado de diámetro < 10um (PM10) los días 2, 3, 4 y 5 de septiembre de 2022 a las 14:00H UTC. 44

Figura 38. Arriba, captura de las leyendas realizadas para las capas de información de contaminantes atmosféricos a nivel global y, abajo, las leyendas realizadas para las capas de información a nivel europeo..... 46

Figura 39. Arriba, representación de los pop-ups generados para la capa de referente al ozono (O₃) a nivel global en un mismo momento temporal, pero en diferentes localizaciones. Abajo, pop-ups generados para la capa de referente al PM10 a nivel europeo en un mismo momento temporal y en diferentes localizaciones. 47

Figura 40. Captura de los pop-ups generados al seleccionar la capa de CO a nivel global en la misma localización y hora del día, pero en dos días consecutivos..... 48

Figura 41. A la izquierda, icono de información sin desplegar creado en la parte superior derecha de la interfaz del visor web y, a la derecha, leyenda mostrada una vez se ha desplegado el icono..... 49

Figura 42. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia del archivo ajustado y predicciones del dióxido de nitrógeno (NO₂) para del día 01/11/2021 50

Figura 43. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia del archivo ajustado y predicciones del dióxido de nitrógeno (NO₂) para del día 01/02/2022 51

Figura 44. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia del archivo ajustado y predicciones del dióxido de nitrógeno (NO₂) para del día 01/05/2022 51

Figura 45. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia del archivo ajustado y predicciones del dióxido de nitrógeno (NO₂) para del día 01/08/2022 52

Figura 46. Comparación estacional de las medias y desviaciones estándar de los archivos de diferencias entre el archivo ajustado y predicciones del dióxido de nitrógeno (NO₂)..... 54

Figura 47. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia del archivo de ajuste y predicciones del dióxido de azufre (SO₂) para del día 01/11/2021 55

Figura 48. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia del archivo ajustado y predicciones del dióxido de azufre (SO₂) para del día 01/02/2022 56

Figura 49. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia del archivo ajustado y las predicciones del dióxido de azufre (SO₂) para del día 01/05/2022..... 57

Figura 50. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia del archivo ajustado y las predicciones del dióxido de azufre (SO₂) para del día 01/08/2022..... 57

Figura 51. Comparación estacional de las medias y desviaciones estándar de los archivos de diferencias entre el archivo ajustado y predicciones del dióxido de azufre (SO₂)..... 59

Figura 52. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia entre el archivo ajustado y las predicciones del monóxido de carbono (CO) para del día 01/11/2021..... 60

Figura 53. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia entre el archivo ajustado y las predicciones del monóxido de carbono (CO) para del día 01/02/2022..... 61

Figura 54. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia entre el archivo ajustado y las predicciones del monóxido de carbono (CO) para del día 01/05/2022..... 61

Figura 55. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia entre el archivo ajustado y las predicciones del monóxido de carbono (CO) para del día 01/08/2022..... 62

Figura 56. Comparación estacional de las medias y desviaciones estándar de los archivos de diferencias entre el archivo ajustado y las predicciones del monóxido de carbono (CO)..... 64

Figura 57. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia entre el archivo ajustado y las predicciones del ozono (O₃) para del día 01/11/2021 65

Figura 58. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia entre el archivo ajustado y las predicciones del ozono (O₃) para del día 01/02/2022 66

Figura 59. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia entre el archivo ajustado y las predicciones del ozono (O₃) para del día 01/05/2022 66

Figura 60. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia entre el archivo ajustado y las predicciones del ozono (O₃) para del día 01/08/2022 67

Figura 61. Comparación estacional de las medias y desviaciones estándar de los archivos de diferencias entre el archivo ajustado y las predicciones del ozono (O₃)..... 69

Figura 62. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia entre el archivo ajustado y las predicciones del PM2.5 para del día 01/11/2021 70

Figura 63. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia entre el archivo ajustado y las predicciones del PM2.5 para del día 01/02/2022..... 71

Figura 64. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia entre el archivo ajustado y las predicciones del PM2.5 para del día 01/05/2022.....	71
Figura 65. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia entre el archivo ajustado y las predicciones del PM2.5 para del día 01/08/2022.....	72
Figura 66. Comparación estacional de las medias y desviaciones estándar de los archivos de diferencias entre el archivo ajustado y las predicciones del PM2.5.....	74
Figura 67. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia entre el archivo ajustado y las predicciones del PM10 para del día 01/11/2021.....	75
Figura 68. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia entre el archivo ajustado y las predicciones del PM10 para del día 01/02/2022.....	76
Figura 69. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia entre el archivo ajustado y las predicciones del PM10 para del día 01/05/2022.....	77
Figura 70. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia entre el archivo ajustado y las predicciones del PM10 para del día 01/08/2022.....	77
Figura 71. Comparación estacional de las medias y desviaciones estándar de los archivos de diferencias entre el archivo ajustado y las predicciones del PM10.....	79

Índice de Tablas

Tabla 1. Especificaciones principales de los productos de contaminantes atmosféricos ofrecidos por CAMS.....	18
Tabla 2. Modelos numéricos de calidad del aire de última generación empleados en la producción de las predicciones regionales (Europa).....	19
Tabla 3. Archivos, nombres identificativos y unidades de medida de los productos de contaminantes atmosféricos empleados a través del servicio WMS de CAMS.....	23
Tabla 4. Valores de corte de las leyendas de cada capa de información añadidas al visor web.....	29
Tabla 5. Parámetros seleccionados para cada uno de los archivos ajustados descargados de la ADS.....	34
Tabla 6. Parámetros seleccionados para cada uno de los archivos de predicciones descargados de la ADS.....	35
Tabla 7. Ejemplo del cálculo de los productos ráster de diferencias y el número obtenido para los datos del día 01/02/2022.....	36
Tabla 8. Diferencias absolutas de las medias diarias relativas al NO2.....	54
Tabla 9. Diferencias absolutas de las medias diarias relativas al SO2.....	59
Tabla 10. Diferencias absolutas de las medias diarias relativas al CO.....	64
Tabla 11. Diferencias absolutas de las medias diarias relativas al O3.....	69
Tabla 12. Diferencias absolutas de las medias diarias relativas al PM2.5.....	73
Tabla 13. Diferencias absolutas de las medias diarias relativas al PM10.....	78

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El siguiente apartado se ha estructurado en dos bloques principales a través de los cuales se realizará una introducción y se presentarán los diferentes objetivos planteados en el presente trabajo.

1.1. INTRODUCCIÓN

Según Jacobson (2002), la contaminación atmosférica podría considerarse como la emisión antrópica de gases o partículas de aerosol que se acumulan en concentraciones lo suficientemente altas como para causar daños directos o indirectos a plantas, animales, otras formas de vida, ecosistemas y estructuras u obras de arte. Además, podría referirse también a cualquier forma de contaminación del aire que perturbe la composición natural y la química de dicho medio (Abas, 2019). La atmósfera terrestre es dinámica, por lo que su composición está sujeta a cambios constantes (Boldo, 2016). En este contexto, la continua acción antropogénica a lo largo de la historia ha provocado tasas muy altas de emisión de contaminantes al medio ambiente (Querol et al. 2012) y determinados contaminantes siguen siendo demasiado elevados causando problemas en relación con la calidad del aire (EEA, 2020). En consecuencia, la contaminación del aire se ha convertido en uno de los principales problemas ambientales en la actualidad (Annalee et al. 2016).

La combustión de combustibles fósiles, los procesos industriales, la agricultura, los vehículos y el uso residencial son responsables de la emisión de contaminantes atmosféricos (Shindell et al., 2011; Zhang et al. 2012; Liu et al., 2016; Hill et al., 2019; Ma et al., 2021), por lo que el desarrollo social y económico de diferentes sectores explica gran parte de este problema ambiental (de Leeuw, 2002). Así mismo, muchos de los problemas de contaminación se ven exacerbados por las reacciones químicas atmosféricas (Jacobson, 2002). A través de la dispersión y el transporte aéreo los contaminantes llegan a zonas cercanas a la superficie de la Tierra (Castillo et al. 2017), suponiendo un problema global que representa una grave amenaza para los seres humanos y el ecosistema (Ma et al. 2021). Este hecho ha justificado históricamente el control y la vigilancia de los niveles de inmisión de contaminación atmosférica (Aránguez et al., 1999). Por lo tanto, para obtener una predicción y toma de decisiones confiables con el objetivo de mitigar el impacto de los contaminantes del aire, es necesario un monitoreo continuo y preciso de la calidad del aire (Hou et al. 2019), así como el estudio de las dinámicas temporales que muestran cada uno de los diferentes contaminantes presentes a lo largo de la atmósfera.

Por un lado, las Redes de Vigilancia del aire son el principal instrumento para la evaluación de la calidad del aire. Cada una de ellas está formada por un conjunto de estaciones equipadas con instrumentos de medida en continuo que registran la evolución de las concentraciones de los principales contaminantes (Velarde-Mautino, 2014). Hoy en día, Gobiernos e instituciones oficiales cuentan con redes de vigilancia con estaciones propias a diferentes niveles territoriales (MITECO, n.d). Abarcan prácticamente la totalidad del planeta, aunque con notables diferencias en cuanto a cobertura espacial y temporal, siendo los países más desarrollados las regiones mejor cubiertas en ambos sentidos (Álvarez-Francoso, 2016). Por ejemplo, en la actualidad, las redes de vigilancia de la calidad del aire en España cuentan con más de 600 estaciones de medición fijas (más de 4.000

analizadores) que forman parte de la “Red Española de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica”. Esta, a su vez, pertenece a otras grandes redes internacionales como son el “Programa EMEP” (*European Monitoring Evaluation Programme*) y la red “BAPMoN” (*Background Air Pollution Monitoring Network*). Además, hay redes de vigilancia gestionadas por las diferentes Comunidades Autónomas (MITECO, n.d).

Además de contar con una red cada vez más extensa de estaciones oficiales de referencia de mediciones de gases atmosféricos, en estos tiempos se ha producido un incremento en el número de empresas del sector tecnológico y ambiental que apuestan por el diseño y creación de dispositivos que consigan monitorizar la calidad de aire. Esto hace que, combinadas, se tenga un registro cada vez más exhaustivo de los componentes presentes en la atmósfera.

Por otro lado, adicionalmente a las estaciones de monitoreo oficiales y los dispositivos diseñados por diferentes empresas, durante los últimos años se han empleado, y están empezando a surgir, nuevas fuentes de datos que pueden ser complementarias a ellas (Theys et al., 2019). Además de las mediciones convencionales, las técnicas de teledetección y los sistemas de información geográfica son capaces de proporcionar información complementaria para áreas no monitoreadas o en las que el número de estaciones es limitado (Kaplan y Avdan, 2020). La observación satelital de la calidad del aire comenzó a emplearse hace aproximadamente cuatro décadas con el lanzamiento del “Total Ozone Monitoring Instrument” -TOMS- en 1978. Posteriormente, fueron el “GOME” en 1995, el “Ozone Monitoring Instrument” -OMI- en 2004 y, finalmente, el satélite Sentinel-5 con el Instrumento de monitoreo troposférico precursor -Sentinel-5P TROPOMI- en 2017 (Abida et al., 2016; Kaplan y Avdan, 2020).

Estos instrumentos satelitales están diseñados para obtener información que permita monitorizar los diversos gases en la estratosfera y la troposfera de la Tierra. El sensor TROPOMI, a bordo de Sentinel-5P, a diferencia de otros instrumentos satelitales de observación de la calidad del aire y debido a que tiene una resolución espacial relativamente alta, resulta eficaz para el estudio y las aplicaciones de calidad del aire, tal y como han demostrado distintos estudios desde su lanzamiento (Kaplan y Avdan, 2020). De esta forma, los datos e imágenes satelitales, aunque sin la misma precisión que una medición directa, pueden proveer de información necesaria que ayude al diagnóstico de la contaminación atmosférica, aportando una visión global. Son una de las opciones menos costosas y el uso de datos obtenido de este tipo de imágenes es aceptable para estimar la concentración de partículas de diferentes contaminantes. Así mismo, a pesar de su limitación temporal, aportan una visión única sobre la calidad del aire (Quintero et al., 2021).

Tanto la cantidad como la importancia de los datos espaciotemporales en tiempo real está creciendo enormemente, y las entidades gubernamentales están ofreciendo más datos útiles relacionados y de forma abierta (Ubaldi, 2013). Además, a partir de la constitución del Comité Técnico de normalización sobre Geomática e Información Geográfica, ISO/TC 211, y la creación de la Open Geospatial Consortium (OGC) se ha promovido la definición de una serie de estándares abiertos e interoperables para los SIG. De esta forma, se han establecido acuerdos entre las diferentes empresas

del sector que han posibilitado la interoperación de sus sistemas de geoprocésamiento y facilitan el intercambio de la información geográfica en beneficio de los usuarios independientemente de la red, aplicación o plataforma que se utilice (Vitturini y Fillottrani, 2008). Un ejemplo de esto es el Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) que ofrece, entre otros productos, predicciones de contaminantes atmosféricos a diferentes escalas espaciales y a través de distintos formatos y de acceso totalmente libre con los estándares definidos por la OGC. Se ha convertido en un importante servidor de datos y servicios geoespaciales a nivel de Europa.

Con la proliferación en los últimos años de servidores de datos y servicios geoespaciales, es cada vez más importante la obtención de conocimiento a través de estas fuentes. Debido al rápido desarrollo y al aumento de la disponibilidad de Internet (Harcinikova et al., 2017), ya existen multitud de soluciones enfocadas a la extracción, transformación y almacenamiento de este tipo de información. Así pues, es necesario poner a disposición de las administraciones públicas, empresas y ciudadanos en general, herramientas que permitan visualizar en línea los datos suministrados por dichos servidores. Entre estas herramientas se encuentran las aplicaciones de web mapping (WMA) (Quintanilla et al., 2011).

En la actualidad, las WMA suponen una herramienta útil para llevar a cabo la visualización e interacción con los datos espaciotemporales y su uso está aumentando rápidamente (Harcinikova et al., 2017). La invención del mapa web interactivo anunció un cambio importante en el consumo de mapas y, hoy en día, la mayor parte se hace a través de Internet (Sack, 2018). Avraam (2009) define las WMA como aplicaciones que permiten la visualización de datos referenciados geográficamente e interacción con ellos a través de una interfaz web disponible en línea. Dicho de otra manera, el web mapping es el proceso de utilizar mapas servidos por sistemas de información geográfica (SIG) en una página web permitiendo a los usuarios interactuar con el mapa de múltiples formas. Sin embargo, La creación de mapas web requiere al menos habilidades básicas de programación y desarrollo web (Sack, 2018).

Por lo tanto, con la inserción de visores web, las páginas web están pasando de ser escaparates de información y de desarrollo de contenido a incluir herramientas y funcionalidades cada vez más complejas. Ahora involucran a personas que generan contenido, se comunican e interactúan en entornos colaborativos. De esta manera, pueden llegar a proporcionar un entorno similar al de aplicaciones SIG de escritorio tradicional (Veenedaal et al., 2017). Debido a su utilidad, organismos públicos lo usan ya de forma habitual para exponer sus datos, dejándolos al alcance de los usuarios de forma abierta y transparente para que puedan interactuar con ellos (Elwood y Leszczynski, 2013). Así mismo, posibilita que tanto usuarios individuales, como empresas u otras instituciones puedan generar un valor añadido en sus datos y productos (Knoth et al., 2018).

1.1.1. Kunak Technologies S.L.

En este contexto nos encontramos con el caso de la empresa Kunak Technologies S.L (KUNAK). Se trata de una empresa que se encuentra situada en el polígono "La Muga" de Orcoyen (Navarra). Comenzó como una Start-up innovadora, pero hoy en día es una empresa destacada en el sector

de las telecomunicaciones, software, hardware, comercio de dispositivos de calidad del aire, etc. Abarcan tanto el diseño como la fabricación del hardware, las Comunicaciones, el Software, los servicios Cloud y la integración en los sistemas del cliente (Kunak, n.d.). Así pues, Kunak crea soluciones para la captura de datos ambientales y el telecontrol de infraestructuras y equipos de forma remota, trabajando para el medioambiente, las *utilities*, las *Smart-Cities*, la Industria 4.0, los productos inteligentes y el IoT-Industrial (Kunak, n.d.). A lo largo de estos años ha tenido clientes como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos, diferentes autoridades portuarias (Cádiz, Bilbao y Baleares), Volkswagen, Acciona Energía, distintos ayuntamientos (Albacete, Rivas Vacíamadrid, etc.) y SICE/CHEBRO, entre otros.

Actualmente, su actividad está principalmente orientada al desarrollo de equipos electrónicos y de radiofrecuencia de muy bajo consumo de energía para monitorización y control remoto de la calidad del aire. Mediante los sensores electroquímicos ubicados en los dispositivos obtienen datos de los gases traza y partículas presentes en la atmósfera. Dichos dispositivos, una vez analizados los componentes especificados del aire, recogen datos y son ofrecidos de distintas formas a sus clientes a través de una plataforma web o nube (KunakCloud). De esta manera, es en esa visualización final de los datos donde adquiere notable importancia el uso de los recursos de web mapping en la empresa.

1.2. OBJETIVOS

El principal objetivo del presente trabajo ha sido el de mejorar las funcionalidades ofrecidas por el visor web de la empresa Kunak (KunakCloud) a través del desarrollo de un visor web con nuevas herramientas que, posteriormente, será integrado en el KunakCloud. Los objetivos específicos para alcanzar este objetivo general son los siguientes:

- Desarrollo de las funcionalidades necesarias para la inserción de capas de información de predicciones de la concentración en superficie, tanto a nivel global como europeo, de seis contaminantes atmosféricos a través del servicio WMS ofrecido por CAMS (dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), ozono (O₃) y dos aerosoles (PM_{2.5} y PM₁₀).
- Adecuación de la barra temporal y el calendario presente en la KunakCloud a los requerimientos temporales de las capas de información obtenidas a través de dicho servicio WMS.
- Creación de nuevas leyendas para cada una de las capas de información.
- Generación de pop-ups que muestren la concentración del contaminante atmosféricos en una localización y momento determinado.
- Creación de otras mejoras puntuales que aumenten la funcionalidad y el valor del visor actual.

De forma complementaria y dado que las nuevas funcionalidades del visor Kunak Cloud se basan en mapas de predicción de contaminantes ofrecidos por CAMS, se analizará la fiabilidad de las predicciones europeas. Los objetivos específicos para alcanzar este objetivo general son los siguientes:

- Analizar los valores de predicción y determinar si se ajustan a las dinámicas teóricas de cada uno de los contaminantes considerados.

- Cuantificar las desviaciones obtenidas cada hora entre las capas de predicción y las capas ajustadas a posteriori, con el fin de observar los errores y la variabilidad de las predicciones. Detectar subestimaciones o sobreestimaciones en los datos de predicciones.
- Representar los datos obtenidos según el día y de forma estacional, para ver si los resultados obtenidos coinciden con los patrones y tendencias obtenidas por otros autores.

2. SITUACIÓN DE PARTIDA

En siguiente apartado está estructurado en dos subapartados principales a través de los que se presenta una breve descripción de la situación actual, antes de la realización del trabajo, tanto de la herramienta KunakCloud como del visor web contenida en ella.

2.1. KUNAKCLOUD

KunakCloud es una plataforma web que se usa en la empresa Kunak para la gestión de la Calidad del Aire, desde el sensor hasta la nube. Este software bidireccional permite explotar de una manera rápida y sencilla los datos obtenidos por los sistemas de monitorización Kunak y otras fuentes externas, por lo que, satisface todas las necesidades de gestión, operación, validación, calibración y análisis típicas de proyectos los de monitorización de la calidad del aire y de redes de sensores inteligentes.

Se trata de una página web en la que su funcionamiento, basado en un modelo Software as a Service (SaaS), es totalmente flexible, pudiendo elegir los módulos que se precisen en cada proyecto. Es necesario tener un usuario registrado con sus respectivas credenciales (nombre de usuario y contraseña), siendo tanto empleado como cliente de Kunak. Ofrece información sobre el estado de los dispositivos, su ubicación en un mapa y las últimas lecturas y umbrales de cada sensor. A través de la Figura 1 se puede observar la interfaz principal de la página web una vez se ha accedido a ella.

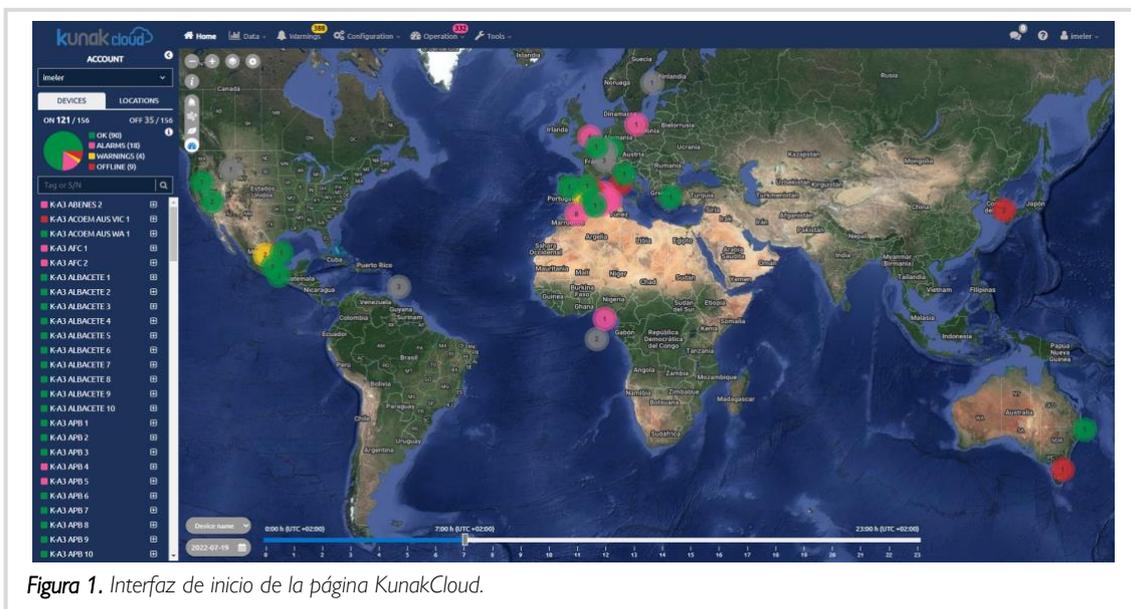


Figura 1. Interfaz de inicio de la página KunakCloud.

La estructura de la KunakCloud es sencilla y consta de tres partes principales:

- a. *Barra de navegación*: situada en la parte superior de la página y se muestra un menú, visible todo el tiempo, en el que se pueden seleccionar diferentes opciones (Figura 2):
 - i. *Data*: se muestran más detalladamente los datos de los parámetros recogidos por los dispositivos. En la opción "Standard data" la página web permite generar y obtener

graficas sencillas y tablas. En la opción “Advanced Analytics” se pueden realizar, además de las opciones anteriores, unas representaciones y análisis más complejas. En ambos casos habrá que seleccionar los dispositivos implicados en el cálculo, los parámetros a medir y el periodo.

- II. *Warnings*: permite visualizar y gestionar los distintos avisos que se han producido en los sensores visibles en el visor. Esta información se muestra en una tabla que permite filtrar los avisos por dispositivo, sensor y periodo.
- III. *Configuration*: se permite configurar/programar los sensores de forma remota. Además, se ofrece la opción de configurar un solo dispositivo o configurar un grupo de ellos al mismo tiempo.
- IV. *Operation*: para la gestión de las alarmas que, al igual que en el caso de los avisos, se pueden filtrar por dispositivo, parámetros y periodo. Además, se pueden ver los datos de las operaciones, realizar las calibraciones de los gases y partículas, y añadir y editar las localizaciones de nuevos dispositivos o dispositivos ya en funcionamiento.
- V. *Tools* permite hacer la validación de los dispositivos, así como la creación de reportes e importación de datos de los dispositivos.

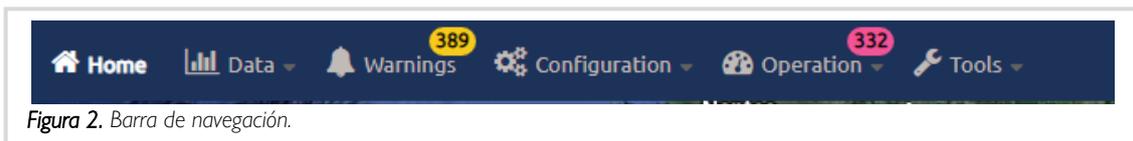


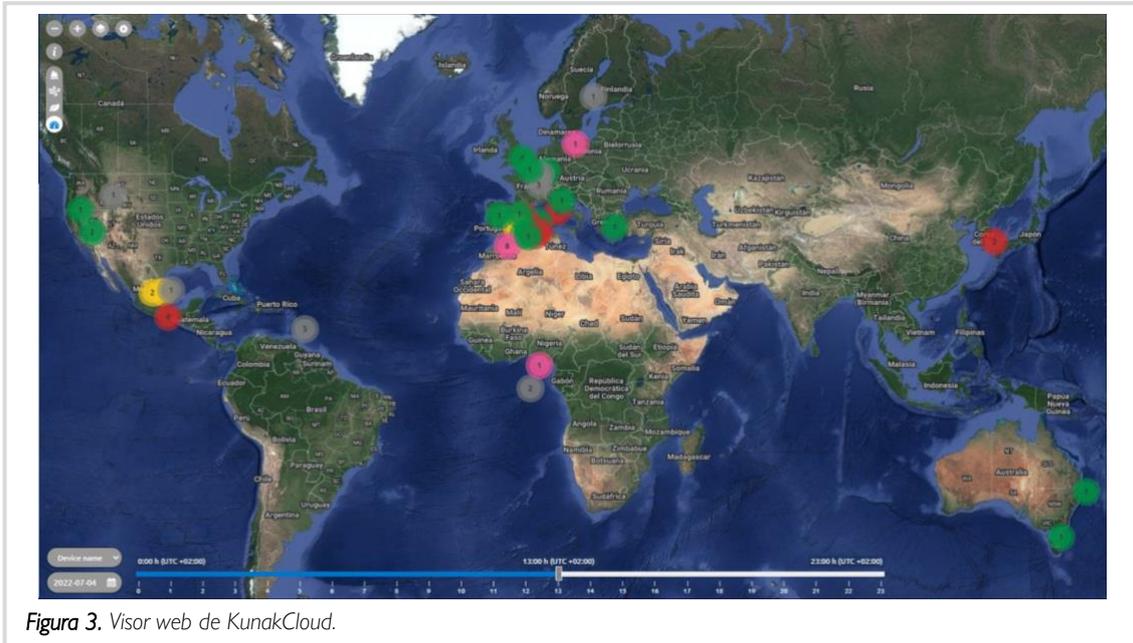
Figura 2. Barra de navegación.

- b. Lista de dispositivos: en el lado izquierdo de la KunakCloud, se disponen, en una columna, el filtro de usuarios, el selector de los diferentes dispositivos que Kunak tiene repartidos y localizaciones, el gráfico circular que muestra un color que indica el estado en el que se encuentran los sensores (los sensores etiquetados en verde son los que están en correcto funcionamiento (OK), los etiquetados en rosa son los que han emitido algún tipo de alarma (ALARMS), los de amarillo son los que presentan avisos de cualquier tipo (WARNINGS), en rojo los dispositivos que están fuera de línea o de los que se ha perdido la conexión (OFFLINE) y en gris los dispositivos apagados), un buscador para encontrar fácilmente su dispositivo o ubicación por S/N o etiqueta y, finalmente, la lista de dispositivos y ubicaciones (Véase Figura 1).
- c. Contenido o interfaz principal: lugar donde se cargan las diferentes secciones de la KunakCloud, siendo el espacio donde aparecerá el contenido principal: el visor web, las configuraciones, las gráficas, etc.

2.2. VISOR WEB

Tal y como se ha comentado en el apartado anterior, una de las herramientas dentro de la KunakCloud es el visor web y está situado en la interfaz principal observada una vez introduces las credenciales necesarias para iniciar la sesión (pestaña *Home* seleccionada). El visor está desarrollado en JavaScript utilizando la librería Leaflet para web mapping.

Como se puede observar a través de la Figura 3, en el visor web se puede diferenciar en 3 partes principalmente: la interfaz principal con la visualización de las capas base y la localización de los sensores, las funcionalidades presentes en la esquina superior izquierda y la barra temporal y calendario en la parte inferior.



Por un lado, en relación con la interfaz principal, el visor cuenta con dos mapas base disponibles: una imagen satelital y un mapa básico de Open Street Maps, que se pueden cambiar a través de una pestaña situada en la esquina superior izquierda (Figura 3). Además, sobre el mapa base se muestran unos marcadores circulares que únicamente muestran la ubicación de los equipos en con el sistema de coordenadas WGS84. Estos marcadores toman diferentes colores en función del estado del equipo. Debido al elevado número de marcadores que se presentan el visor, hay implementado un sistema de clúster, de modo que los marcadores que se encuentran dentro de un radio predefinido son agrupados (Figura 4). Estos clústeres toman el color del marcador más restrictivo que hay dentro del mismo, de esta forma los equipos que presentan cualquier tipo de inconveniente son detectados de manera sencilla desde el clúster.



Por otro lado, están las opciones mostradas en la esquina superior izquierda y se presentan las siguientes funcionalidades: pestaña para seleccionar el *mapa base*, manejo del nivel de *zoom* del mapa y la pestaña para establecer las preferencias de visualización. A través de esta última se pueden cambiar las preferencias de visualización según las unidades de los sensores que se quieran y el tipo de AQI principal que se mostrará (Figura 5).



Figura 5. Opciones de la esquina superior izquierda.

Debajo de estas pestañas mencionadas hay otras dos funcionalidades (Figura 5):

- Selector de capas: panel que presenta cuatro iconos para cambiar la información proporcionada en la vista del mapa. De arriba abajo:
 - Capa de mapa de calor con los últimos valores de cada dispositivo/ubicación en la fecha, hora y sensor seleccionados.
 - Capa de gráficos de viento, que muestra las rosas de contaminación y los valores medios para cada dispositivo/ubicación en la fecha, hora y sensor seleccionados. Para un análisis más avanzado existe el botón de filtro.
 - Capa AQI, que muestra el Índice de Calidad del Aire y el color del marcador indica el nivel de calidad del aire basado en el Índice de Calidad del Aire (AQI).
 - Capa de operaciones.
- Botón de información (“i”): para ver la información de la capa seleccionada.

Finalmente, el visor web cuenta con barra temporal para seleccionar, por horas, el momento concreto del que se quieren obtener los datos tomados por un dispositivo en concreto. Además, cuenta con un calendario en el que también se puede elegir la fecha deseada (Figura 6).



Figura 6. Barra temporal.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

El apartado de materiales y métodos se ha estructurado en dos grandes apartados. En un primer subapartado se hará referencia a lo relacionado con el desarrollo del visor web y, posteriormente, se presenta un segundo subapartado de acuerdo con las especificaciones relativas al análisis de la fiabilidad realizado de las predicciones de los contaminantes atmosféricos europeos.

3.1 VISOR WEB

A través del siguiente apartado se mostrará lo relativo a los recursos y métodos empleados para el desarrollo de las nuevas funcionalidades del visor web. Para ello, esta sección del trabajo se ha dividido en cuatro subsecciones que harán referencia a las fuentes de datos empleadas, a las herramientas utilizadas para el aumento y mejora de las funcionalidades del visor web, al método de obtención de las capas de información y al procesamiento llevado a cabo para la creación de esas nuevas funcionalidades del visor web.

3.1.1. Fuente de datos

Para la realización del visor se han empleado diferentes fuentes de información a) capas base, que son las que contendrán la información general del territorio y b) capas de la información deseada propiamente, las relativas a la distribución de los contaminantes atmosféricos a mostrar.

3.1.1.1. Capas base

En un primer momento se seleccionaron dos capas base: una topográfica y una imagen satelital, por ser las que se han empleado hasta ahora en el visor de KunakCloud. Ambas se han obtenido a través de la realización de una petición a un servidor de datos abiertos. Los detalles de esta petición se mostrarán en el Apartado 3.1.4.1., en el que se especifica el montaje del visor con las nuevas funcionalidades.



La capa base topográfica se ha obtenido de OpenStreetMap (OSM), proyecto colaborativo de código abierto. Los mapas de OSM se crean usando información geográfica capturada con dispositivos GPS móviles, ortofotografías y otras fuentes libres y se distribuyen a través de teselas vectoriales (vector tiles) que contienen datos vectoriales georreferenciados, recortados en teselas para facilitar su recuperación. Además, como se puede observar en la Figura 7, la otra capa base que se ha añadido al visor es un mapa híbrido (topográfico y satelital) de Google, que es empleado también en otros visores web como Google Maps. Se trata también de un mapa de código abierto y distribuido a través de teselas vectoriales (vector tiles).

3.1.1.2. Capas de información: predicciones de contaminantes atmosféricos del Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS)

El programa Copernicus es un programa europeo gestionado por la Comisión Europea (CE) e implementado en asociación, entre otros, con los Estados miembros, la Agencia Espacial Europea (ESA), la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT), el Centro Europeo de Pronósticos Meteorológicos a Medio Plazo (ECMWF) y las Agencias de la UE (CAMS, 2022). Dicho programa tiene por objeto desarrollar un conjunto de servicios de información europeos basados en la observación de la Tierra por satélite y observación de datos in situ (no espaciales) (Schulz et al., 2021), así como la modelización de datos. Además, cuenta con seis ejes temáticos diferenciados: Vigilancia atmosférica, Vigilancia marina, Vigilancia terrestre, Cambio Climático, Seguridad y Emergencias.

El *Copernicus Atmosphere Monitoring Service* (CAMS) es uno de los servicios más destacados dentro del programa Copernicus, siendo el que se encarga de la monitorización y vigilancia de la atmósfera. Así, brinda la capacidad de monitorear continuamente la composición de la atmósfera de la Tierra a escala global y regional, abarcando la descripción de la situación actual (análisis), la predicción de la situación a unos días (pronóstico) y la provisión de registros de datos retrospectivos consistentes para los últimos años (reanálisis). De esta manera, el servicio genera productos, datos y mapas para apoyar la toma de decisiones a diferentes niveles y escalas. Una de las áreas principales en las que se enfoca el CAMS es la calidad del aire y composición atmosférica (CAMS, 2022).

En relación con esto, uno de los principales productos que ofrecen son las predicciones y ajustes (denominados archivos de análisis en CAMS) de la concentración de los diferentes contaminantes atmosféricos a diferentes escalas tanto espaciales como temporales. Predicciones y ajustes globales y regionales (Europa) de la calidad del aire.

Capas de predicciones globales: capas de predicción y capas ajustadas

El sistema de producción global se utiliza, entre otras cosas, para generar las predicciones diarias de contaminantes en todo el mundo. Las observaciones satelitales se combinan con datos de simulación computarizada detallada de la atmósfera utilizando métodos de asimilación de datos (ECMWF, 2022). Dos veces al día CAMS proporciona un pronóstico a cinco días de la composición atmosférica global.

El pronóstico consta de 56 trazas de gases reactivos en la troposfera, el ozono estratosférico y siete tipos diferentes de aerosoles.

Para producir las capas de predicciones de la composición atmosférica CAMS utiliza el Sistema de Pronóstico Integrado (IFS) de Predicción Numérica del Tiempo (NWP) del *European Centre for Medium range Weather Forecasts* (ECMWF) (Agustí-Panareda et al., 2016). El IFS usa diversas observaciones meteorológicas, así como observaciones satelitales de la composición atmosférica y las condiciones iniciales de las predicciones se obtienen combinando las predicciones anteriores con observaciones satelitales ópticas de diferentes contaminantes atmosféricos. La descripción detallada del proceso de obtención de las predicciones se puede observar a través del ECMWF (ECMWF, 2022a).

En cuanto a la dimensión espacial y la frecuencia temporal, las capas de predicciones de la composición atmosférica global de CAMS tienen una resolución de aproximadamente 40 km (\approx 0.35-0.4 grados). Además, se ofrecen pronósticos de 5 días, que se ejecutan dos veces al día, a las 00:00 y 12:00 horas UTC, y los datos están disponibles cada 3 horas. Los datos ajustados están disponibles cada 6 horas (Tabla 1).

Además de las predicciones, CAMS también proporciona datos ajustados para aerosoles y los diferentes contaminantes atmosféricos, denominados mapas de análisis. Estos datos son también archivos de datos espaciales de las concentraciones de los diferentes compuestos presentes en la atmósfera, pero procesados y generados en los días posteriores a la fecha a la que corresponden.

Tabla 1. Especificaciones principales de los productos de contaminantes atmosféricos ofrecidos por CAMS (Fuente: CAMS, 2022).

DETALLE	CONJUNTO DE DATOS	
	CAMS: predicciones de calidad del aire globales	CAMS: predicciones de calidad del aire en Europa
Tipo de dato	Tileado	Tileado
Cobertura horizontal	Global	Europa (límite oeste=25,0° W, este=45,0° E, sur=30,0° N, norte=70,0°).
Resolución horizontal	0.4° x 0.4° (40 km x 40 km aprox)	0.1° x 0.1° (10 km x 10 km aprox.)
Cobertura vertical	Superficie, columna total, niveles de modelo y niveles de presión.	Superficie, 50m, 100m, 250m, 500m, 750m, 1000m, 2000m, 3000m, 5000m.
Resolución vertical	60 niveles de modelo antes del 7 de julio de 2019 a las 00h UTC, luego 137 niveles.	-
Cobertura temporal	2015 a actualidad.	Archivo móvil de tres años.
Resolución temporal	1 hora (nivel único), 3 horas (multinivel).	1 hora
Formato de archivos	GRIB (conversión opcional a netCDF).	GRIB y netCDF.
Frecuencia de actualización	2 pronósticos cada día (00h UTC y 12h UTC). 1 actualización del modelo al año aprox.	Diariamente.

Capas de predicciones regionales - Europa: capas de predicción y capas ajustadas

La producción de predicciones regionales de calidad del aire de CAMS está basado en un conjunto de diferentes modelos específicamente desarrollados y ajustados para Europa. En la Tabla 2 se enumera la denominación de los 11 modelos utilizados para predecir y monitorizar la de calidad del aire en distintas regiones de Europa. Los modelos utilizan la configuración de parámetros

meteorológicos provenientes del pronóstico IFS del ECMWF, las condiciones límite para las especies químicas provenientes de la producción global CAMS IFS-TM5 y las emisiones provenientes de la emisión CAMS (ECMWF, 2022b).

Tabla 2. Modelos numéricos de calidad del aire de última generación empleados en la producción de las predicciones regionales (Europa) (Fuente: ECMWF, 2022b).

MODELO	INSTITUCIÓN
CHIMERE	INERIS (Francia)
DEHM	Universidad de Aarhus (Dinamarca)
EMEP	MET Noruega (Noruega)
EURAD-IM	Jülich IEK (Alemania)
GEM-AQ	IEP-NRI (Polonia)
LOTOS-EUROS	KNMI y TNO (Países Bajos)
MATCH	SMHI (Suecia)
MOCAGE	METEO-FRANCE (Francia)
SILAM	FMI (Finlandia)
MONARCH	BSC (España)
MINNI	ENEA (Italia)

Con el objetivo de brindar una mejor estimación del conjunto de las capas de predicciones y capas ajustadas estos modelos se combinan calculando el valor de la mediana de los resultados individuales y ofreciendo la mejor estimación del conjunto. En ese caso, el valor de la mediana se designa como la salida “Ensemble”.

Los diferentes modelos regionales mencionados realizan predicciones diarias de las concentraciones de los principales contaminantes atmosféricos. Además, a posteriori, generan las capas ajustadas (denominadas archivos de análisis) de concentraciones de contaminantes mediante la fusión de observaciones satelitales con los modelos numéricos de la calidad del aire, pero cada modelo cuenta con su propio sistema para ello. Así mismo, observaciones in situ son utilizadas como entrada en la creación de los diferentes productos regionales de CAMS. Estas capas ajustadas de la concentración de contaminantes están disponibles 2 días después de la fecha a la que corresponden.

En relación con la disponibilidad temporal de estos datos, los modelos regionales mencionados realizan predicciones diarias a 4 días. Además, la producción de las capas de predicciones y capas ajustadas tiene lugar en diferentes momentos del día: Pronóstico D0 (0-24h) a las 05:50h UTC, D1 (25-48h) 05:55h UTC, D2 (49-72h) 07:30h UTC, D3 (73-96h) 08:00h UTC y 11:00h UTC. Las ajustadas (-24H-1H). De esta forma, las predicciones diarias se ejecutan desde las 00h UTC, con una resolución de tiempo de 1 hora y un período de pronósticos desde el paso (0h) hasta las siguientes 96h (Véase Tabla 1). Así mismo, estos archivos se van almacenando, de modo que constituyen una base continua de 3 años en el producto ADS para NRT hasta que otros productos/mejores están disponibles en forma de nuevos análisis.

En cuanto a la dimensión espacial de los datos, las predicciones y archivos ajustados se realizan para las capas más bajas de la atmósfera para el dominio europeo (límite este = 25,0 ° W, oeste = 45,0 ° E, sur = 30,0 ° N, norte=72.0°). Su cobertura horizontal es de 0,1° (aproximadamente de 10 a 20

km), lo que permite monitorear y pronosticar los niveles de contaminación del aire de fondo y la composición atmosférica de rango medio (Tabla 1).

3.1.1.3. Accesibilidad a los datos y evaluación de su calidad.

Los datos CAMS descritos en los apartados anteriores están disponibles para su visualización o descarga a través de tres servicios (ECMWF, 2022):

- El Atmosphere Data Store (ADS), que permite acceder a estos datos ya sea de forma interactiva a través de su formulario web de descarga o mediante programación mediante el servicio CDS API.
- Servicio WMS: desde el 1 de julio de 2020, es posible acceder a las predicciones globales y europeas de contaminantes atmosféricos mediante un servicio WMS (Servicio de Mapas Web) generado a través de un nuevo servidor de ECMWF, que alberga toda la información generada en el marco del servicio CAMS. Así pues, el propio portal ECMWF ofrece un servicio web de mapas (o WMS) a través del cual están disponibles los datos de las diferentes predicciones comentadas anteriormente. De esta forma, basta con hacer una llamada o petición a dicho servicio para solicitar mapas dinámicos a través de HTTP para una selección de productos de calidad del aire de CAMS Global y Europa. Para obtener la selección de las capas públicas CAMS disponibles se emplea el siguiente enlace:
<http://eccharts.ecmwf.int/wms/?token=public&request=GetCapabilities&version=1.3.0>.
- Servicio FTP: en el caso de las previsiones a nivel global, existe una tercera vía de acceso a los datos a través del servicio FTP del ECMWF que proporciona acceso a datos en tiempo real.

Tanto el sistema de pronóstico global como el regional se evalúan de manera continua para garantizar que el resultado cumpla con los requisitos esperados. Una vez evaluados se generan informes de evaluación y control de calidad (EQA) que se proporcionan trimestralmente.

3.1.2. Herramientas utilizadas para el desarrollo del visor web

En este apartado del trabajo se exponen de manera breve las principales tecnologías y aplicaciones que se han empleado para el desarrollo de un visor web con las nuevas funcionalidades que posteriormente serán implementadas en visor de la KunakCloud. Debido a que en las siguientes secciones se hará referencia a alguna de estas aplicaciones, softwares y lenguajes de programación, se han tratado de resumir a continuación, y así poder entender de forma más clara su función y utilización a lo largo del trabajo (Véase Figura 8).

3.1.2.1. HTML

El HTML (HyperText Markup Language) es uno de los componentes más básicos de la web, tratándose de un lenguaje de marcado que define el significado y la estructura del contenido. El archivo HTML contiene una serie de elementos o marcas empleados para etiquetar las diferentes partes del contenido (texto, imágenes y otro contenido) de modo que se muestre en el navegador

de una determinada manera. Además, se enlaza con otras tecnologías para describir la apariencia de una página web (CSS) o su comportamiento (JavaScript).

Su uso en el trabajo ha estado dirigido al montaje de las diferentes partes del visor web y el enlace con los archivos de JavaScript, CSS y los distintos plugin empleados.

2.1.2.2. CSS

Las siglas CSS (*Cascading Style Sheets*) es otro lenguaje de diseño gráfico para definir y crear la presentación de un documento escrito y estructurado en un lenguaje marcado. Se usa para describir la presentación de las páginas web y permite adaptar la presentación a diferentes tipos de dispositivos. De esta forma, es una tecnología usada por muchos sitios web. Son archivos independientes de los HTML y se pueden utilizar con cualquier lenguaje de marcado basado en XML. Esto facilita el mantenimiento de sitios, el intercambio de hojas de estilo entre páginas y la adaptación de páginas a diferentes entornos.

En el presente trabajo se ha usado para establecer los estilos de las diferentes estructuras y funcionalidades que forman parte del visor web diseñado.

3.1.2.3. JavaScript (JS)

Técnicamente, es un lenguaje de programación interpretado, de modo que no es necesario compilar los programas para ejecutarlos, así que los programas escritos mediante JavaScript se pueden probar de manera directa en cualquier navegador sin necesidad de procesos intermedios. Es una fuente abierta (opensource) que, aunque comparte muchas estructuras y características del lenguaje Java, no guarda ninguna relación directa. Fue desarrollado independientemente y ofrece más dinamismo (Pérez, 2019). Se trata de un lenguaje orientado a objetos, empleado principalmente para crear páginas web dinámicas.

En este caso, el lenguaje JS se ha utilizado para el desarrollo de lo que son propiamente las nuevas funcionalidades del visor web.

3.1.2.4. Leaflet

Leaflet es una librería JavaScript de fuente abierta y empleada por muchos desarrolladores para construir aplicaciones de mapas web. Se trata de una herramienta compuesta por una comunidad amplia de personas que generan activamente diferentes plugin o funcionalidades para dotar de nuevos recursos a aplicaciones de web mapping.

El visor web presente en la página de KunakCloud está generado mediante plugins de Leaflet, por lo que se ha empleado también para la modificación o adición de las nuevas funcionalidades detalladas en los siguientes apartados.



3.1.2.5. Sublime Text

Editor de texto multiplataforma que permite la escritura de código en un elevado número de lenguajes y/o formatos de archivo. Es ligero y cuenta con multitud de plugin adicionales, todos de código abierto. Sus principales características son la simplicidad, la sencilla la navegación a través de la herramienta, el sistema de resaltado de sintaxis que soporta un gran número de lenguajes.

Su uso durante la elaboración del trabajo se ha limitado a la creación y modificación de los códigos de los archivos HTML, JavaScript y CSS del visor web de KunakCloud.

3.1.3. Obtención de las capas de información

Tal y como se ha expresado anteriormente en relación con la accesibilidad a los datos (Véase apartado 3.1.1.3.), hay diferentes formas de obtenerlos. Las capas de predicciones empleadas en la mejora de las funcionalidades del visor no fueron descargados, sino que se han obtenido a través de peticiones o llamadas al servicio WMS de CAMS. Esto permite hacer uso de capas temporales de datos sin tener que obtener o descargar físicamente los archivos que se quieren representar.

En relación con esto, tanto en el caso de los productos globales de contaminación atmosférica como el caso de los productos europeos, para el presente trabajo se han obtenido las capas de predicciones a nivel de superficie de los siguientes seis contaminantes atmosféricos: Dióxido de nitrógeno (NO₂), Dióxido de azufre (SO₂), Monóxido de carbono (CO), Ozono (O₃) y dos aerosoles (PM_{2.5} y PM₁₀). La selección de estos se ha realizado en base a los requerimientos de la empresa, ya que son compuestos monitorizados por sus equipos, obteniéndose 12 archivos diferentes (Tabla 3).

Para la correcta de identificación de cada una de las capas de datos se ha accedido a los metadatos del servicio WMS a través de una petición de *GetCapabilities*. Una vez accedido a los metadatos, se han identificado los archivos necesarios a través de su identificador, que se corresponde a un nombre único y específico de cada una de las capas necesarias (Figura 9). En la Tabla 3, se pueden observar cada uno de los contaminantes seleccionados y los nombres identificativos de cada uno de estos.



Figura 9. Captura obtenida de la llamada realizada a los metadatos del servicio WMS.

Tabla 3. Archivos, nombres identificativos y unidades de medida de los productos de contaminantes atmosféricos empleados a través del servicio WMS de CAMS.

	Contaminante	Nombre del archivo	Unidades
CAMS: predicciones de calidad del aire	Dióxido de nitrógeno (NO2)	'composition_no2_surface'	ppbv
	Dióxido de azufre (SO2)	'composition_so2_surface'	ppbv
	Monóxido de carbono (CO)	'composition_co_surface'	ppbv
	Ozono (O3)	'composition_o3_surface'	ppbv
	Material particulado < 2.5 µm (PM2.5)	'composition_pm2p5'	µg m ⁻³
	Material particulado < 10 µm (PM10)	'composition_pm10'	µg m ⁻³
CAMS: predicciones de calidad del aire en	Dióxido de nitrógeno (NO2)	'composition_europe_no2_forecast_surface'	µg m ⁻³
	Dióxido de azufre (SO2)	'composition_europe_so2_forecast_surface'	µg m ⁻³
	Monóxido de carbono (CO)	'composition_europe_co_forecast_surface'	µg m ⁻³
	Ozono (O3)	'composition_europe_o3_forecast_surface'	µg m ⁻³
	Material particulado < 2.5 µm (PM2.5)	'composition_europe_pm2p5_forecast_surface'	µg m ⁻³
	Material particulado < 10 µm (PM10)	'composition_europe_pm10_forecast_surface'	µg m ⁻³

3.1.4. Procesamiento de datos y creación de nuevas funcionalidades del visor web

Una vez analizadas las fuentes de datos e información empleadas, se procede a describir la metodología utilizada para desarrollar las nuevas funcionalidades del visor web y mejorar alguna de las que ya está disponible a través de la interfaz de Kunakcloud. El código descrito en los siguientes apartados del trabajo se refiere a un código diferente al del visor web actual de Kunak, pero que podrá ser incorporado a él posteriormente y está expuesto de forma más completa en el Anexo I. En relación con esto, se ha decidido dividir este apartado en seis partes, ya que estas serán las nuevas funcionalidades generadas en el visor web del presente trabajo:

- Inserción de las capas base y capas de información (capas de predicciones globales y europeas).
- Controlador de capas adecuado a estas nuevas capas de información.
- Inserción y adecuación de la barra temporal y el calendario a la dimensión temporal de las capas de información.
- Leyendas de cada capa de información.
- Pop-up del valor de la concentración de los contaminantes atmosféricos.
- Otras mejoras como la inserción de un botón de información.

3.1.4.1. Inserción y visualización de capas

El primer paso para desarrollar visor web ha sido la creación del código necesario para la definición de un espacio para la construcción del mapa a través de un contenedor genérico “div”, lo que se ha hecho generando un elemento html. Una vez realizado este primer paso, se ha podido pasar a la inserción de las capas base y la adición de las capas de información (capas de la concentración de los contaminantes atmosféricos) seleccionadas a través de una llamada a los servicios WMS de CAMS. Para ello, se ha hecho uso de la dirección del servicio facilitada por la propia institución europea, así como diferentes funcionalidades disponibles en la librería Leaflet para los lenguajes de programación utilizados.

Capas base y capas de contaminantes atmosféricos

Actualmente el visor de KunakCloud cuenta con dos capas base sobre el que se muestran el resto de las capas de información que ofrece la empresa. De acuerdo con esto, se ha decidido que para la realización del modelo de visor web con las mejoras se insertarán las mismas capas base: mapa topográfico de Open Street Maps e imagen satélite de Google.

La adición de ambas capas se ha ejecutado de forma sencilla a través de la creación del código de JavaScript que se puede observar en la Figura 10. Para ello, únicamente se ha tenido que buscar la ruta o el link de las imágenes tileadas y emplear el plugin *L.TileLayer()* presente dentro de la librería Leaflet para hacer una llamada a ambas capas.

```
//Capas base
micapal = new L.TileLayer(
  'http://{s}.tile.osm.org/{z}/{x}/{y}.png'
);
mapal.addLayer(micapal);

micapa2 = new L.TileLayer(
  'https://mtl.google.com/vt/lyrs=y&x={x}&y={y}&z={z}'
);
mapal.addLayer(micapa2);
```

Figura 10. Fragmento del código de JavaScript encargado de insertar las capas base.

```
//Capas contaminantes GLOBAL
micapa3 = L.tileLayer.wms('http://eccharts.ecmwf.int/wms/?token-public&request=GetCapabilities&version=1.3.0', {
  layers: 'composition_no2_surface',
  time: getCurrentDate(),
  format: 'image/png',
  transparent: true,
  attribution: 'CAMS',
  opacity: 0.5
});

//Capas contaminantes EUROPA
micapal3 = L.tileLayer.wms('http://eccharts.ecmwf.int/wms/?token-public&request=GetCapabilities&version=1.3.0', {
  layers: 'composition_europe_no2_forecast_surface',
  time: getCurrentDate2(),
  format: 'image/png',
  transparent: true,
  attribution: 'CAMS',
  opacity: 0.5
});
```

Figura 11. Fragmento del código de JavaScript encargado de añadir las capas de información.

Para hacer posible la inserción y visualización de las capas de información se ha generado el código de JavaScript que se muestra en la Figura 11.

Este código se ha insertado en la función de inicio del mapa y se ha empleado el plugin *L.tileLayer()* de Leaflet para hacer una llamada al servicio WMS de CAMS. Además, se han añadido una serie de parámetros para obtener la correcta visualización de las capas.: *layers*, para el nombre identificativo de cada una de las capas (presente en los metadatos del servicio); *time*, para agregar la función que establece la fecha actualizada de cada momento (función *getCurrentDate()*) y; *opacity*, para asignar la transparencia (en este caso, 50% de transparencia). Así mismo, hay otros campos habilitados para especificar el formato o la atribución de los datos mostrados (Véase Figura 11).

3.1.4.2. Controlador de capas

El siguiente paso ha sido insertar un controlador de las diferentes capas añadidas para poder realizar la selección y visualización de una u otra. El código de JavaScript necesario para el desarrollo de esta herramienta se ha insertado en la función de inicio del mapa y se ha empleado el plugin de Leaflet *L.control.layers()*, como se puede ver en la Figura 12.



Figura 12. Fragmento del código de JavaScript encargado de generar el controlador de capas.

El controlador de capas está enlazado con la función *changeWMSLayers()* y su estructura en código de JavaScript se observa en la Figura 13. Se trata de una función que permite, una vez se selecciona una de las capas de información a través del controlador de capas, borrar la anterior y establecer la nueva capa de datos seleccionada con la opacidad y la dimensión temporal correcta, así como con el pop-up del valor de concentración del contaminante que le corresponde (se verá más adelante).

En la Figura 13 vemos que la función consta de tres partes de código en JavaScript, diferenciadas y complementarias entre sí, para:

- Una vez seleccionada una determinada capa de contaminante atmosférico en el controlador de capas, establecer los parámetros de la fecha en base a lo seleccionado en la interfaz del visor y que se visualice con transparencia.
- Actualizar la dimensión de la capa temporal a los parámetros requeridos según la fecha y hora elegida. (varía según se seleccionen capas de contaminantes atmosféricos globales o capas europeas).
- Eliminar la antigua capa y el pop-up con el valor de concentración de esa capa, y hacer una llamada al servicio WMS que actualice la capa seleccionada en última instancia.

```
function changeWMSLayers(date, date2){
  micapa3.setParams({"time": date, "opacity": $("#.leaflet-control-layers-overlays input[type='checkbox']")[0].is(":checked")?0.5:0
  false});
  micapa4.setParams({"time": date, "opacity": $("#.leaflet-control-layers-overlays input[type='checkbox']")[1].is(":checked")?0.5:0
  false});

  source = undefined;
  source = new MySource("http://eccharts.ecmwf.int/wms/?token=public&request=GetCapabilities&version=1.3.0", {
    'transparent': true,
    'tiled': true,
    'time': date
  });
  source2 = undefined;
  source2 = new MySource("http://eccharts.ecmwf.int/wms/?token=public&request=GetCapabilities&version=1.3.0", {
    'transparent': true,
    'tiled': true,
    'time': date2
  });

  if($("#.leaflet-control-layers-overlays input[type='checkbox']")[0].is(":checked")){
    map1.removeLayer(no2populayer);
    no2populayer = undefined;
    no2populayer = source.getLayer("composition_no2_surface").addTo(map1);
  }
}
```

Figura 13. Código de la función `changeWMSLayers()` dividida en sus tres partes diferenciables.

3.1.4.3. Dimensión temporal: barra temporal y calendario

Las capas de información añadidas comprenden una dimensión temporal, pero la barra temporal y el calendario actuales de la KunakCloud no se ajustan a los requerimientos temporales de estas nuevas capas de información. Además, tal y como se ha comentado en el Apartado 3.1.1.2., las capas de información tienen una dimensión horaria diferente y el alcance temporal de las predicciones también difiere entre unas y otras. De este modo, se han tenido que desarrollar diferentes funciones y variables en JavaScript para el correcto manejo de la dimensión temporal de las capas de información:

- Función `addSliderInMap()` (Figura 14): para la creación de la barra temporal (imagen superior) y el calendario (imagen inferior) para seleccionar la fecha requerida por el usuario del visor web. En ambos casos se han añadido funciones y parámetros específicos en estas líneas de código en para el manejo de las fechas y horas (estos se explicarán a continuación).

```
function addSliderInMap(){
  $("#Map1 .leaflet-control-container").append("<div id='dateFilterMap' style='overflow: hidden;border-bottom-left-radius: 70px;border-bottom-right-radius: 70px;border-top-left-radius: 70px;border-top-right-radius: 70px;background-color: transparent;'><form class='smart-form'><label class='input'><i class='fa fa-calendar icon-append' style='color: white;'></i><input style='background-color: rgba(153, 153, 153, 1); color: white; border: 0px; outline: none' id='dateMap' type='text' name='dateMap' class='form-control' autocomplete='off' readonly/></label></form></div><div id='sliderDate'><form><div class='form-group' style='padding-left: 10px; padding-right: 10px; margin-bottom: 0px;'><input id='range-slider-3' type='text' name='range_2a' value=''></div></form></div>");
  date = new Date();
  $("#range-slider-3").val(date.getUTCHours());
  var timezone = "UTC";
  $("#range-slider-3").ionRangeSlider({
    min: 0,
    from: date.getUTCHours(),
    max: 23,
    type: 'single',
    step: 1,
    postfix: ":00 h (" + timezone + ")",
    prettify: false,
    grid: true,
    grid_snap: true,
    onFinish: function (data) {
      $("#range-slider-3").val(data.from);
      var hour = getHour(data.from);
      var hour2 = data.from;
      var date = dom_date_filter_map.val() + "T" + (hour < 10 ? "0" + hour : hour) + ":00:00Z";
      var date2 = dom_date_filter_map.val() + "T" + (hour2 < 10 ? "0" + hour2 : hour2) + ":00:00Z";
      changeWMSLayers(date, date2);
    }
  });
}
```

Figura 14. Fragmento del código de JavaScript perteneciente a la función `addSliderInMap()`.

```

dom_date_filter_map = $("#dateFilterMap #dateMap");
initDatePicker(dom_date_filter_map);
dom_date_filter_map.val(getCurrentDay());
dom_date_filter_map.off("change");
dom_date_filter_map.on("change", function(){
    var hourToCalculate = $("#range-slider-3").val();
    hourToCalculate = hourToCalculate<10?"0"+hourToCalculate+":00:00":(hourToCalculate+":00:00");
    var date = new Date(getDateCorrectFormToSend(dom_date_filter_map.val()+" "+hourToCalculate));
    var timezone = "UTC";
    rangeSelector = $("#range-slider-3").data("ionRangeSlider");
    rangeSelector.destroy();
    $("#range-slider-3").ionRangeSlider({
        min: 0,
        from: date.getUTCHours(),
        max: 23,
        type: 'single',
        step: 1,
        postfix: ":00 h (" +timezone+)",
        prettify: false,
        grid: true,
        grid_snap: true,
        onFinish: function (data) {
            $("#range-slider-3").val(data.from);
            var hour = getHour(data.from);
            var hour2 = data.from;
            var date = dom_date_filter_map.val()+"T"+(hour<10?"0"+hour:hour)+":00:00Z";
            var date2 = dom_date_filter_map.val()+"T"+(hour2<10?"0"+hour2:hour2)+":00:00Z";
            changeWMSLayers(date, date2);
        }
    });
});

```

Figura 15. Fragmento del código de JavaScript perteneciente a la función `addSliderInMap()`.

- b. Variables `hour` y `date` (Figura 15): para obtener un correcto manejo de la dimensión temporal de las capas de predicciones globales.
- c. Variables `hour2` y `date2` (Figura 16): para obtener un correcto manejo de la dimensión temporal de las capas de predicciones europeas.
- d. función `getHour()` (Figura 17): añadida a las variables `hour` y `date` para que el visor únicamente devuelva los datos de las capas pertenecientes a las horas que sean múltiplos del 3 (capas de predicciones globales).

```

var hour = getHour($("#range-slider-3").val())
var date = dom_date_filter_map.val()+"T"+(hour<10?"0"+hour:hour)+":00:00Z";
var hour2 = $("#range-slider-3").val();
var date2 = dom_date_filter_map.val()+"T"+(hour2<10?"0"+hour2:hour2)+":00:00Z";
changeWMSLayers(date, date2);
return false;
});

```

Figura 16. Arriba, fragmento del código de JavaScript que genera las variables `hour` y `date`.

```

function getHour(hour){
    if(hour%3===0){
        return hour
    }
    else{
        return 3*Math.floor(hour/3);
    }
}

```

Figura 17. Fragmento del código de JavaScript para el desarrollo de la función `getHour()`.

- e. Función `initDatePicker()` (Figura 18): para dotar de mayor versatilidad al calendario generado en el paso anterior. Permite que en el calendario se puedan seleccionar días previos y futuros al día actual de cada momento, así como poder seleccionar el año deseado. Este código establece también cual es el formato de la fecha que emplea el calendario.

```
function initDatePicker(domInput){
  domInput.datepicker();
  domInput.datepicker("option", "prevText", "<");
  domInput.datepicker("option", "nextText", ">");
  domInput.datepicker("option", "dateFormat", "yy-mm-dd" );
  domInput.datepicker("option", "changeYear", true);
}
```

Figura 18. Código de JavaScript para el desarrollo de la función `initDatePicker()`.

- f. Función `disabledEventsInMap()` (Figura 19): para restringir ciertos eventos dentro del mapa y cuando estemos encima de la barra temporal y el calendario únicamente se interactúe con estas dos nuevas funcionalidades, impidiendo así que se mueva el mapa de fondo. Para llevar a cabo esta función se ha hecho uso del plugin `L.DomEvent...()` de Leaflet.

```
function disabledEventsInMap(tag){
  var el = document.getElementById(tag);
  L.DomEvent.disableScrollPropagation(el);
  L.DomEvent.disableClickPropagation(el);
}
```

Figura 19. Código de JavaScript para el desarrollo de la función `DisabledEventsInMap()`.

- g. Función `getCurrentDay()` (Figura 20): para poder obtener internamente la fecha correcta de cada momento a la hora de realizar cambios temporales en el visor. Se encarga de identificar la fecha actualizada de cada momento y se ha insertado dentro de la función `addSliderInMap()` que se encargan de definir y dar las funcionalidades correctas al calendario.

```
function getCurrentDay(timeZone){
  d = new Date();
  if(timeZone!=undefined){
    d = new Date(d.toLocaleString("en-US", {timeZone: timeZone}));
  }
  day = d.getUTCDate()+"";
  day = day.length===1?"0"+day:day;
  year = (d.getYear()+1900)+"";
  month = (d.getUTCMonth() + 1)+"";
  month = month.length===1?"0"+month:month;
  return year+"-"+month+"-"+day;
}
```

Figura 20. Código de JavaScript para el desarrollo de la función `getCurrentDay()`.

- h. Funciones `getCurrentDate()` y `getCurrentDate2()` (Figura 21): para obtener tanto las fechas como las horas de las capas de información.

```
function getCurrentDate(){
  var d = new Date();
  var day = d.getUTCDate()+"";
  day = day.length===1?"0"+day:day;
  var year = (d.getYear()+1900)+"";
  var month = (d.getUTCMonth() + 1)+"";
  month = month.length===1?"0"+month:month;
  var hour = getHour(d.getUTCHours());
  return year+"-"+month+"-"+day+"T"+(hour<10?"0"+hour:hour)+":00:00Z";
}

function getCurrentDate2(){
  var d = new Date();
  var day = d.getUTCDate()+"";
  day = day.length===1?"0"+day:day;
  var year = (d.getYear()+1900)+"";
  var month = (d.getUTCMonth() + 1)+"";
  month = month.length===1?"0"+month:month;
  var hour = d.getUTCHours();
  return year+"-"+month+"-"+day+"T"+(hour<10?"0"+hour:hour)+":00:00Z";
}
```

Figura 21. Código de JavaScript para el desarrollo de las funciones `getCurrentDate()` y `getCurrentDate2()`.

- i. Función `getDateCorrectFormToSend()` (Figura 22): para identificar de forma correcta la fecha de los datos presentes dentro del servicio WMS del que se obtienen las capas de información.

```
function getDateCorrectFormToSend(dateString){
    var first = dateString.split("-")[0];
    if(first.length==4){
        return dateString;
    }
    else{
        return dateString.split("-")[2]+"-"+dateString.split("-")[1]+"-"+dateString.split("-")[0]
    }
}
```

Figura 22. Código de JavaScript para el desarrollo de la función `getDateCorrectFormToSend()`.

3.1.4.4. Leyendas

Otra de las nuevas funcionales desarrolladas ha sido la creación de una leyenda para cada una de las capas insertadas en el visor para representar los colores y mostrar la escala de los datos contenidos en las capas de información (Tabla 4). Para ello, se ha empleado el código de JS que se puede observar en la Figura 23.

```
//Leyendas de cada contaminante GLOBAL
//Leyenda NO2
$("#Mapal.leaflet-control-container").append('<div id="legendColourNO2" class="legend-pollutant" style="display:none; cursor: pointer; font-family: &quot;Ubuntu&quot;; padding: 5px 0px 5px 0px; position: absolute; top: 197px; height: auto; left: 10px; width: 80px; z-index: 988;background-color: rgba(0, 0, 0, 0.4);"><div id="grad-heatMap" style="height: 180px;width: 22px; background-image: linear-gradient(#5e1316,#af000e,#e21e1f,#ee8239,#f5b532,#fecf38,#fff49b,#9fca70,#4db35f,#009273,#005ca1,#007dc1,#039fa1,#90c7e7);border-radius: 15px;display: inline-block;"></div><div id="max-heatmap" style="display: inline-block;top: 2px;position: absolute;margin-left: 3px;font-weight: bold; text-shadow: 0.1em 0.1em 0.2em #5e6770; color: white;">>=191.25</div><div style="display: inline-block;top: 54px;position: absolute;margin-left: 3px;font-weight: bold; text-shadow: 0.1em 0.1em 0.2em #5e6770; color: white;" id="70_heatmap">23.52</div><div style="display: inline-block;top: 90px;position: absolute;margin-left: 3px;font-weight: bold; text-shadow: 0.1em 0.1em 0.2em #5e6770; color: white;" id="50_heatmap">1.91</div><div style="display: inline-block;top: 126px;position: absolute;margin-left: 3px;font-weight: bold; text-shadow: 0.1em 0.1em 0.2em #5e6770; color: white;" id="30_heatmap">0.38</div><div id="min-heatmap" style="display: inline-block;top: 170px;position: absolute;margin-left: 3px;font-weight: bold; text-shadow: 0.1em 0.1em 0.2em #5e6770; color: white;">0.02</div></div><p style="margin-bottom: 0px; font-weight: bold;color: white;text-shadow: 0.1em 0.1em 0.2em #5e6770;" id="tag_heatmap">NO2 (ug/m3)</p></div>');
disabledEvents.inMap('legendColourNO2');
```

Figura 23. Fragmento del código de JavaScript encargado de establecer los parámetros principales de la leyenda.

Tabla 4. Valores de corte de las leyendas de cada capa de información añadidas al visor web (0 equivale al valor mínimo, 30 al valor equivalente al 30% de la leyenda, 50 al valor equivalente al 50% de la leyenda, 70 al valor equivalente al 70% de la leyenda y 100 al valor más alto de la leyenda).

Capa de información	Valores de corte (µg/m3)				
	0	30	50	70	100
NO2	0,02	0,38	1,91	23,52	>=191,25
SO2	0,03	3,99	26,61	199,57	>=1130,45
CO	0	116,42	174,66	232,84	>=3492,60
O3	0	99,79	139,70	189,59	>=299,36
PM2.5	20	50	80	150	>=500
PM10	20	50	80	150	>=500
NO2 EU	0	20	40	75	>=200
SO2 EU	0	20	40	75	>=200
CO EU	0	200	300	400	>=1000
O3 EU	0	80	120	160	>=240
PM2.5 EU	0	20	40	75	>=200
PM10 EU	0	20	40	75	>=200

Mediante el código de JavaScript que se puede ver mediante la Figura 24 se ha generado un evento para hacer que estas leyendas se oculten y aparezcan dependiendo si el *check button* del contaminante esta seleccionado o no. Además, la última parte del código mostrado a través en esta figura permite borrar la capa que contiene los valores de concentración del contaminante y la declara como indefinida (*'undefined'*).

```
//Evento para que con el check aparezca y desaparezca la leyenda GLOBAL
$(("#.leaflet-control-layers-overlays input[type='checkbox']")[0]).on("change",function(){
  if($("#.leaflet-control-layers-overlays input[type='checkbox']")[0].is(":checked")){
    $("#legendColourNO2").show();
    no2popupLayer = source.getLayer("composition_no2_surface").addTo(mapa1);
  }
  else{
    $("#legendColourNO2").hide();
    if(no2popupLayer!=undefined){
      mapa1.removeLayer(no2popupLayer);
      no2popupLayer = undefined;
    }
  }
});
```

Figura 24. Fragmento del código de mostrar u ocultar las leyendas de las capas de información.

3.1.4.5. Pop-up de la concentración del contaminante

Se ha desarrollado también un código de JavaScript para la creación de una función para generar un pop-up que muestre el valor de concentración del contaminante de la capa de información seleccionada. Mediante las Figuras 25 y 26 se pueden observar los fragmentos del código desarrollado para ello. El desarrollo de esta nueva funcionalidad se puede dividir en dos partes:

- Código para seleccionar el valor de contaminación de los metadatos de la capa de información eliminando la información que no es relevante (Figura 26): estas líneas de código se han insertado en la función de inicio del mapa y cuentan con la función *Math.round()* para mostrar el valor sin decimales. Así mismo, cuatro capas se han multiplicado por sus factores de conversión a $\mu\text{g}/\text{m}^3$ debido a que las capas originales muestran el valor en ppbv. Finalmente, se establecieron dos líneas de código para mostrar el mensaje "No hay datos disponibles" en las zonas de las capas de información en las que no existan registros de la concentración y otras dos para añadirle el texto al pop-up. Para esto, ha sido necesario el uso del plugin *L.WMS.source.extend()* de Leaflet.
- Función *getPollutant()* (Figura 25): para modificar el texto del pop-up y se muestre el nombre del contaminante en la primera parte de la etiqueta y el valor de concentración con las unidades de medida se después.

```
// Cambiar el nombre a la etiqueta del pop-up
function getPollutant(text){
  if(text.includes("composition_pm2p5")){
    return "PM2.5";
  }
  else if(text.includes("composition_pm10")){
    return "PM10";
  }
}
```

Figura 25. Fragmento del código de JavaScript encargado de generar la función *getPollutant()*.

```

//Popup consulta concentracion
MySource = L.WMS.Source.extend({
  showFeatureInfo: function(latlng, info) {
    if (!this._map){return;}
    console.log(info);
    var pollutant = getPollutant(info.split("\n")[1]);
    var value = parseFloat(info.split("\n")[3].replace("Value: ", "").split(" ")[0]);
    if(pollutant=="NO2"){
      value = Math.round(value*1.9125);
    }
    if(pollutant=="SO2"){
      value = Math.round(value*2.6609);
    }
    if(pollutant=="CO"){
      value = Math.round(value*1.1642);
    }
    if(pollutant=="O3"){
      value = Math.round(value*1.9957);
    }
    if(pollutant=="PM2.5"){
      value = Math.round(value*1);
    }
    if(pollutant=="PM10"){
      value = Math.round(value*1);
    }
  }

  if(pollutant=="NO2 EU"){
    value = Math.round(value*1);
  }
  if(pollutant=="SO2 EU"){
    value = Math.round(value*1);
  }

  if(pollutant===undefined){
    this._map.openPopup("No hay datos disponibles", latlng);
  }
  else{
    this._map.openPopup(pollutant+": "+value+" ug/m3", latlng);
  }
});

```

Figura 26. Fragmento del código de JavaScript encargado de generar contenido el pop-up.

3.1.4.6. Otras mejoras del visor web

Las funcionalidades descritas en los apartados anteriores están referidas a mejoras en el visor que inicialmente han sido planteadas entre los diferentes objetivos del presente trabajo. Sin embargo, la siguiente mejora no formaba parte de estos, pero ha sido desarrollada puesto que ha incrementado la comprensión del resto de funcionalidades, así como la calidad del visor web.

Icono de información

Se ha añadido un icono de información en el que se especifica de manera breve las principales características de las capas de información representables en el visor web. Ha sido pensada para, facilitar la comprensión de los límites temporales y espaciales de las diferentes capas añadidas. El código de JavaScript generado para su desarrollo y correcto funcionamiento se muestra en las Figuras 27 y 28.

En relación con esto, se han empleado dos funciones para el desarrollo de esta herramienta:

- función `addLegendOperationInMap()` (Figura 27): genera un icono de información en la parte superior derecha con un `div` oculto. En él se ha insertado una leyenda con los detalles más importantes de las capas de información añadidas en formato imagen.

```
//Botón info
function addLegendOperationInMap(){
  $("#Mapa1 .leaflet-control-container").append("<div id='legendOperationMap'><div id='iconOperationLegend' style='width: 40px;height: 40px;display: flex;justify-content: center;align-items: center;'><img src='./img/info-white.png'></img></div><div id='operationLegend' style='width: 700px; height: auto; display:none;'><div class='x' style='z-index: 100; margin-right: 5px;'><i class='fa fa-times' style='font-size: 18px; color: #555; cursor: pointer; float: right;'></i></div><h3 style='margin: 5px 10px;padding:0; font-weight: bold;font-size: 17px;justify-content: center;align-items: center;'>PRONÓSTICOS DE CONTAMINANTES</h3><div style='display:flex;justify-content: center;align-items: center;'><p><img src='./img/data.png'></img></p></div></div></div>");
  disabledEventsInMap("legendOperationMap");
  hoverLegendInDiv($("#legendOperationMap"), $("#operationLegend"), $("#iconOperationLegend"));

  $("#operationLegend .x").off("click");
  $("#operationLegend .x").on("click", function() {
    $("#operationLegend").hide();
    $("#iconOperationLegend").show();
  });
}
```

Figura 27. Código de JavaScript para el desarrollo de la función `addLegendOperationInMap()`.

- b. Función `hoverLegendInDiv()` (Figura 28): crea un evento que cuando el usuario pasa el cursor el icono se despliega el `div` oculto con una explicación sobre las especificaciones de las capas de información añadidas, no hace falta clickarlo. Hace uso de un plugin presente en la librería Leaflet.

```
function hoverLegendInDiv(domEvent, domSecond, domIcon){
  domEvent.off("mouseenter mouseleave");
  domEvent.hover(function() {
    domIcon.hide();
    domSecond.show();
  }, function() {
    domIcon.show();
    domSecond.hide();
  });
}
```

Figura 28. Código de JavaScript para el desarrollo de la función `hoverLegendInDiv()`.

3.2. ANÁLISIS DE LAS PREDICCIONES EUROPEAS DE CAMS

Al igual que en apartado anterior, a través las siguientes secciones se mostrará lo relativo a los recursos y métodos empleados para el desarrollo del análisis de la fiabilidad de las predicciones europeas de contaminantes atmosféricos insertadas en el visor web. Para ello, el apartado se ha dividido en cuatro subsecciones que harán referencia a las fuentes de datos empleadas, las herramientas utilizadas, los datos necesarios y su descarga y la metodología empleada para llevar a cabo el procesamiento de los datos y el posterior análisis.

3.2.1. Fuente de datos

De la misma forma que en el caso anterior, para la realización del análisis de la fiabilidad de las predicciones europeas, la fuente de los archivos de datos principal ha sido también el CAMS (Véase Apartado 3.1.1.2.).

En relación con la realización del análisis, se han necesitado los datos tanto de las predicciones europeas de los seis contaminantes atmosféricos (empleados también en el apartado anterior) como los archivos de ajustados de los mismos contaminantes. Ambos tienen las mismas dimensiones espaciales (límite oeste=25,0° O, este=45,0° E, sur=30,0° N, norte=70,0°), pero la disponibilidad de los datos no es la misma. En el caso de las predicciones europeas hay datos horarios de las predicciones de una fecha desde cuatro días antes del día que se quiere analizar (Fecha-3, Fecha-2,

Fecha-1 y Fecha). Sin embargo, en el caso de los archivos ajustados de los contaminantes, están disponibles con dos días de retardo respecto al día seleccionado (Fecha+2), ya que requieren un ajuste según las mediciones obtenidas en campo como se ha explicado en el Apartado 3.1.1.

3.2.2. Herramientas usadas en el procesamiento de datos para el análisis de las predicciones

En esta sección se exponen las principales herramientas utilizadas en el procesamiento y análisis de los archivos de predicciones europeas y archivos ajustados de contaminantes atmosféricos.

3.2.2.1. QGIS

En el caso del análisis de las predicciones europeas la herramienta principal empleada a la hora de realizar el procesamiento de los datos ha sido QGIS 3.24 "Tisler", que es una aplicación de software gratuita y de código abierto que permite ver, editar y analizar gran variedad de datos geográficos (espaciales) contenidos en diferentes formatos. Ofrece diversas herramientas para procesar y analizar los datos, que permite también usar una variedad de complementos adicionales para agregar nuevas funcionalidades (QGIS, 2022). Se ha decidido emplear esta aplicación debido a la gran cantidad de datos que eran necesarios procesar, así como por la versatilidad que ofrece en relación con los diferentes formatos de los datos.

3.2.3. Datos necesarios y descarga de los archivos

Como se ha comentado en los objetivos planteados para este trabajo, se ha querido hacer un análisis de la fiabilidad diaria y estacional de las predicciones europeas de diferentes contaminantes atmosféricos. Para ello, se han observado las diferencias de estas respecto a los archivos ajustados de los mismos contaminantes. Los modelos regionales mencionados realizan predicciones diarias a 4 días. Además, la producción de las capas de predicciones y capas ajustadas tiene lugar en diferentes momentos del día: Pronóstico D0 (0-24h) a las 05:50h UTC, D1 (25-48h) 05:55h UTC, D2 (49-72h) 07:30h UTC, D3 (73-96h) 08:00h UTC y 11:00h UTC. Las ajustadas (-24H-1H). De esta forma, las predicciones diarias se ejecutan desde las 00h UTC, con una resolución de tiempo de 1 hora y un período de pronósticos desde el paso (0h) hasta las siguientes 96h. Por lo tanto, se han descargado las predicciones y los archivos ajustados para cuatro fechas diferentes: 01/11/2021, 01/02/2022, 01/05/2022 y 01/08/2022, cada una perteneciente a una estación diferente del año. De acuerdo con los archivos ajustados, únicamente hay uno disponible y es generado dos días después de la fecha de estudio. En el caso de las predicciones, en una determinada fecha se realizan predicciones horarias para las siguientes 96 horas, por lo que, como ejemplo para las predicciones del 01/11/2021 se han tenido que extraer los datos generados, no solo ese día, si no parte de los generados el 29/10/2021 (Fecha-3), el 30/10/2021 (Fecha-2) y el 31/10/2021 (Fecha-1). Posteriormente, cada uno de los archivos de estos días se ha comparado con el archivo ajustado del 01/11/2021. Así, se obtendrán los 4 archivos de diferencias para cada fecha (hora a hora).

En el caso del desarrollo del visor web los datos de las predicciones se han obtenidos a través de una llamada al servicio de WMS disponible en CAMS. Sin embargo, este servicio actualmente no

ofrece los datos de las capas ajustadas de contaminantes atmosféricos. De esta forma, para la realización del análisis de la fiabilidad de las predicciones europeas de contaminantes atmosféricos ha sido necesaria la descarga de los datos físicos. Esto se ha realizado en la Atmosphere Data Store (ADS) de forma interactiva a través de su formulario web de descarga, aunque para poder realizar las descargas ha habido que registrarse en CAMS previamente. Los parámetros seleccionados a la hora de realizar la descarga se pueden ver a continuación mediante las Tablas 5 y 6.

En relación con estas tablas, muestran los diferentes archivos de predicciones europeas y archivos ajustados descargados en los que se debe hacer la selección de los siguientes parámetros:

- *Variable*: los diferentes contaminantes atmosféricos disponibles.
- *Modelo*: el tipo de modelo empleado para hacer los archivos ajustados y las predicciones. En este caso, modelo “ensemble median”, que se trata de un producto combinado generado a partir de los diferentes modelos disponibles (ECMWF, 2022).
- *Nivel*: los metros sobre la superficie a la que se han generado los archivos ajustados y las predicciones.
- *Fecha*: día al que corresponden los archivos.
- *Tiempo (horas)*: horas en las que se quiere tener datos de concentración. En el caso de las predicciones únicamente es posible seleccionar las 00:00.
- *Periodo de tiempo*: horas de las que se quiere obtener las predicciones. Debido a que en una fecha se realizan predicciones para los siguientes cuatro días, se ofrece un panel con 96 horas. Las primeras 24 horas (0-23) corresponden a las predicciones horarias de concentración hechas para ese mismo día (Fecha), las siguientes 24 horas (24-47) son las predicciones hechas para el día siguiente (Fecha+1), las terceras 24 horas (48-71) son las predicciones generadas para dos días después (Fecha+2) y las últimas 24 horas (72-95) son las predicciones generadas para tres días después (Fecha+3).
- *Área*: para restringir la extensión espacial de los archivos.

Una vez descargados se les ha dotado de un nombre diferencial a cada uno de los archivos (Tablas 5 y 6). De esta forma, cada uno de estos archivos de análisis contiene datos de:

- 6 contaminantes atmosféricos.
- Cada hora del día (24 horas).

Tabla 5. Parámetros seleccionados para cada uno de los archivos ajustados descargados de la ADS.

Nombre de archivo	Parámetros						
	Variables	Modelo	Nivel	Fecha	Tiempo (horas)	Periodo de tiempo	Área
A_1101	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	Ensemble median	0	01/11/2021	00:00-23:00	0	N:71.8, W:-24.22, S:30, E:44.7
A_0201	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	Ensemble median	0	01/02/2022	00:00-23:00	0	N:71.8, W:-24.22, S:30, E:44.7
A_0501	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	Ensemble median	0	01/05/2022	00:00-23:00	0	N:71.8, W:-24.22, S:30, E:44.7
A_0801	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	Ensemble median	0	01/08/2022	00:00-23:00	0	N:71.8, W:-24.22, S:30, E:44.7

Tabla 6. Parámetros seleccionados para cada uno de los archivos de predicciones descargados de la ADS.

Nombre de archivo	Parámetros						
	Variables	Modelo	Nivel	Fecha	Tiempo (horas)	Periodo de tiempo	Área
F_1029_1101	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	Ensemble median	0	29/10/2021	00:00	72-95	N:71.8, W:-24.22, S:30, E:44.7
F_1030_1101	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	Ensemble median	0	30/10/2021	00:00	48-71	N:71.8, W:-24.22, S:30, E:44.7
F_1031_1101	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	Ensemble median	0	31/10/2021	00:00	24-47	N:71.8, W:-24.22, S:30, E:44.7
F_1101_1101	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	Ensemble median	0	01/11/2021	00:00	0-23	N:71.8, W:-24.22, S:30, E:44.7
F_0129_0201	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	Ensemble median	0	29/01/2022	00:00	72-95	N:71.8, W:-24.22, S:30, E:44.7
F_0130_0201	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	Ensemble median	0	30/01/2022	00:00	48-71	N:71.8, W:-24.22, S:30, E:44.7
F_0131_0201	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	Ensemble median	0	31/01/2022	00:00	24-47	N:71.8, W:-24.22, S:30, E:44.7
F_0201_0201	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	Ensemble median	0	01/01/2022	00:00	0-23	N:71.8, W:-24.22, S:30, E:44.7
F_0428_0501	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	Ensemble median	0	29/01/2022	00:00	72-95	N:71.8, W:-24.22, S:30, E:44.7
F_0729_0501	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	Ensemble median	0	30/01/2022	00:00	48-71	N:71.8, W:-24.22, S:30, E:44.7
F_0730_0501	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	Ensemble median	0	31/01/2022	00:00	24-47	N:71.8, W:-24.22, S:30, E:44.7
F_0501_0501	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	Ensemble median	0	01/01/2022	00:00	0-23	N:71.8, W:-24.22, S:30, E:44.7
F_0729_0801	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	Ensemble median	0	29/07/2022	00:00	72-95	N:71.8, W:-24.22, S:30, E:44.7
F_0730_0801	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	Ensemble median	0	30/07/2022	00:00	48-71	N:71.8, W:-24.22, S:30, E:44.7
F_0731_0801	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	Ensemble median	0	31/07/2022	00:00	24-47	N:71.8, W:-24.22, S:30, E:44.7
F_0801_0801	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	Ensemble median	0	01/08/2022	00:00	0-23	N:71.8, W:-24.22, S:30, E:44.7

Así pues, se ha contado con un subconjunto de 576 archivos de datos en el caso de las predicciones europeas para cada fecha y un subconjunto de 144 archivos ajustados para cada fecha. Esto ha generado una base de datos final de 2.880 archivos para realizar el análisis de la fiabilidad de las predicciones. La descarga de estos archivos se ha hecho en formato *netCDF* (*Network Common Data Form*), que se trata de un conjunto de librerías de software y formatos de datos que admiten la creación, el acceso y el intercambio de datos científicos orientados a matrices. También es un estándar comunitario para compartir datos científicos (Michna y Woods, 2013).

Por último, en relación con la ocupación de memoria de cada uno de estos archivos, tuvieron un peso de 165,9 MB. Teniendo en cuenta que todos ellos poseían el mismo número de parámetros se descargaron 3.318 MB, lo que equivale a una ocupación de memoria de algo más de 3 GB.

3.2.4. Metodología para el procesamiento de datos y análisis realizados

Una vez descargados todos los archivos necesarios, se ha procedido a la realización del análisis planteado en los objetivos del trabajo a través de la herramienta QGIS 3.24 (véase Apartado 3.2.3.1.). Tal y como se ha comentado, inicialmente los archivos descargados se encontraban en un formato netCDF. Se trata de un formato compatible y funcional en el QGIS 3.24. que permite introducirlo al software de forma sencilla en diferentes archivos ráster. De esta forma, los datos de los diferentes contaminantes agrupados por fechas y tipos de archivo (capas de predicciones y capas ajustadas) se han insertado directamente en formato ráster.

Posteriormente, se han renombrado los rásteres con los datos ajustados para diferenciarlos de los datos de predicciones y se ha procedido a generar los nuevos productos ráster de diferencias entre ambos tipos de archivos, a través de una resta entre los valores de cada píxel, de cada contaminante para cada una de las fechas de estudio y cada hora. Así, se han ido creando los productos ráster de diferencias entre los 4 archivos de predicciones y el archivo ajustado correspondientes a cada uno de los cuatro días elegidos. Esto se ha realizado para cada uno de los 6 contaminantes atmosféricos y cada una de las 24 horas del día. Así pues, se obtuvieron un total de 2.304 rásteres de diferencias entre las predicciones y los archivos ajustados descargados de CAMS (Tabla 7).

Tabla 7. Ejemplo del cálculo de los productos ráster de diferencias y el número obtenido para los datos del día 01/02/2022. A estos habría que añadirles los obtenidos para las otras tres fechas establecidas.

Nombre de archivo	Parámetros				
	Calculadora Ráster		Variables	Tiempo (horas)	Nº productos ráster de diferencias
Dif_0201	(F_0129_0201 – A_0201)	(D-3) - A	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	00:00-23:00	144
	(F_0130_0201 – A_0201)	(D-2) - A	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	00:00-23:00	144
	(F_0131_0201 – A_0201)	(D-1) - A	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	00:00-23:00	144
	(F_0201_0201 – A_0201)	D - A	NO2, SO2, CO, O3, PM2.5, PM10	00:00-23:00	144

Finalmente, una vez obtenidos los productos ráster de diferencias entre los 4 archivos de predicciones y el archivo ajustado para los 4 días, se ha pasado a generar las estadísticas principales de cada uno de esos rásteres. Además de las estadísticas de los rásteres de diferencias, también se calcularon las estadísticas de los rásteres de los datos las capas ajustadas. Este proceso fue llevado a cabo a través de varios procesos *batch* o procesos en lote y entre las estadísticas básicas disponibles se han seleccionado la media de las diferencias ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y la desviación estándar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Después de ejecutar las estadísticas en QGIS 3.24., los resultados obtenidos se han guardado en archivos CSV y se ha procedido a la realización de los diferentes gráficos y tablas mediante las cuales se ha hecho el análisis y las comparaciones en base a los objetivos planteados. Además, se han calculado otros parámetros como la media absoluta de las diferencias (suma absoluta de las medias de las diferencias, en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y las medias relativas de las diferencias (medias de la diferencia dividido entre las medias de las diferencias de los archivos ajustados, en proporciones).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A través de la presente sección del trabajo se expondrán los resultados y la discusión referentes a los dos bloques principales en los que se ha estructurado esta parte del trabajo. Por un lado, se mostrará lo referente a las nuevas funcionalidades del visor de Kunak y, por otro lado, el análisis de error es en las predicciones europeas de contaminantes atmosféricos.

4.1. VISOR KUNAKCLOUD

A continuación, se pasarán a explicar lo obtenido a través de la metodología aplicada en relación con las distintas funcionalidades del visor web de Kunak y se hará una breve discusión, de modo que esto ayude a la su comprensión.

4.1.1. Capas base y capas de información

De acuerdo con lo comentado en la sección anterior, la inserción de las capas base y capas de información de predicciones de contaminantes ha sido el primero de los pasos para realizar. Los resultados obtenidos se pueden observar a continuación.

4.1.1.1. Capas base

Según lo configurado en el archivo de JS, la capa cargada por defecto una vez iniciamos el visor es la imagen satélite de Google, pero esta puede ser reemplazada por la otra a través del controlador de capas (funcionalidad situada arriba a la derecha del visor web). Cabe destacar también que la configuración realizada no permite cargar ambas capas base de forma simultánea. Así mismo, en relación con las características principales de estas capas base, se tratan de imágenes tileadas y representadas de forma continua en el visor web, lo que quiere decir que no comprenden límites horizontales.

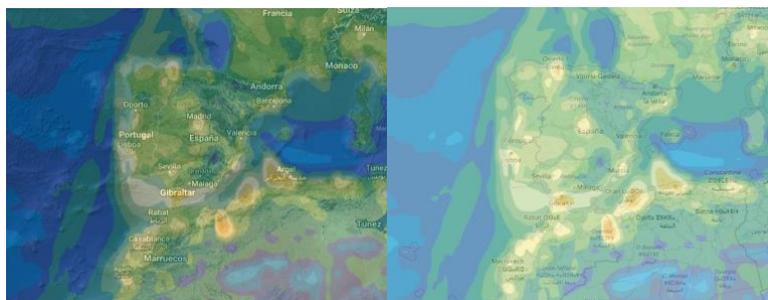


Figura 29. Representación del efecto generado por las capas base bajo una capa de datos de contaminación atmosférica en la zona de la Península Ibérica.

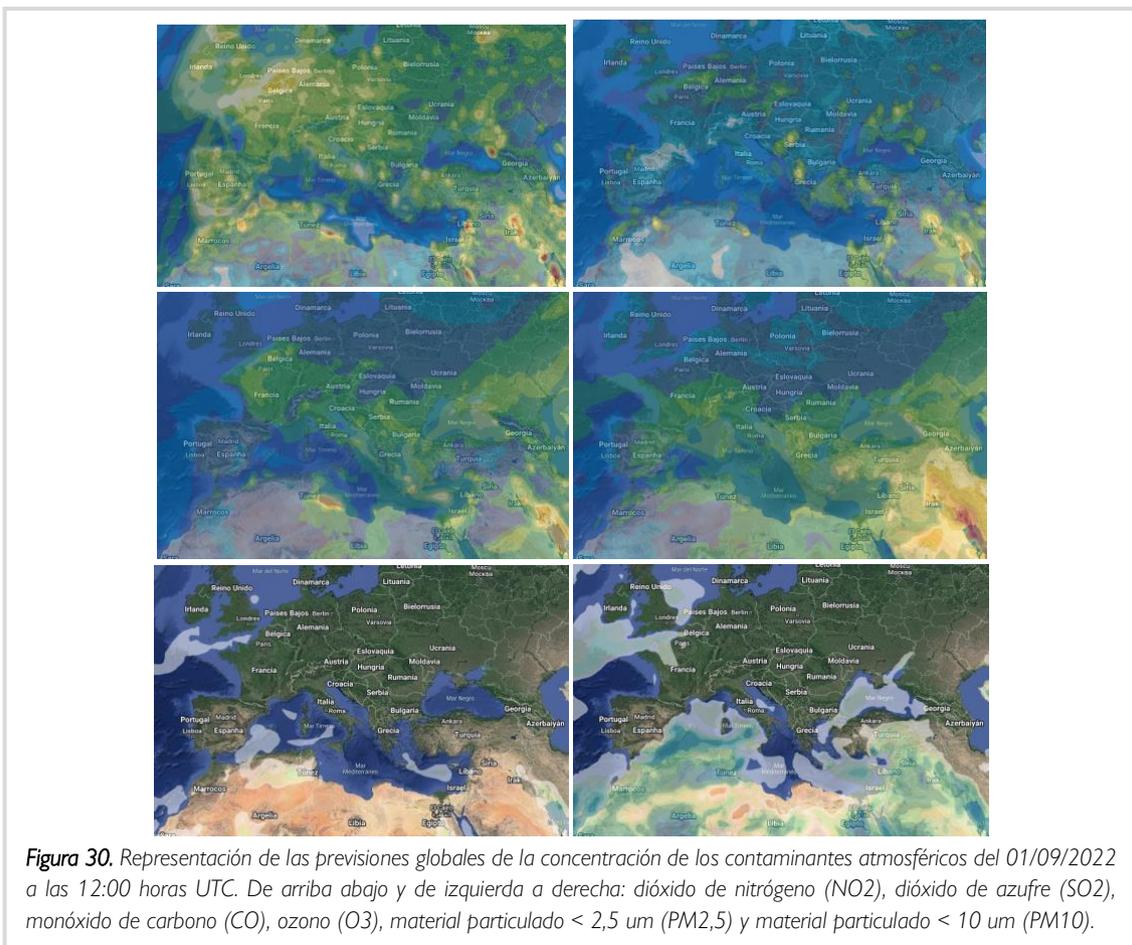
Por último, mediante la Figura 29 se puede ver el efecto producido por las capas base en el visor web una vez se han añadido las capas de información con la opacidad definida. En este caso se aprecia la predicción de la concentración de monóxido de carbono (CO) para el 1 de septiembre de 2022

a las 11:00 horas UTC. La imagen de la izquierda se aprecia más oscura debido a la propia configuración de la imagen, pero, por el contrario, se observa mejor el relieve del entorno pudiéndose obtener información adicional respecto a la capa base topográfica.

4.1.1.2. Capas base

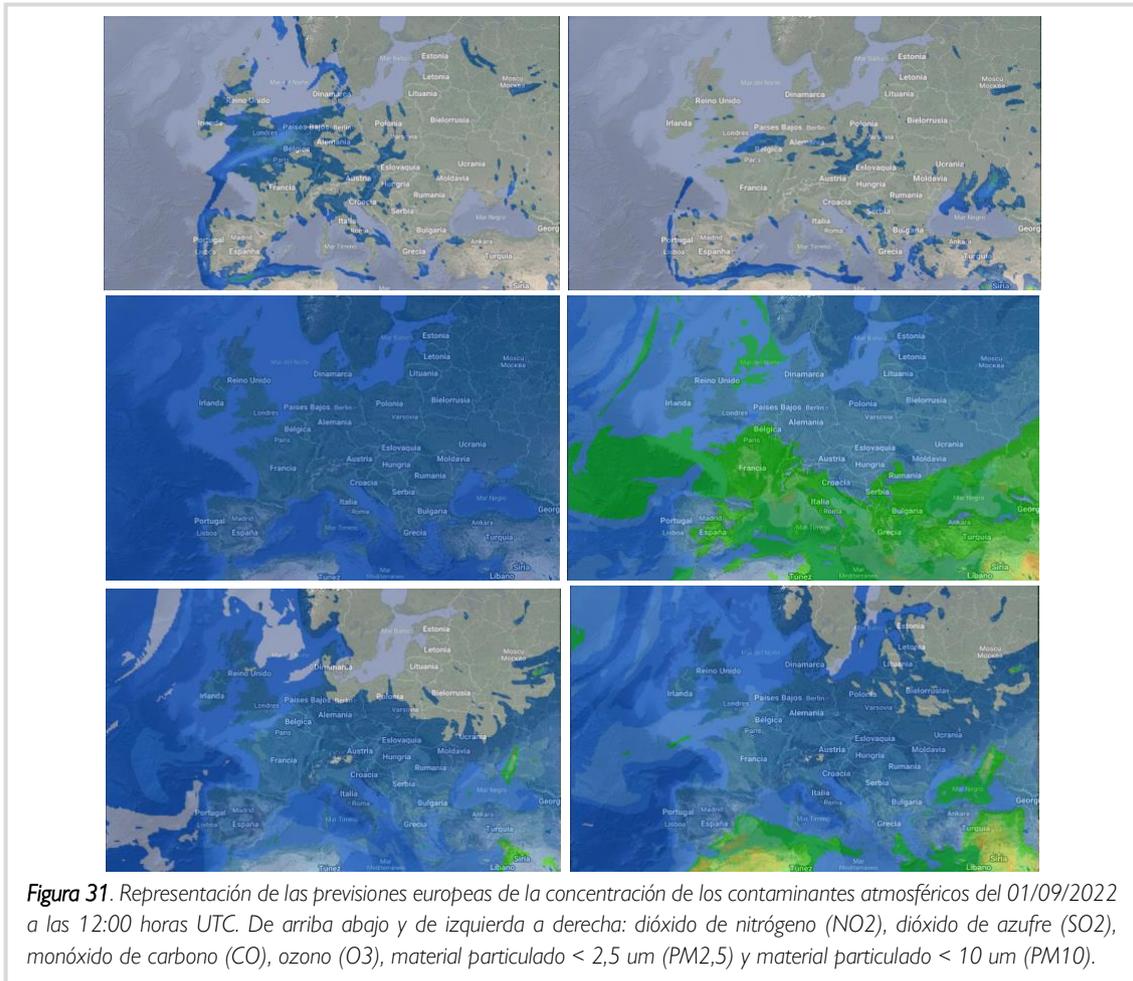
Siendo uno de los pasos claves del presente trabajo, en las siguientes figuras se puede observar el resultado obtenido de la inserción de las capas de información en el modelo de visor web generado para la KunakCloud. La selección que permita la observación de cada una de estas capas se realizará a través del controlador de capas.

Mediante la Figura 30 se puede ver la representación de las predicciones globales de la concentración de cada uno de los contaminantes atmosféricos seleccionados, referidas al 1 de septiembre de 2022 a las 12:00 horas UTC. Se puede apreciar que cada una de ellas muestra una representación diferente debido a que las concentraciones de difieren entre compuestos.



En cuanto a la Figura 31, se puede observar la representación de las previsiones de la concentración de los contaminantes atmosféricos de la misma fecha y hora (1 de septiembre de 2022 a las 12:00 horas UTC), pero esta vez de las seis capas de información europeas. A pesar de emplear el mismo

estilo de colores de representación de los datos en todas ellas, cada una se muestra diferente debido a las diferencias en los valores de concentraciones de los distintos compuestos.



En relación con la adición de las diferentes capas, por un lado, las capas base suponen un elemento básico en la construcción de un visor web como KunakCloud y son relativamente fáciles de insertar a través de un sencillo código en JavaScript. No solo suponen una fuente de información extra para el visor, si no que, además, constituyen la base que permite situar y localizar los elementos presentes en el resto de las capas presentes en él. Por ello, son elementos que se emplean prácticamente en todos los visores web. De acuerdo con el visor de KunakCloud, mediante las capas bases se pueden situar geográficamente los diferentes sensores distribuidos por la empresa a lo largo de todo el mundo de forma fácil y visual. Así mismo, una vez añadidas las diferentes capas de información servirán para localizarlas geográficamente y saber la situación espacial del usuario del visor web en todo momento.

Por otro lado, las capas de información, siendo los elementos que contienen los datos que se quieren representar, son el elemento clave y logran darle un sentido lógico a la creación del visor. Por un lado, las capas de información de predicciones de contaminación atmosférica a nivel global y europeo ofrecidas por CAMS (CAMS, 2022). De este modo, son archivos que provienen de una fuente de

datos oficial y contrastada, estando disponibles abiertamente (ECWMF, 2022) y siendo accesibles de forma sencilla. Se trata de una fuente de datos también empleados en visores web de aplicaciones como Windy¹, BreezoMeter² y eLichens³. Por otro lado, se han elegido los contaminantes atmosféricos observados en las Figuras 30 y 31 debido a que todos ellos son contaminantes monitorizados por los equipos de la empresa, resultandos interesantes de cara a generar una fuente de contraste de datos y para añadir nuevos recursos dirigidos a posibles consultas que quieran hacer los clientes o empleados a través de KunakCloud. De esta forma, pueden ser consideradas unas capas de información compatibles y complementarias a la capa de los distintos dispositivos de la empresa presente actualmente en el visor web de Kunak. Por último, como se ha podido apreciar a través de las figuras mostradas, las diferentes capas de se ven bien y ofrecen información contrastada y de calidad con una resolución espacial muy amplia. Sin embargo, el hecho de haber empleado un servicio WMS para su representación, por una parte, facilita el proceso, pero por la otra, supone la mayor limitante. Esto ocurre debido a que solo permiten la representación de los datos con los estilos establecidos por el distribuidor de los datos.

4.1.2. Controlador de capas

A través de la siguiente imagen (Figura 32) se puede observar el resultado obtenido a la hora de generar el controlador de capas. Se ha colocado en la esquina superior derecha de la interfaz y una vez se inicia el visor, el controlador de capas aparece sin desplegar (imagen izquierda). Una vez que el cursor se introduce en el icono, este se despliega y deja al descubierto el listado con las 2 capas base y las 12 capas de información de contaminantes atmosféricos como se puede apreciar en la Figura 32.

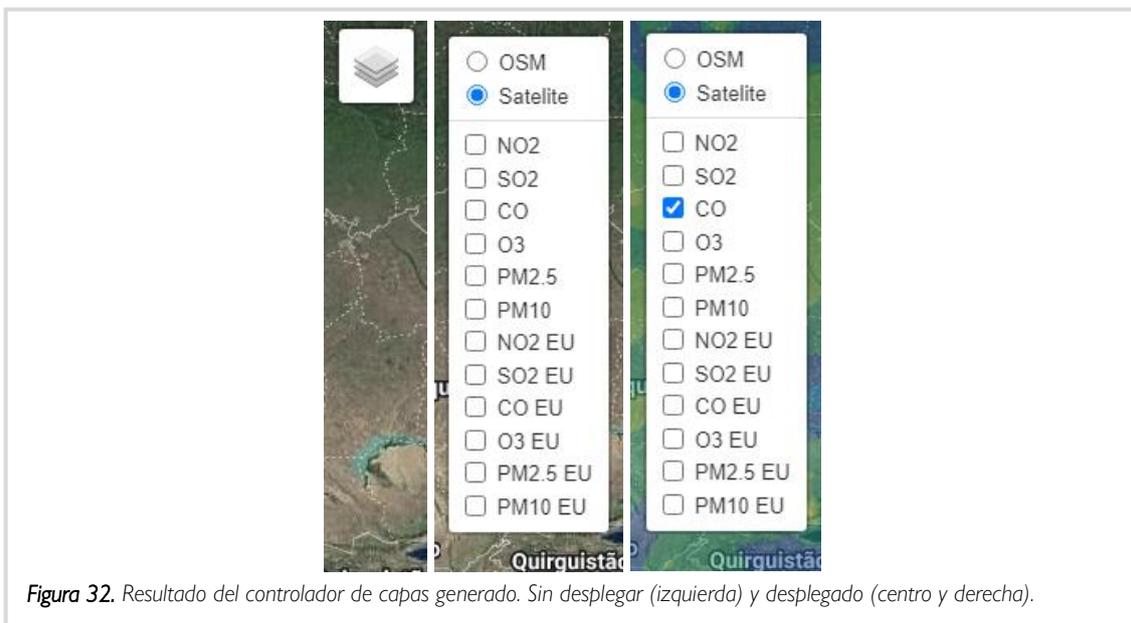


Figura 32. Resultado del controlador de capas generado. Sin desplegar (izquierda) y desplegado (centro y derecha).

¹ <https://www.windy.com/>

² <https://www.breezometer.com/>

³ <https://www.elichens.com/>

En este caso, se establecen *radio buttons* a las capas base, que no permiten la selección simultánea de esas capas, y *check buttons* a las capas de información que, a diferencia de las anteriores, permite la visualización de dos capas a la vez. La lista de las capas disponible volverá a ocultarse tan rápido como el cursor salga de sus límites.

Así pues, el controlador de capas se trata de una funcionalidad extra y sencilla de realizar a través del pluquin de la librería de Leaflet, pero que resulta necesaria en el caso de cualquier visor para la correcta organización y manejo de las diferentes capas de información y de capas base presentes en un visor web. Es una herramienta que, al igual que las capas base, está presente en prácticamente cualquier visor web.

4.1.3. Dimensión temporal: barra temporal y calendario

La comprensión y el manejo de la dimensión temporal de las capas de información ha supuesto el apartado más complejo de plantear en trabajo, debido a la gran cantidad de variables y parámetros que se han de tener en cuenta. Una vez desarrollado el código de JS que lograrse generar las dos herramientas necesarias para abordar el manejo de la dimensión temporal de las capas de información, los resultados de la primera de las fases, que ha sido la inserción de la barra temporal y el calendario, se pueden apreciar a través de la Figura 33.

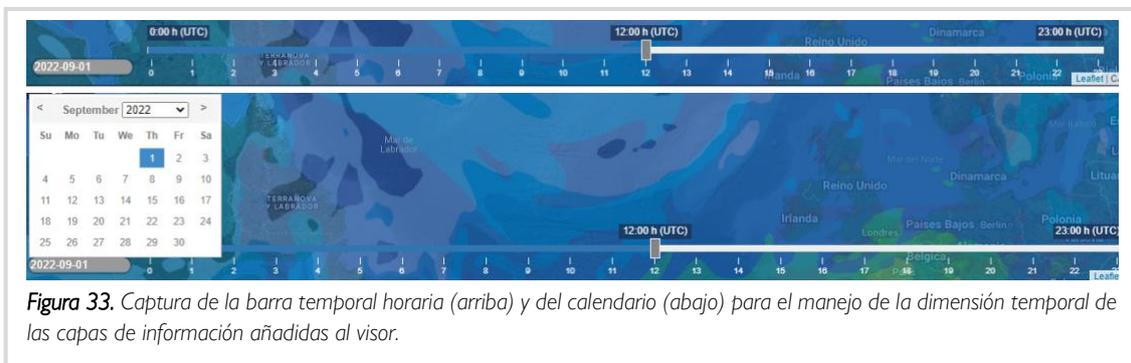
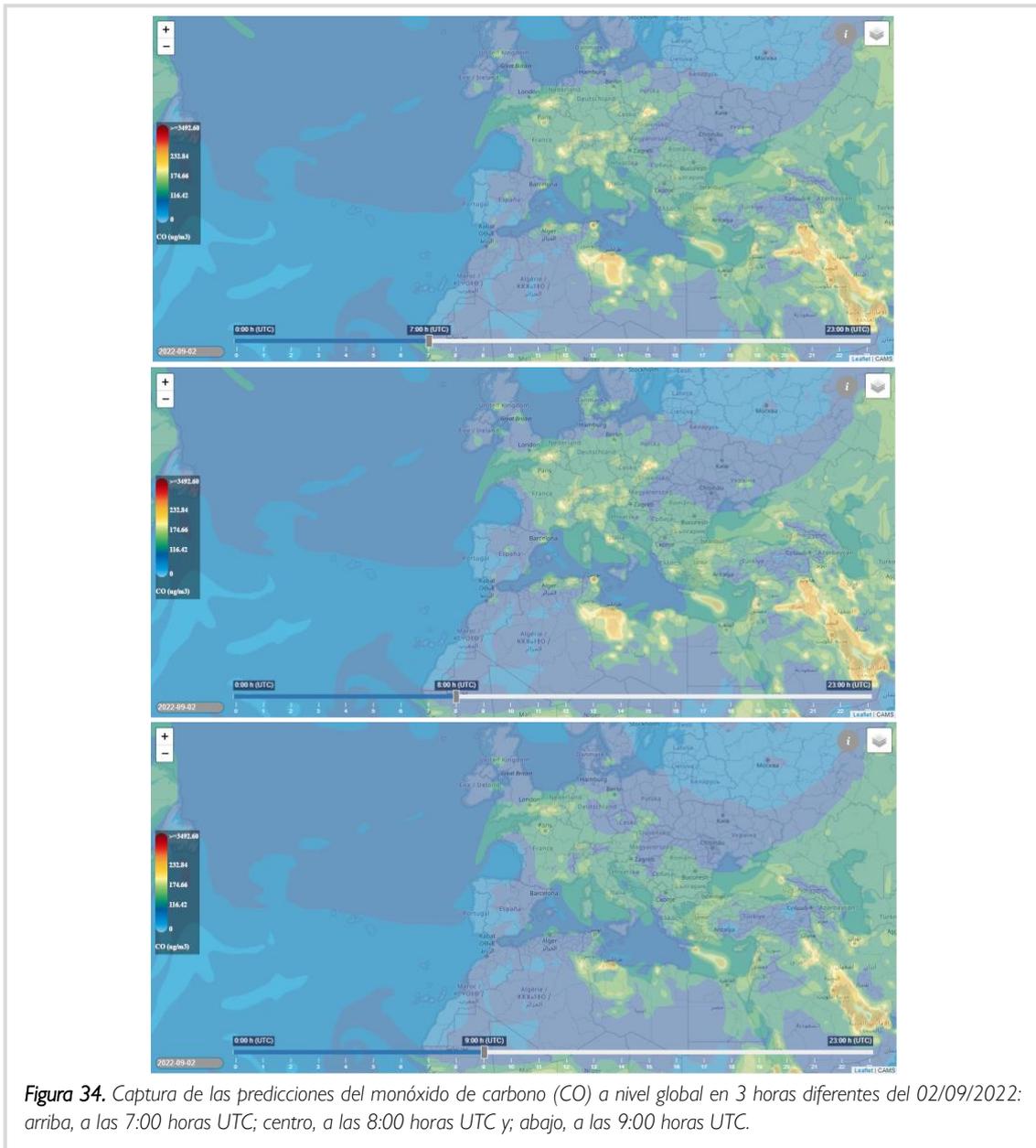


Figura 33. Captura de la barra temporal horaria (arriba) y del calendario (abajo) para el manejo de la dimensión temporal de las capas de información añadidas al visor.

Ambas herramientas se han situado en la parte inferior de la interfaz del visor web generado. Por un lado, la barra temporal funciona a través del cursor y con movimientos horizontales. Como se puede observar, está dividida en 24 partes que se corresponden con las horas del día (UTC) y están etiquetadas del 0 al 23. También se genera una pequeña etiqueta en la parte superior de la marca de la hora seleccionada (Figura 33). De esta forma, mediante el manejo de la barra temporal se puede obtener la representación de los datos de las diferentes predicciones de los contaminantes atmosféricos según las horas dentro de un determinado día. Sin embargo, hay que tener en consideración las limitaciones horarias que presentan estas capas de información.



En relación con las capas de información a nivel global, los datos de predicciones se dan cada 3 horas, por lo que cada día habrá 8 capas diferentes disponibles (0-2H, 3-5H, 6-8H, 9-11H, 12-14H, 15-17H, 18-20H y 21-23H). Los resultados de esto se pueden observar en la Figura 34, ya que se da un ejemplo de predicciones del monóxido de carbono (CO) en 3 horas diferentes de un mismo día. Como se aprecia, las predicciones correspondientes a las 7:00 horas UTC y las 8:00 horas UTC son las mismas, sin embargo, al representar las de las 9:00 horas UTC ya hay nuevos datos disponibles.

En el caso de las capas de información a nivel europeo esto no ocurre debido a que los datos de predicciones se dan cada hora, por lo que cada día habrá 24 capas de datos diferentes disponibles. Los resultados de esto se aprecian a través de la Figura 35. En ella se muestra un ejemplo de predicciones del dióxido de azufre (SO₂) en 3 horas diferentes de un mismo día. Como se aprecia, las predicciones de cada hora representada son diferentes.

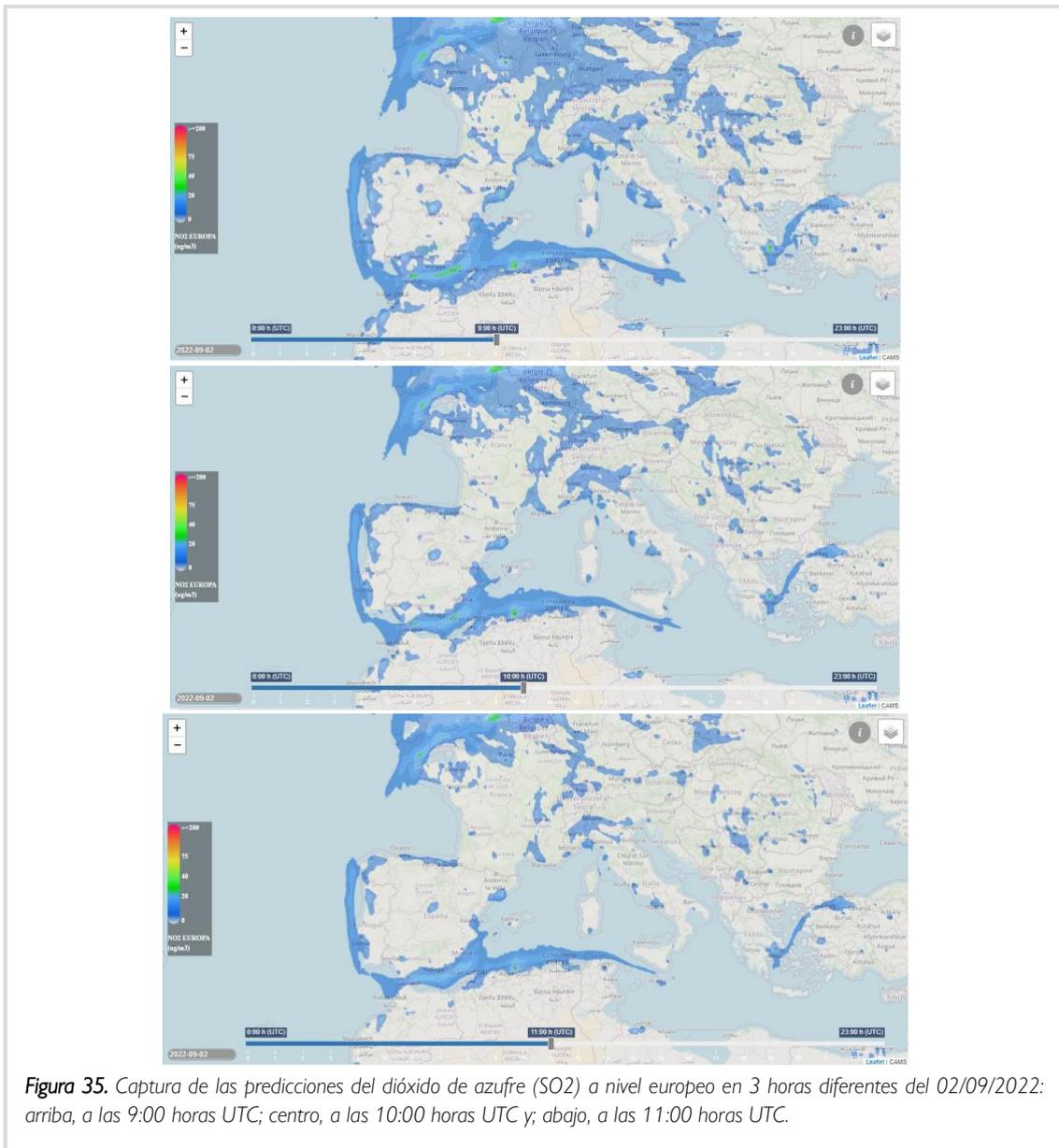


Figura 35. Captura de las predicciones del dióxido de azufre (SO₂) a nivel europeo en 3 horas diferentes del 02/09/2022: arriba, a las 9:00 horas UTC; centro, a las 10:00 horas UTC y; abajo, a las 11:00 horas UTC.

En el caso del calendario, se trata de una funcionalidad localizada a la izquierda de la barra temporal y que se encuentra oculto señalando la fecha seleccionada en el momento. Mediante un click con el cursor se puede desplegar y permite establecer el año, el mes y el día que se desee (captura inferior de la Figura 33). Por lo tanto, es una herramienta que permite visualizar las capas de información en diferentes fechas. De igual forma, es necesario tener en cuenta las limitaciones en cuanto a la resolución temporal que ofrecen estas capas extraídas de CAMS.

En relación con las capas de información a nivel global, los datos de predicciones comprenden una resolución temporal de cuatro días, de modo que se pueden representar los datos desde el propio día hasta tres días en adelante (día D, D+1, D+2 y D+3, siendo D la fecha del día actual). Además, permiten consultar las predicciones de concentraciones realizadas hasta cinco días antes de la fecha actual. Los resultados de esto se pueden observar en la Figura 36, que se da un ejemplo de

predicciones del monóxido de carbono (CO) en 4 días diferentes, pero a la misma hora (predicciones de los días 02/09/2022, 03/09/2022, 04/09/2022 y 05/09/2022 a las 14:00 horas UTC). Como se aprecia, las predicciones representan valores diferentes en todos los casos.



Figura 36. Captura de un ejemplo de las predicciones globales de CO los días 2, 3, 4 y 5 de septiembre de 2022 a las 14:00H UTC en la zona de la Península Ibérica.

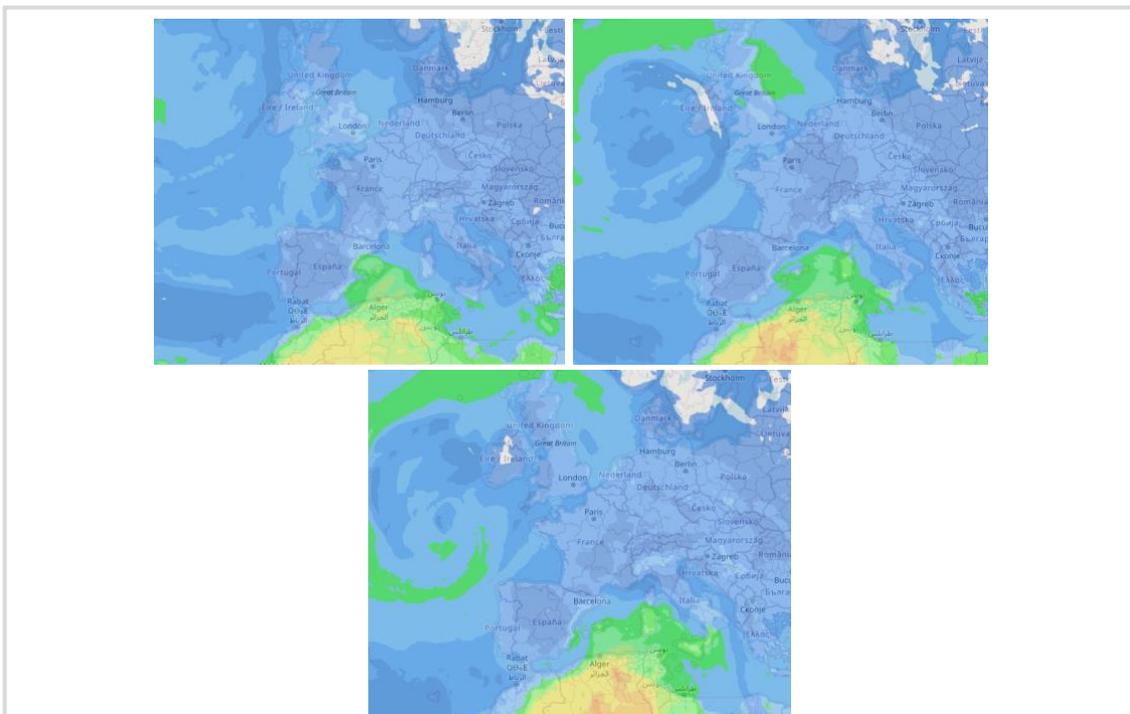


Figura 37. Captura de un ejemplo de las predicciones europeas de material particulado de diámetro < 10um (PM10) los días 2, 3, 4 y 5 de septiembre de 2022 a las 14:00H UTC.

De acuerdo con las capas de información a nivel europeo, los datos de predicciones presentan una resolución temporal de tres días a futuro, de forma que se pueden representar los datos desde el propio día hasta dos días en adelante (día D, D+1 y D+2, siendo D la fecha del día actual). Además, permiten consultar las predicciones de concentraciones realizadas varios días antes de la fecha actual. Los resultados de estas capas de información se pueden ver en la Figura 37, que se trata de un ejemplo de predicciones de material particulado de diámetro < 10 μ m (PM10) en 3 días diferentes, pero a la misma hora (predicciones de los días 02/09/2022, 03/09/2022 y 04/09/2022 a las 14:00 horas UTC). Como se aprecia, las predicciones representan valores diferentes en todos los casos.

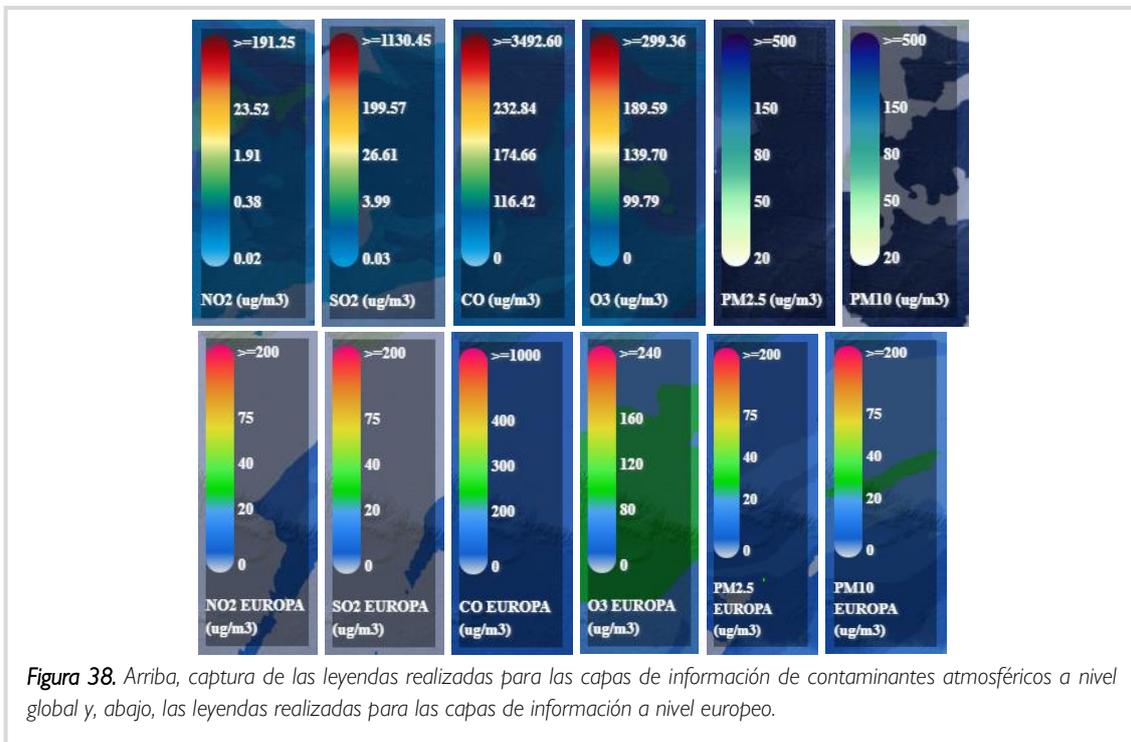
Así pues, en relación con las herramientas generadas para posibilitar el control de la dimensión temporal de las capas de información, cabe decir que ha resultado ser una de las partes más importantes en lo relativo a la mejora de las funcionalidades del visor web de Kunak. Como se ha observado, la implementación de la barra temporal y del calendario complementario a ella ha posibilitado el manejo de la escala temporal de las diferentes capas de información como también se da en otros visores web que trabajan con archivos temporales. Esto ha permitido que se puedan visualizar los datos de las predicciones de contaminantes atmosféricos realizadas por CAMS a nivel global y europeo. Así mismo, el estilo empleado en ambos casos ha sido establecido en base al visor actual de Kunak, para posteriormente facilitar su implementación en la KunakCloud.

Es por esto por lo que también ha resultado la parte más difícil y laboriosa en lo que al código de JavaScript se refiere. Por un lado, la comprensión de la dimensión y especificaciones temporales de los metadatos contenidos en el servicio WMS de CAMS no ha resultado fácil. Por otro lado, la cantidad de variables distintas que se deben tener en consideración ha hecho que el código definido no diese los resultados esperados en muchos momentos de la producción y montaje del visor web. Además, el hecho de que una mitad de las capas tenga unas variables temporales diferentes a la otra mitad de las capas ha complicado todavía más el proceso de implementación de las herramientas para el control de la dimensión temporal de las capas de información. A pesar de ello, el código de JavaScript actual permite una sencilla administración de estas variables temporales, lo que puede suponer una funcionalidad altamente útil para los usuarios de la KunakCloud. El empleo de predicciones de la concentración de determinados contaminantes puede suponer una fuente de información muy valiosa para clientes y empleados de Kunak, pudiendo prever eventos que podrán suceder en un futuro. Además, en caso de ver eventos concretos de contaminación, puede traer un avance en cuanto a las diferentes variables que se tienen en cuenta a la hora de monitorizar los equipos.

4.1.4. Leyendas

En relación con las leyendas realizadas, se pueden observar los resultados obtenidos a través de la Figura 38. Todas ellas se han realizado con el mismo código de JavaScript, por lo que se componen de los mismos tres elementos principales: a la izquierda, la escala de colores en base al estilo marcado por las capas de información desde el origen; a la izquierda, los cinco valores de corte de la concentración del contaminante atmosférico establecidos de acuerdo a las especificaciones descritas

en la metodología (véase Apartado 3.1.) y; en la parte de abajo, el nombre del contaminante atmosférico y las unidades referentes a la escala presente en la leyenda ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Además, cabe decir que las leyendas únicamente se observan si las capas de datos a las que corresponden están seleccionadas en el controlador de capas. En relación con esto, por un lado, en la parte superior de la Figura 38. se aprecian las leyendas de las predicciones a nivel global de los seis contaminantes y en la parte inferior de la Figura 38. se observan las leyendas de las predicciones a nivel europeo.



En cuanto a la inserción de las leyendas referentes a las distintas capas de pronósticos de contaminantes atmosféricos en el visor web, al igual que el controlador de capas, son herramientas muy importantes debido a que muestran el significado de los símbolos, colores y estilos utilizados para representar los datos geográficos en el mapa. En este caso, las nuevas leyendas se han generado en base a las leyendas ya presentes en el visor web de Kunak. Esto hace que, en relación con determinados contaminantes atmosféricos, la presencia de únicamente 5 cortes en la leyenda se quede un poco escaso. Además, los estilos empleados se han tenido que ajustar a las exigencias y limitaciones producidas debido al uso del servicio WMS. Este tipo de servicios puede ofrecer diferentes opciones de estilo para una misma capa de datos, pero no es posible hacer cambios sobre el estilo seleccionado, siendo un servicio poco versátil en este sentido (OGC, 2022). Para ello, se han tomado como referencia las leyendas ofrecidas en formato imagen por el propio servicio WMS de CAMS.

4.1.5. Pop up de contaminantes

El resultado obtenido en el visor web en cuanto a la creación de un pop-up con los valores de la concentración de los diferentes contaminantes se puede observar a través de las Figuras 39 y 40. Se

trata de una etiqueta sencilla de estilo “bocadillo” en la que se muestra el nombre del contaminante atmosférico, seguido del valor de la concentración en el píxel seleccionado y las unidades de medida de la concentración que serán $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en todos los casos. El pop-up comprende también una “x” en la parte superior derecha que permite ocultarlo o eliminarlo. Además, una vez se haya creado un pop-up, seleccionando otra localización en el visor web, el primero de estos desaparecerá generándose el pop-up con el valor de la concentración del último lugar seleccionado. De este modo, el pop-up variará en base a tres parámetros: el contaminante atmosférico seleccionado, la localización seleccionada y la fecha establecida.

De acuerdo con las imágenes de la Figura 39, las dos imágenes de arriba representan las predicciones globales de las concentraciones de ozono (O_3) en un mismo momento, pero se han seleccionado lugares diferentes y el pop-up generado muestra el valor del contaminante predicho en cada localización. En el caso de las imágenes de abajo, muestran las predicciones europeas de las concentraciones de material particulado de diámetro $< 10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) también en una misma fecha y hora, pero en distinta localización y el pop-up generado muestra el valor del contaminante diferentes.

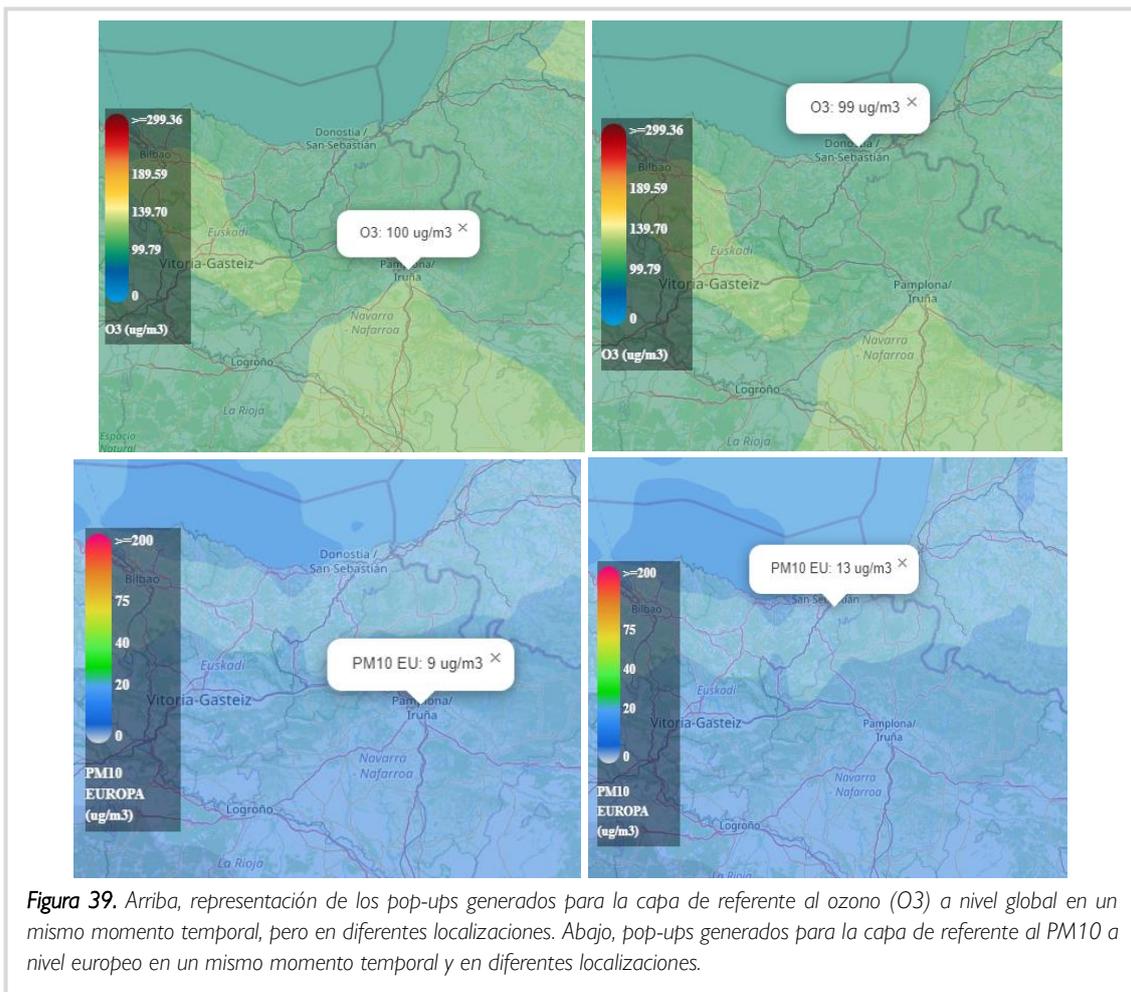
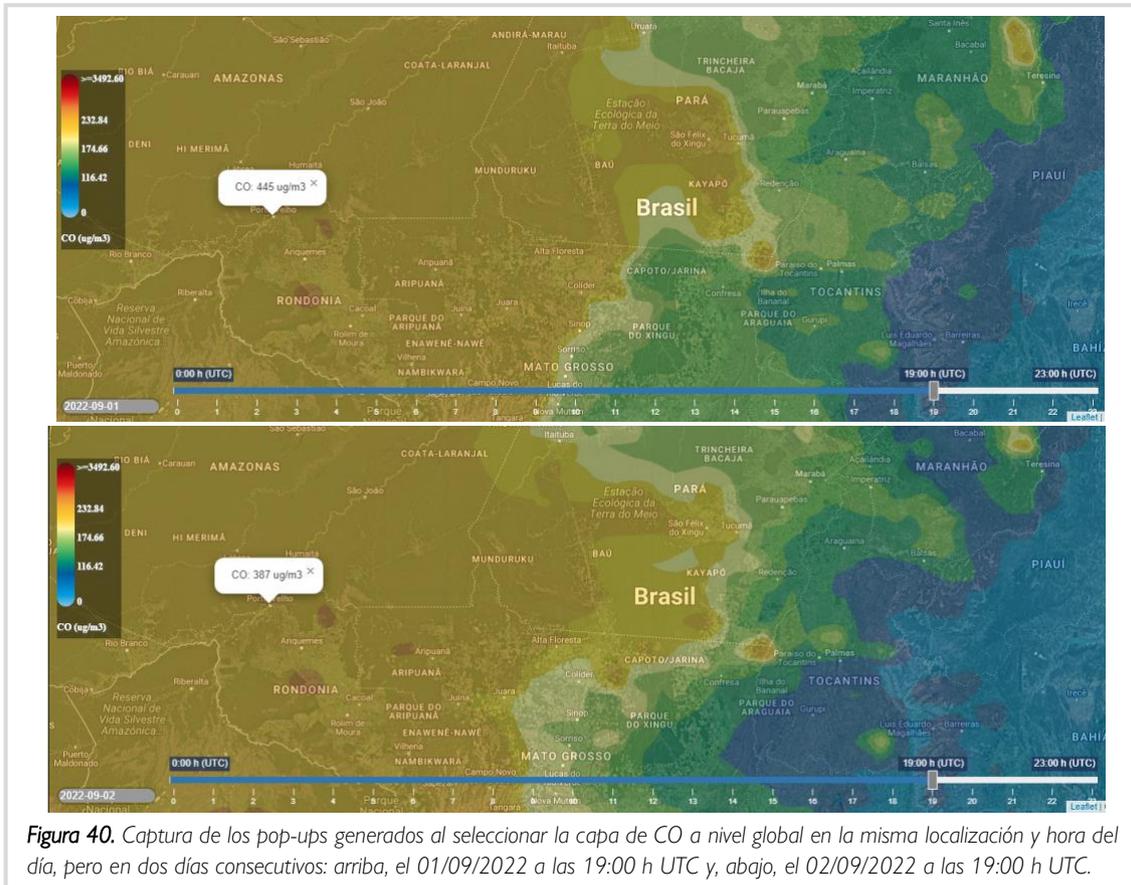


Figura 39. Arriba, representación de los pop-ups generados para la capa de referente al ozono (O_3) a nivel global en un mismo momento temporal, pero en diferentes localizaciones. Abajo, pop-ups generados para la capa de referente al PM_{10} a nivel europeo en un mismo momento temporal y en diferentes localizaciones.

En el caso de la Figura 40, se han representado las predicciones globales de las concentraciones de monóxido de carbono (CO) en una misma localización, pero se han seleccionado datos de dos días consecutivos (01/09/2022 y 02/09/2022) a la misma hora. Se puede observar cómo el valor de los pop-ups también cambia en relación con la dimensión temporal.



Por lo tanto, en relación con la inserción de la funcionalidad del pop-up se podría decir que el código de JavaScript generado para conocer los valores de concentración del contaminante atmosférico relativo a cada una de las nuevas capas de información ha resultado ser eficaz. Se ha logrado mostrar el valor de la concentración del cada compuesto en diferentes momentos y localizaciones. Además, el pop-up creado se actualiza cuando se produce un cambio alguno de estos tres parámetros. De este modo, se trata de una funcionalidad sencilla e intuitiva, pero bastante útil que está presente también en otras aplicaciones que comprenden visores web y hacen uso de capas de contaminación (Windy, por ejemplo). El hecho de que muestre el valor exacto de la concentración en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del contaminante atmosférico seleccionado, hace que sea muy provechoso en el ámbito de KunakCloud para conocer las previsiones de dichas concentraciones en un determinado punto de la interfaz y poder realizar comparaciones rápidas y fáciles respecto a los valores obtenidos a través de los sensores de Kunak distribuidos a lo largo del mundo y disponibles también en el mismo visor web. Sin embargo, esta funcionalidad se ve limitada por la resolución espacial de las capas de información, ya que muchas veces no se puede dar información muy detallada de una zona concreta del mapa.

4.1.6. Otras mejoras

4.1.6.1. Icono de información

Los resultados obtenidos de la inserción del icono de información se pueden observar a continuación mediante la Figura 41. Se ha decidido insertar una tabla en formato imagen con los parámetros o características principales de las capas de información. Se trata de un icono en el que la información está oculta, sin embargo, del mismo modo que el caso del controlador de capas, la leyenda con las características de las capas de información se despliega una vez el cursor se sitúa sobre el icono de información. Este se mantendrá desplegado mientras el cursor no se mueva del icono, ya que, una vez se desplaza de ahí, este vuelve a ocultarse mostrándose el círculo de color gris con la "i" en el centro. De esta manera, el único evento que soporta esta funcionalidad añadida es la de mostrar la información extra sobre las capas (Figura 41).



Figura 41. A la izquierda, icono de información sin desplegar creado en la parte superior derecha de la interfaz del visor web y, a la derecha, leyenda mostrada una vez se ha desplegado el icono.

Así pues, el icono de información ha sido una de las mejoras que han resultado más fáciles en relación con su desarrollo e inserción. Aun así, se trata de una herramienta muy empleada también en otros visores web de diferentes procedencias, ya que de manera sencilla ofrece una fuente de información muy valiosa, visual e instantánea, al usuario del visor (Kunakcloud en este caso). En esta ocasión se ha optado por la adición de una tabla en formato imagen, pero la leyenda generada soporta otro tipo de recursos e incluso hipervínculos que trasladen al usuario a la fuente o página web de la que se ha extraído la información expuesta.

4.2. ANÁLISIS DE ERROR ES EN LAS PREDICCIONES EUROPEAS DE CONTAMINANTES (CAM5)

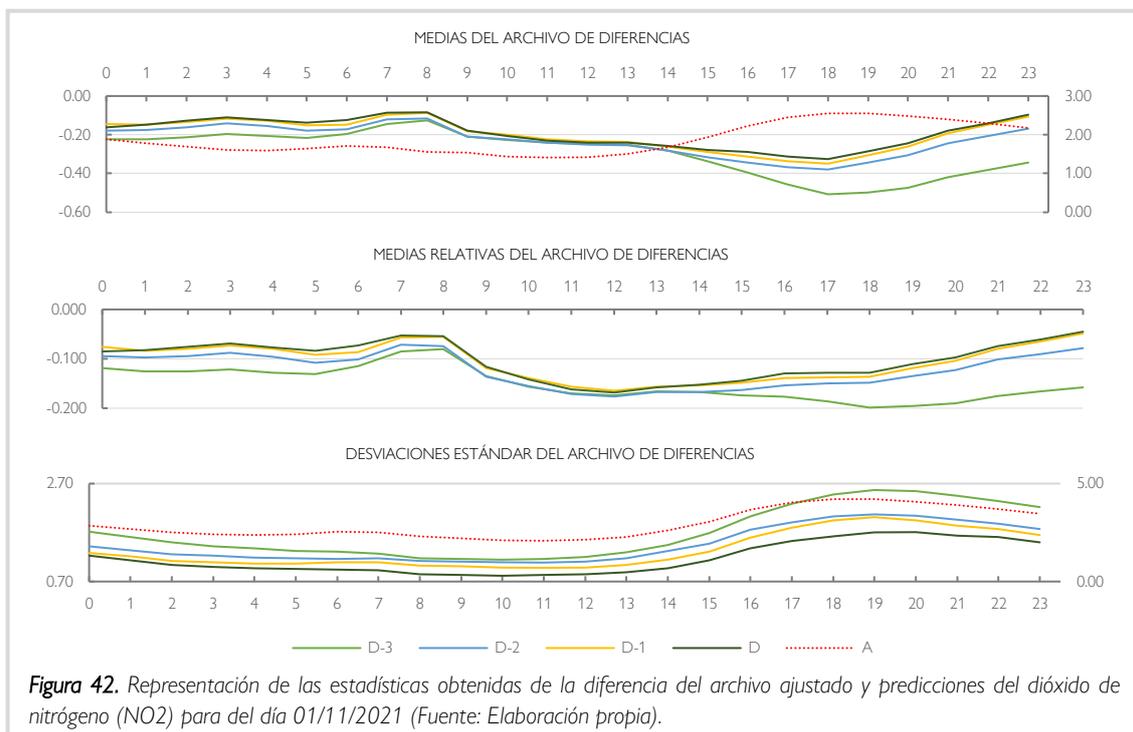
A lo largo de los siguientes apartados se pueden observar los resultados obtenidos en relación con las estadísticas de los archivos ráster obtenidos a partir del cálculo de la diferencia (D, D-1, D-2 y D-3) entre los archivos de predicciones europeos y los archivos ajustados (A) de cada una de las fechas seleccionadas (Apartado 3.2.3.). En todas las gráficas los valores del eje X corresponden a las horas del día, mientras que el eje Y responde a las concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los valores de concentración

de los resultados de los archivos de ajustados están en el eje Y secundario (derecha). En el caso de las gráficas de la media relativa, la concentración se ofrece en proporciones

4.2.1. Dióxido de nitrógeno (NO₂)

4.2.1.1. Análisis de las predicciones europeas de NO₂ en función del plazo de antelación en la predicción

En cuanto a los resultados horarios las medias de la diferencia para el dióxido de nitrógeno (NO₂) el 01/11/2021 (Figura 42), los valores más cercanos a cero se dan durante las primeras horas del día, siendo las horas en las que menos diferencias se han observado entre los datos de predicciones y los datos ajustados. Esas diferencias han ido aumentando con el paso de las horas, tendencia que se da en las cuatro fechas. Sin embargo, estas se han ido haciendo menores a medida que los pronósticos se acercan a la fecha de análisis. Así mismo, se puede ver que en los cuatro casos los valores de concentración media de la diferencia obtenida son negativos, lo que supone una subestimación de los valores de predicciones frente a los ajustados. Lo mismo ocurre en el caso de las medias relativas de la diferencia. En relación con los resultados logrados de las desviaciones estándares de la diferencia, los valores han sido más altos durante las horas finales del día y, además, dicha desviación ha sido menor a medida que se han ido actualizando las predicciones.



De acuerdo con los resultados de las medias de la diferencia cada hora el día 01/02/2022 (Figura 43), las primeras horas del día ha sido el momento con menos diferencias entre los archivos de predicciones y el ajustado, aunque han ido aumentando con el paso de las horas, volviendo a descender al final. Esto se da en los archivos de diferencias con todas las predicciones. Además, las diferencias de la media de concentraciones se van haciendo menores a medida que los pronósticos se han ido actualizando y en los cuatro casos la diferencia es negativa, lo que supone una

subestimación de la concentración de las predicciones respecto a los valores del archivo ajustado. Las mismas tendencias se observan en la gráfica de las medias relativas de la diferencia. En el caso de los resultados observados de las desviaciones estándares de la diferencia, los valores han sido más altos durante las horas finales del día, pero han sido menores a medida que se han ido actualizando las predicciones, aunque las primeras dos predicciones muestran valores bastante similares.

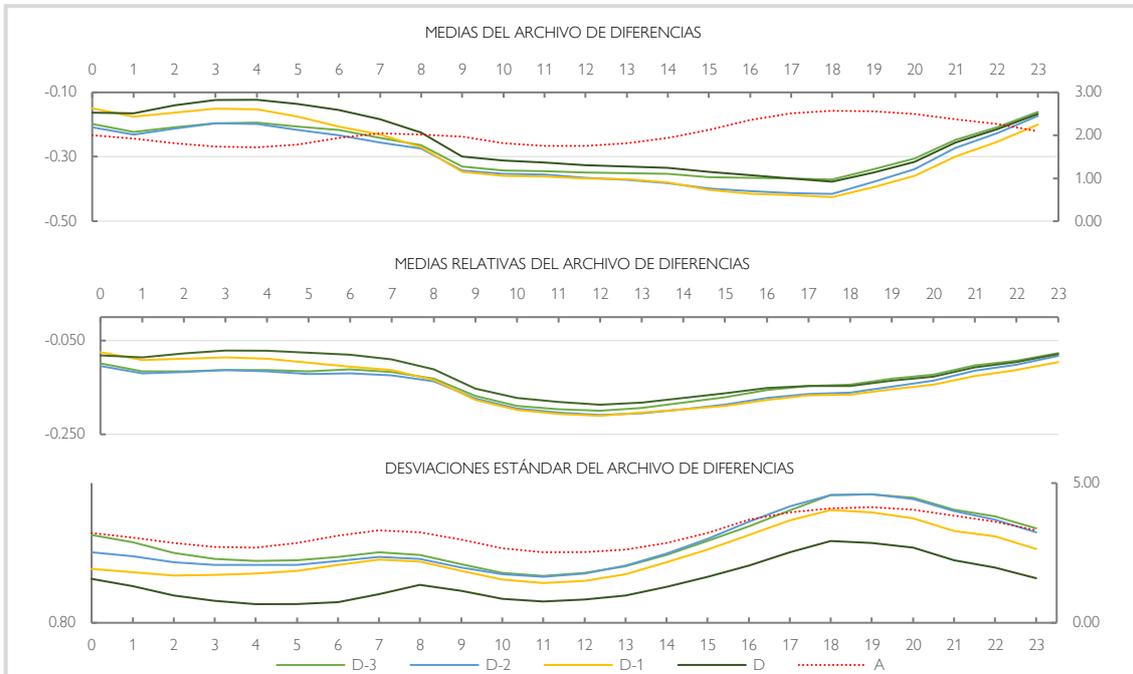


Figura 43. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia del archivo ajustado y predicciones del dióxido de nitrógeno (NO2) para del día 01/02/2022 (Fuente: Elaboración propia).

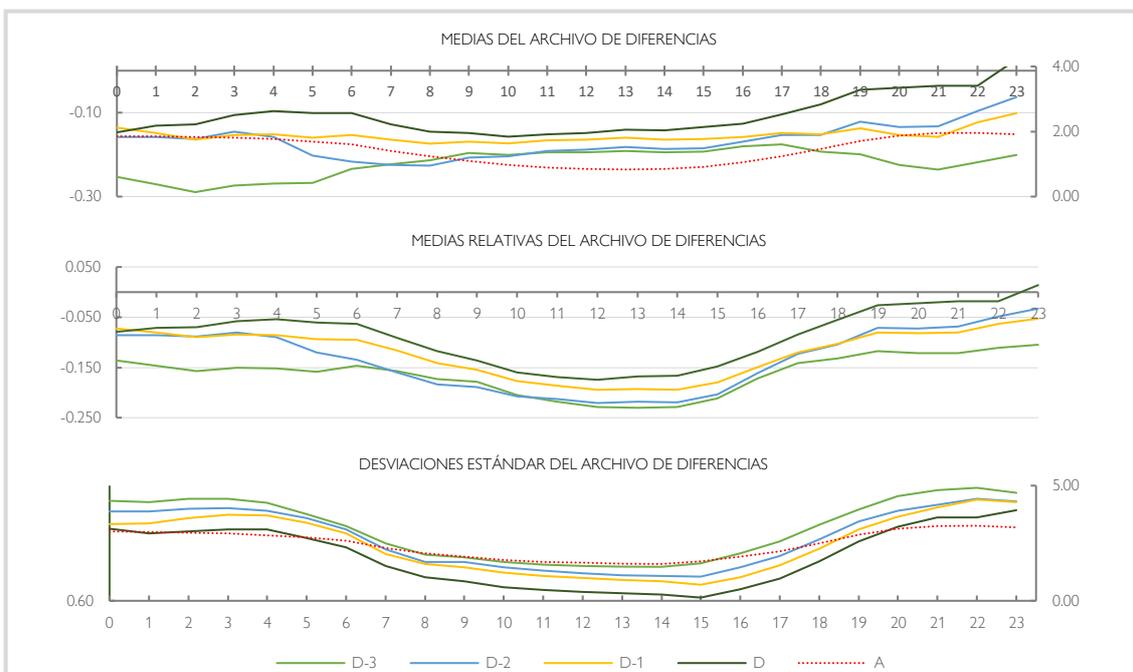


Figura 44. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia del archivo ajustado y predicciones del dióxido de nitrógeno (NO2) para del día 01/05/2022 (Fuente: Elaboración propia).

Para el 01/05/2022 los resultados se pueden ver a través de la Figura 44. Las primeras horas del día ha sido el momento en el que las medias de la diferencia entre todos los archivos de predicciones y el ajustado han sido mayores (valores más alejados de 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y esas diferencias han disminuido con el paso de las horas. Así mismo, esas diferencias se han hecho más pequeñas a medida que los pronósticos se han ido actualizando (Error: $D < D-1 < D-2 < D-3$), aunque esta tendencia no ha sido tan apreciable durante las últimas horas del día. Aun así, se aprecia que en los cuatro casos los valores obtenidos son negativos, suponiendo una subestimación de la concentración de las predicciones respecto a los del ajuste realizado posteriormente. Las tendencias observadas en la gráfica de las medias relativas de la diferencia muestran un aumento de los errores en las horas centrales del día. En cuanto a los resultados de las desviaciones estándares de la diferencia, los valores han sido más bajos durante las horas centrales del día y, además, dicha desviación ha sido menor a medida que se han ido actualizando las predicciones (Desviación estándar: $D < D-1 < D-2 < D-3$).

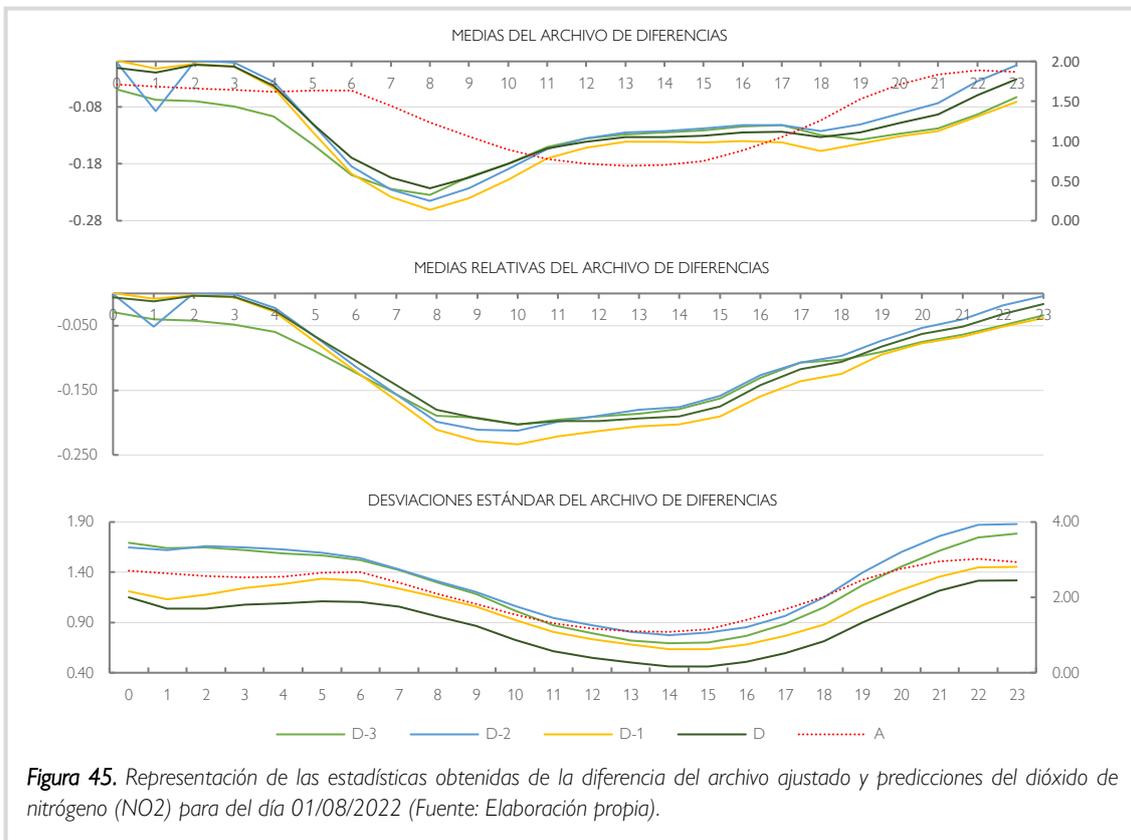


Figura 45. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia del archivo ajustado y predicciones del dióxido de nitrógeno (NO₂) para del día 01/08/2022 (Fuente: Elaboración propia).

Finalmente, de acuerdo con los resultados del 01/08/2022 (Figura 45), se observa que los valores de las medias de la diferencia de concentración entre los archivos de predicciones y el ajustado más cercanos a cero se dan durante las primeras cinco horas del día, aumentándose considerablemente posteriormente y vuelven a decrecer en las horas finales del día. Esto se da en los archivos de diferencias de todas las predicciones. No se aprecia de forma clara que las diferencias de concentraciones se vayan haciendo menores a medida que los pronósticos se han ido actualizando, pero se aprecia que los valores de la diferencia media relativa siguen las mismas tendencias. Además,

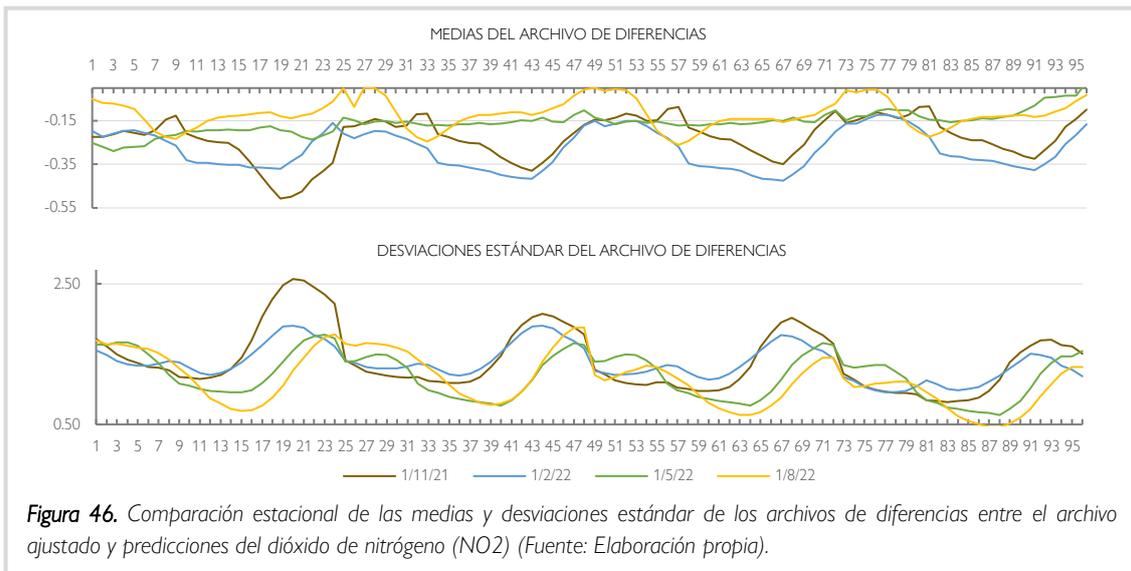
en ambos casos, la diferencia obtenida es negativa, lo que supone una subestimación de la concentración del valor de las predicciones. De acuerdo con las desviaciones estándares de la diferencia, los valores han sido inferiores a lo largo de las horas centrales del día, aumentando durante las horas iniciales y finales del día. Así mismo, dicha desviación ha sido menor a medida que se han ido actualizando las predicciones, aunque en las primeras dos predicciones no se vea tan claro (Desviación estándar: $D < D-1 < D-2 < D-3$).

Por lo tanto, de acuerdo con los resultados obtenidos de la diferencia entre las predicciones europeas y los archivos ajustados, el dióxido de nitrógeno (NO₂) se trata de un contaminante atmosférico con un origen principalmente antrópico que entra en el aire mayormente a través de la quema de combustibles (EPA, 2022), por lo que a las noches alcanza su mínima concentración y muestra dos picos de incremento de la concentración durante el día (Gvozdić et al., 2011). En este caso, aunque las diferencias obtenidas son similares a lo largo de las horas de todos los días, las medias de las diferencias han sido mayores durante las horas de luz del día y han disminuido por las noches pudiéndose explicar, como se ha visto, por la dinámica temporal que presenta este compuesto. Además, durante las noches la temperatura y la humedad son más estables, variando más durante el día, lo que podría llevar a un mayor error en las predicciones realizadas durante estas horas. Por lo general, la media horaria de las diferencias de las predicciones D y D-1 han sido inferiores a las de los pronósticos D-2 y D-3, de modo que las diferencias se han ido haciendo ligeramente más pequeñas con el paso de los días. Lo que muestra la eficacia de las actualizaciones diarias realizadas en las predicciones del NO₂. Así mismo, el aumento de la *desviación estándar de los errores* coincide con los momentos del día en los que se da el aumento en la concentración del NO₂, lo que muestra una variabilidad de las predicciones durante esas horas. Por último, destaca que en todas las fechas analizadas la diferencia apreciada ha sido negativa, lo que supone una subestimación de los valores de la concentración respecto al archivo ajustado generado a posteriori.

4.2.1.2. Análisis estacional de las predicciones europeas de NO₂

A través de la Figura 46 se puede observar los resultados de diferencias de concentración obtenidos en relación con las diferentes fechas seleccionadas, perteneciendo cada una de estas una estación distinta. Se ha generado una serie completa de las 96 horas que comprenden los cuatro días en los que se hacen las predicciones de las concentraciones de los días seleccionados.

Por un lado, en relación con la serie de las medias horarias de la diferencia, se puede apreciar que cada una de las fechas muestra patrones diarios similares durante los cuatro días. Además, las diferencias de medias relativas a los meses más calurosos (01/05/2022 y 01/08/2022) muestran valores más cercanos a 0 µg/m³, lo que representa un error inferior en las predicciones. Así mismo, cabe señalar que las diferencias van disminuyendo a medida que avanzan las horas.



De acuerdo con las series de la desviación estándar de la diferencia (Figura 46), los archivos de diferencias también muestran patrones diarios similares. Los valores más altos se dan durante las horas finales, mientras que los inferiores a lo largo de las horas centrales del día (independientemente del día). Además, la desviación estándar disminuye con el paso de las predicciones. En relación con la fecha analizada, los archivos referentes a los meses de otoño e invierno han resultado tener valores superiores, siendo el día 01/08/2022 el que ha mostrado las desviaciones más bajas a lo largo de la serie.

Tabla 8. Diferencias absolutas de las medias diarias relativas al NO₂.

Fechas	Media absoluta de diferencias (ug/m3)			
	01/11/2021	01/02/2022	01/05/2022	01/08/2022
D-3	7,01	6,75	5,29	3,11
D-2	5,53	7,22	4,02	2,62
D-1	4,78	7,02	3,69	3,10
D	4,61	6,09	2,60	2,67

Así pues, en el caso de la estacionalidad de las series temporales de las diferencias entre las predicciones y el archivo ajustado para el dióxido de nitrógeno (NO₂), se ha visto que la diferencia de las medias tanto horarias como absolutas (Tabla 8) son mayores en los meses más fríos (sobre todo en invierno). Se han observado también concentraciones de medias horarias mayores en los meses fríos en el caso de archivos ajustados del NO₂. Esto se puede deber a que la disminución de la temperatura reduce la altura de la capa límite, lo que trae consigo que la dispersión de los contaminantes se reduzca y se den mayores variaciones en las concentraciones registradas. De esta forma, la temperatura elevada de los meses de verano favorece una mayor dispersión de los gases contaminantes, provocando que se reduzcan los incrementos en el Dióxido de Nitrógeno (NO₂) (González et al., 2019) y se dé una menor variabilidad. Además, la temporada invernal es propensa a que ocurran inversiones térmicas haciendo menos favorable la dispersión de los contaminantes en el aire más cercano a la superficie terrestre generándose mayores concentraciones (Regueira et al., 2009). Esto también explicaría que sea en verano cuando menos desviación se ha registrado.

4.2.2. Dióxido de azufre (SO₂)

4.2.2.1. Análisis de las predicciones europeas de SO₂ en función del plazo de antelación en la predicción

En relación con los resultados horarios de las medias de las diferencias obtenidos para el 01/11/2021 (Figura 47), los valores más alejados de 0 µg/m³ se dan entre las 2:00-7:00 horas y a partir de las 14:00 horas. Estas serán las horas con mayor diferencia entre los archivos de predicciones y el ajustado. Esta tendencia se da en todas predicciones, aunque es menos apreciable en el caso del D-3. Además, las menores diferencias se han dado en la última predicción (D), siendo similares en el resto. Los valores de concentración media de la diferencia obtenida son negativos en todos los casos, suponiendo una subestimación de los valores de predicciones. Esto se puede observar de manera más clara en la gráfica que representa la diferencia relativa de las medias. Los resultados de las desviaciones estándares de la diferencia muestran que esta ha sido mayor durante las horas finales del día y, además, ha disminuido a medida que se han ido actualizando las predicciones (Desviación estándar: D < D-1 < D-2 < D-3).

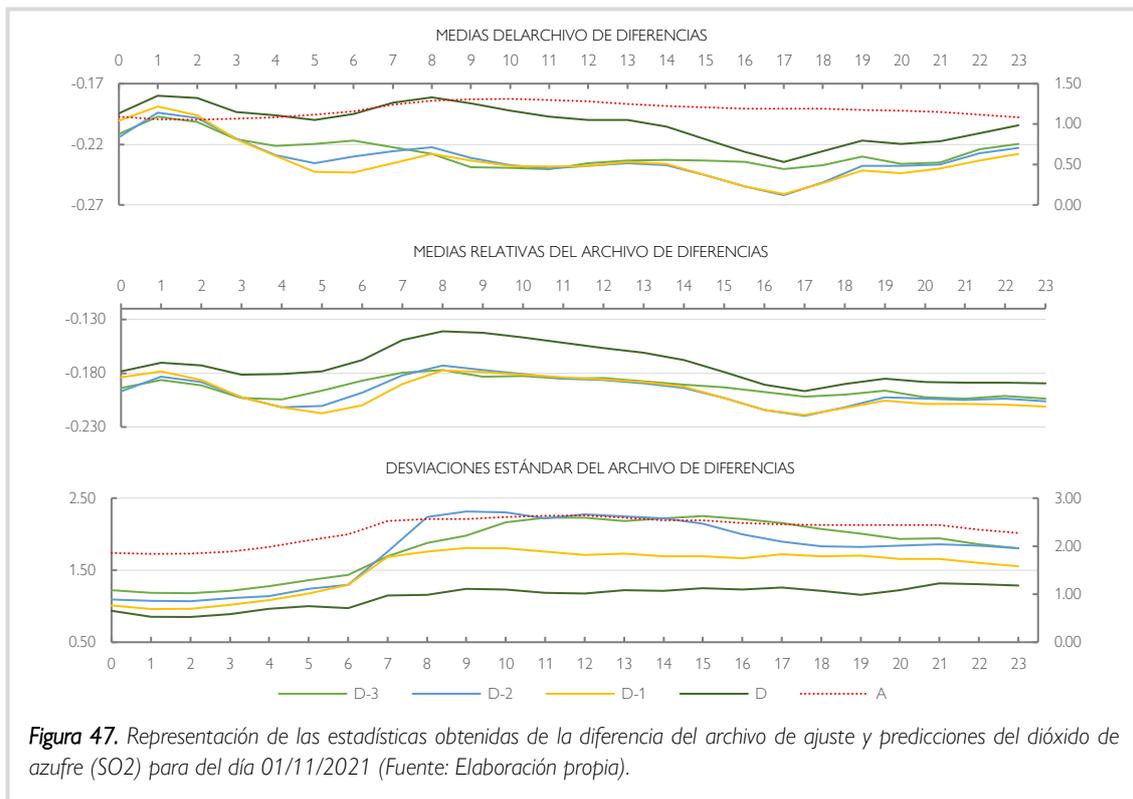
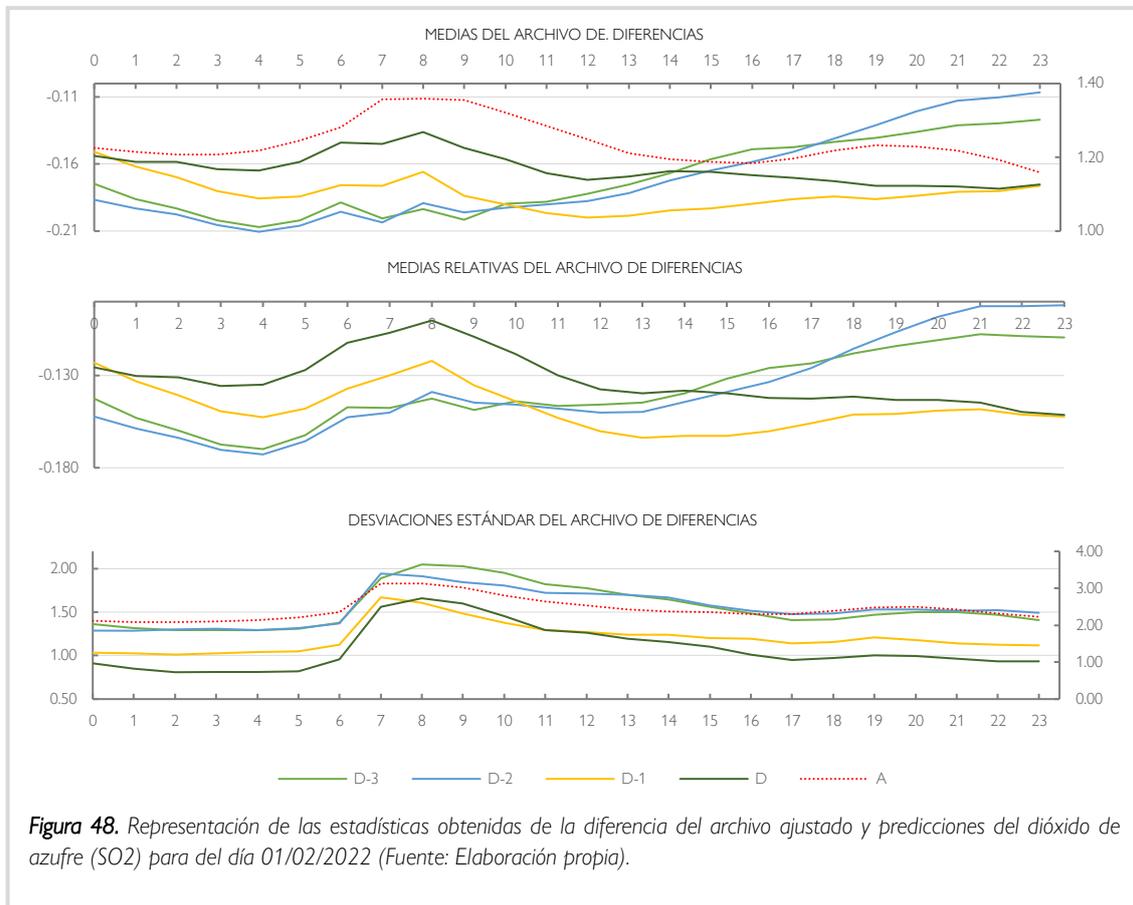


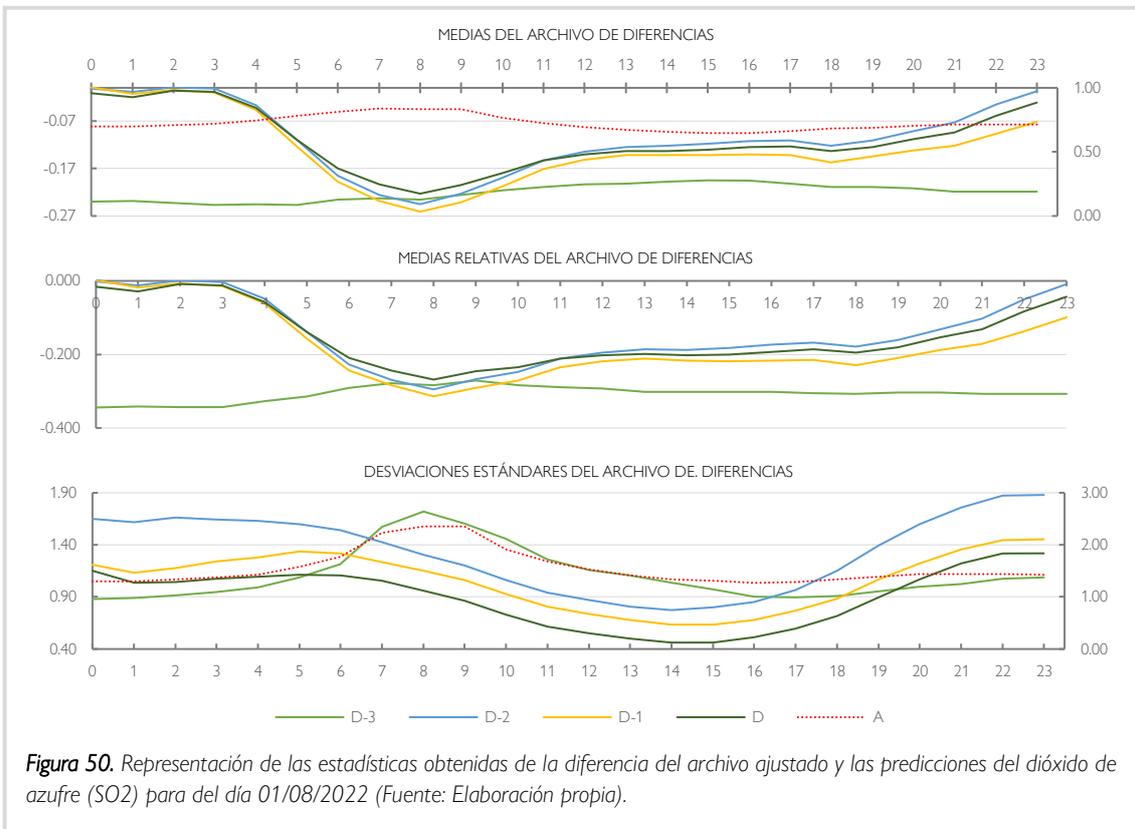
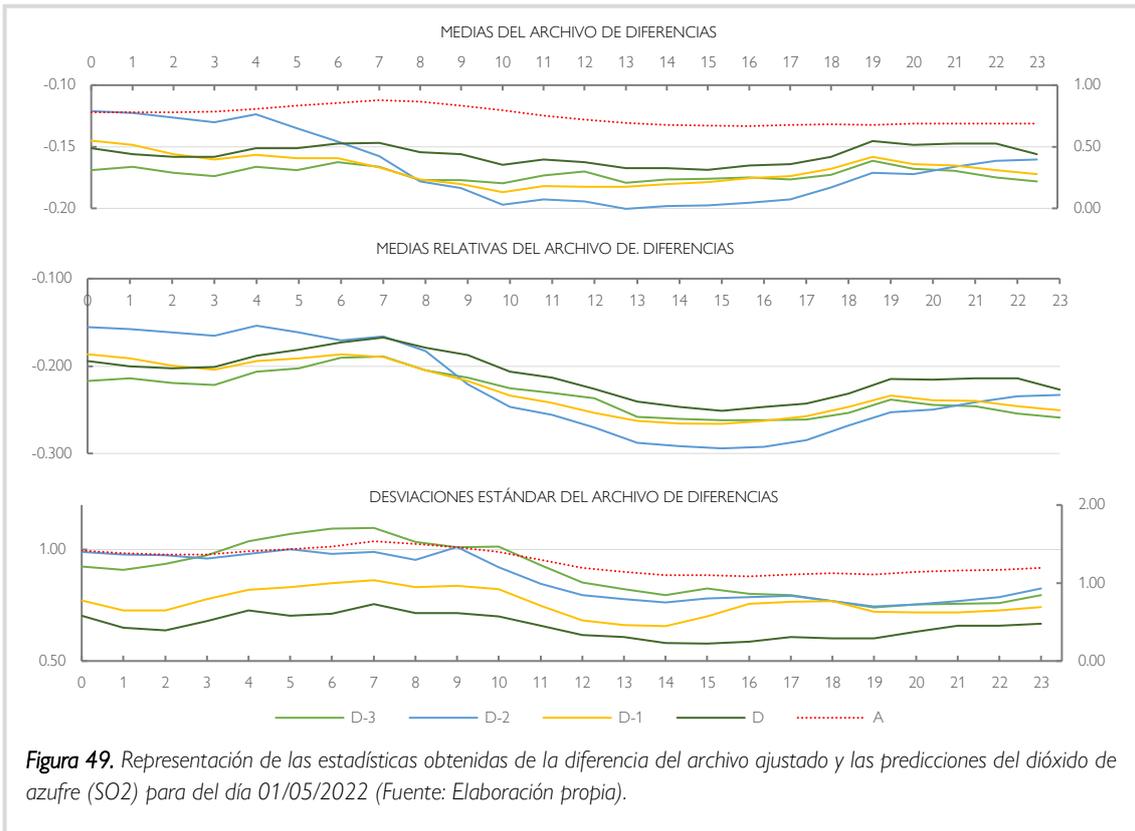
Figura 47. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia del archivo de ajuste y predicciones del dióxido de azufre (SO₂) para del día 01/11/2021 (Fuente: Elaboración propia).

Para el día 01/02/2022 los resultados de las medias de la diferencia cada hora (Figura 48) se muestran dispares entre las diferentes predicciones. Por un lado, en los primeros dos análisis (D-3 y D-2) se ve que los valores más cercanos a cero se dan durante las horas finales del día, mientras que en los otros dos (D-1 y D) se dan a la mañana. Por lo tanto, no se aprecia que las diferencias de las concentraciones medias se vayan haciendo menores a medida que los pronósticos se han ido actualizando (solo ocurre en las horas iniciales del día). Aun así, los valores de concentración media de la diferencia obtenida son negativos en todos los casos. Estas mismas tendencias se observan en

la gráfica de las medias relativas de la diferencia. En el caso de los resultados de las desviaciones estándares de la diferencia, los valores aumentan a partir de las 6:00 horas en todos los casos, dándose posteriormente un leve descenso. Además, la desviación ha sido menor a medida que se han ido actualizando las predicciones, aunque las primeras dos predicciones muestran valores bastante similares (Desviación estándar: $D < D-1 < D-2 < D-3$).



Los resultados del 01/05/2022 se pueden ver a través de la Figura 49. En los cuatro casos, las primeras horas del día han sido el momento en el que las medias de las diferencias entre los archivos de predicciones y el ajustado han sido menores, aunque han aumentado con el paso de las horas y han descendido nuevamente durante las últimas horas del día. Por lo general, las diferencias de concentraciones medias no se han hecho más pequeñas a medida que los pronósticos se han ido actualizando, aunque a partir de la mañana, las diferencias entre las predicciones D y los análisis han sido las más cercanas a 0 µg/m³ (véase Figura 49). Aun así, todos los valores de concentración media de la diferencia obtenida son negativos. Esto supone que las concentraciones de las predicciones se han subestimado respecto a los valores del archivo ajustado. Las tendencias observadas en la gráfica de las medias relativas de la diferencia se muestran similares. En relación con los resultados de las desviaciones estándares de la diferencia, los valores han sido más bajos durante las horas finales del día y, además, dicha desviación ha sido menor a medida que se han ido actualizando las predicciones (Desviación estándar: $D < D-1 < D-2 < D-3$).



Por último, de acuerdo con los resultados del 01/08/2022 (Figura 50), los valores de concentración de las medias de la diferencia más cercanos a cero se dan durante las horas iniciales del día,

aumentándose el error hasta las 8:00 horas. A partir de ahí se observa un descenso progresivo del error nuevamente. Esta tendencia no se observa en el caso de los resultados obtenidos para D-3, que muestra un error superior al resto de las series y se mantiene durante todo el día. También se aprecia que las diferencias de concentraciones se van haciendo menores a medida que los pronósticos se han ido actualizando. La diferencia relativa de las medias sigue las mismas tendencias. Además, en ambos casos, la diferencia obtenida es negativa, lo que supone una subestimación de la concentración de las predicciones. De acuerdo con las desviaciones estándares de la diferencia, los valores han sido inferiores a lo largo de las horas centrales del día, aumentando durante las horas iniciales y finales. Así mismo, dicha desviación ha sido menor a medida que se han ido actualizando las predicciones, aunque observando las primeras dos predicciones no se vea tan claro (Desviación estándar: $D < D-1 < D-2 < D-3$). Como en el caso de las medias, la tendencia observada en D-3 ha sido completamente diferente.

Por lo tanto, respecto a los resultados obtenidos de la diferencia entre las predicciones europeas y los archivos ajustados, el dióxido de azufre (SO₂), al igual que el NO₂, es generado principalmente a través de procesos antrópicos (Hoque et al., 2020). Sin embargo, la tendencia horaria del contaminante muestra normalmente un pico en su concentración a la largo del día, posterior al primer pico de NO₂ y más prolongado en el tiempo (Liu et al., 2022). En este caso, los valores de los archivos ajustados no acaban de mostrar lo comentado anteriormente y, aunque las medias de la diferencia obtenidas son similares a lo largo del día, sí que han variado a lo largo del día. Además, tampoco se observa que la media de las diferencias ha disminuido con la actualización de las predicciones. Así mismo, los valores de las predicciones se han subestimado en todas las fechas. Por último, la desviación estándar de los errores ha mostrado cierta variabilidad, pero se observa que los valores de diferencias se han reducido a medida que se han ido actualizando las predicciones.

4.2.2.2. Análisis estacional de las predicciones europeas de SO₂

La Figura 51 muestra la comparación de los archivos de diferencias de concentración obtenidos de en relación con las diferentes fechas seleccionadas. Por un lado, la serie de las medias de la diferencia deja ver patrones diarios similares para cada una de las fechas, pero no se llegan a apreciar claramente. Así mismo, las medias relativas al día 01/08/2022 alcanzan los valores más cercanos a 0 µg/m³ en las primeras horas del día (también en el resto de las fechas), lo que representa un error inferior en las predicciones respecto al archivo ajustado. Los valores con mayor error corresponden a los datos del día 01/11/2021. Así mismo, existe una tendencia de disminución de las diferencias a medida que avanzan los días dentro de una serie.

Por otro lado, las series de la desviación estándar de las diferencias han mostrado patrones diarios similares, aunque esta tendencia es menos apreciable en el caso de los valores del 01/05/2022. Los valores más cercanos a 0 se dan en la séptima hora de cada día, dándose un descenso leve pero continuado hasta las horas finales del día. Sin embargo, esta tendencia no se observa en el día 01/08/2022, que muestra una desviación mayor en las horas centrales con dos picos más cercanos a 0 en las horas iniciales y finales del día. Si se aprecia es una tendencia descendente la desviación

estándar de las series. En relación con la fecha de las series, los archivos referentes a los meses de otoño e invierno han resultado tener valores superiores, siendo el día 01/05/2022 el que ha mostrado desviaciones más bajas a lo largo de la serie.

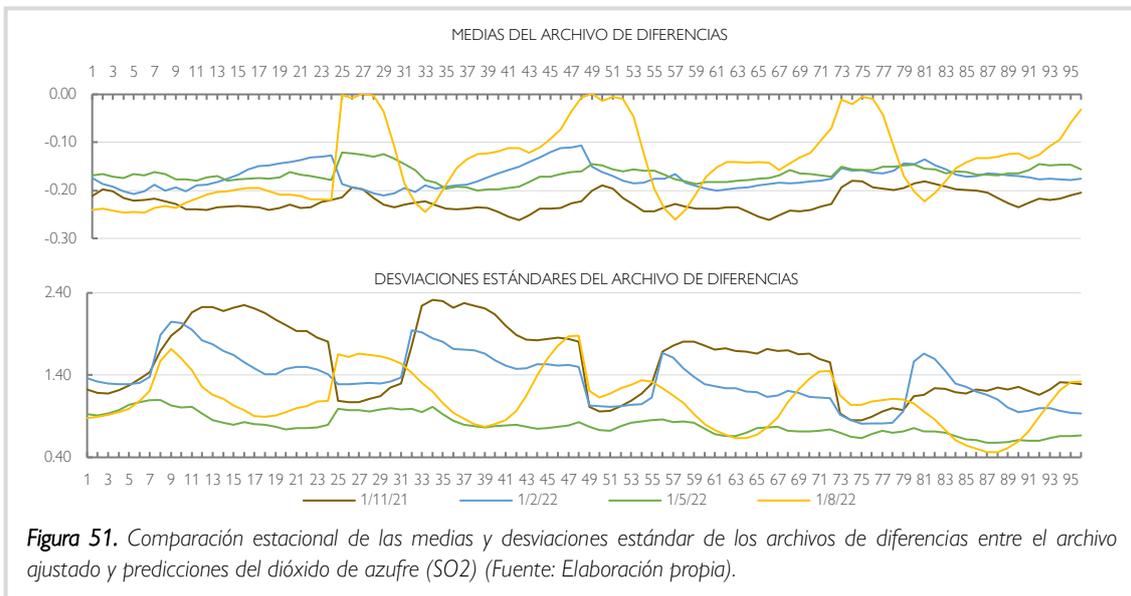


Figura 51. Comparación estacional de las medias y desviaciones estándar de los archivos de diferencias entre el archivo ajustado y predicciones del dióxido de azufre (SO₂) (Fuente: Elaboración propia).

Tabla 9. Diferencias absolutas de las medias diarias relativas al SO₂.

Fechas	Media absoluta de diferencias (ug/m3)			
	01/11/2021	01/02/2022	01/05/2022	01/08/2022
D-3	5,45	4,11	4,13	5,30
D-2	5,56	4,10	4,00	2,54
D-1	5,60	4,37	4,05	3,10
D	4,86	3,92	3,75	2,67

Así pues, en el caso de la estacionalidad de las series temporales de las diferencias entre las predicciones y el archivo ajustado para el dióxido de azufre (SO₂), se ha visto que la diferencia de las medias tanto horarias como absolutas (Tabla 9) son mayores en los meses más fríos (sobre todo en invierno). Se han observado también concentraciones de medias horarias mayores en los meses fríos en el caso de archivos ajustados del SO₂. En otros estudios también se detectan estas tendencias de concentraciones (Liu et al., 2022) y esto se puede deber, tal y como se ha comentado en el caso anterior, a que la disminución de la temperatura limita la dispersión de los contaminantes y se den mayores concentraciones. Esto también explicaría que sea en los meses fríos cuando más desviación se ha registrado. Sin embargo, en verano se ha dado la mayor variabilidad en los valores de las medias de la diferencia.

4.2.3. Monóxido de carbono (CO)

4.2.3.1. Análisis de las predicciones europeas de CO en función del plazo de antelación en la predicción

De acuerdo con los resultados horarios obtenidos en relación con las medias de la diferencia para el monóxido de carbono (CO) el 01/11/2021 (Figura 52), los valores más cercanos a 0 µg/m³ se dan en las horas centrales y finales del día, siendo las iniciales en las que mayores diferencias se han

observado. Esta tendencia se da para las cuatro predicciones disponibles. Las menores diferencias se han dado en el caso de la última predicción (D), aumentando a medida que la fecha de realización de las predicciones fue anterior (Error: $D < D-1 < D-2 < D-3$). Así mismo, se aprecia que la diferencia de los archivos comparados es negativa, lo que supone una subestimación de los valores de las predicciones respecto a los archivos ajustados. Lo mismo se ve en la gráfica que representa la diferencia relativa de las medias. Los resultados registrados de las desviaciones estándares de la diferencia muestran que estos valores han sido mayores durante las horas iniciales y finales del día, y los valores más cercanos a $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se han dado en la parte central del día. Además, estas diferencias han disminuido a medida que se han ido actualizando las predicciones.

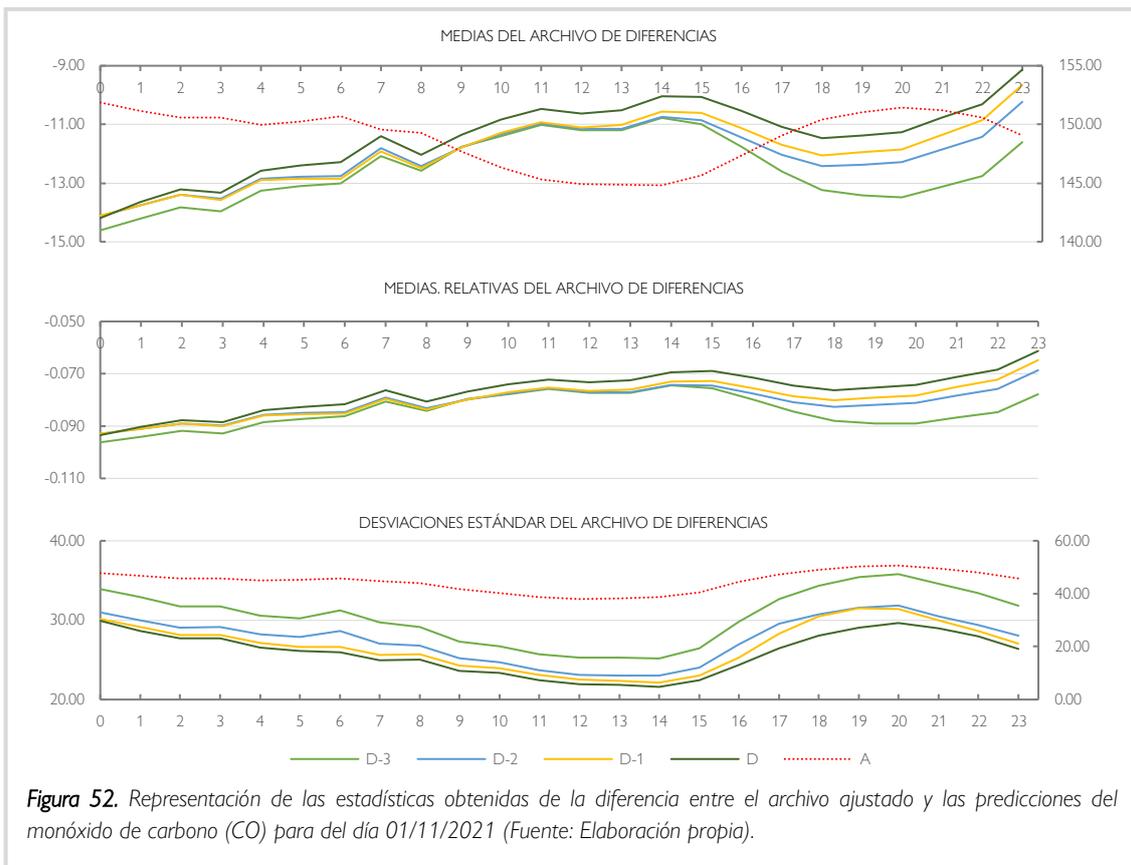
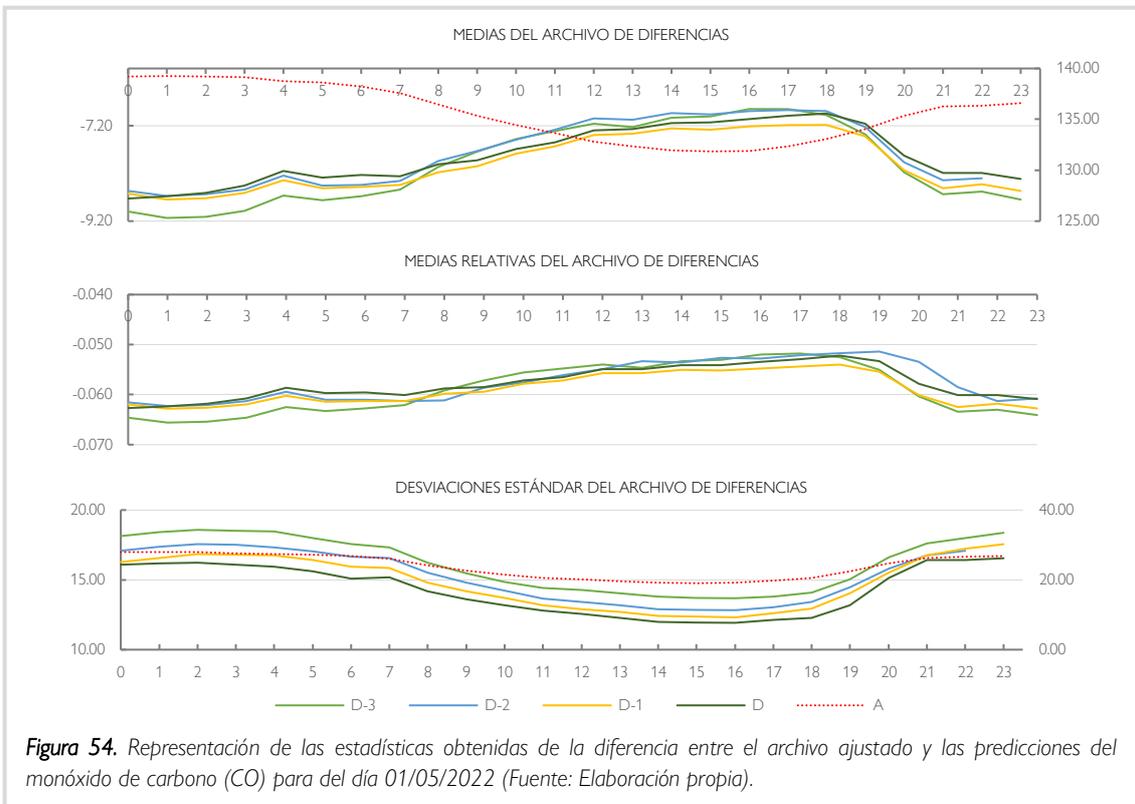
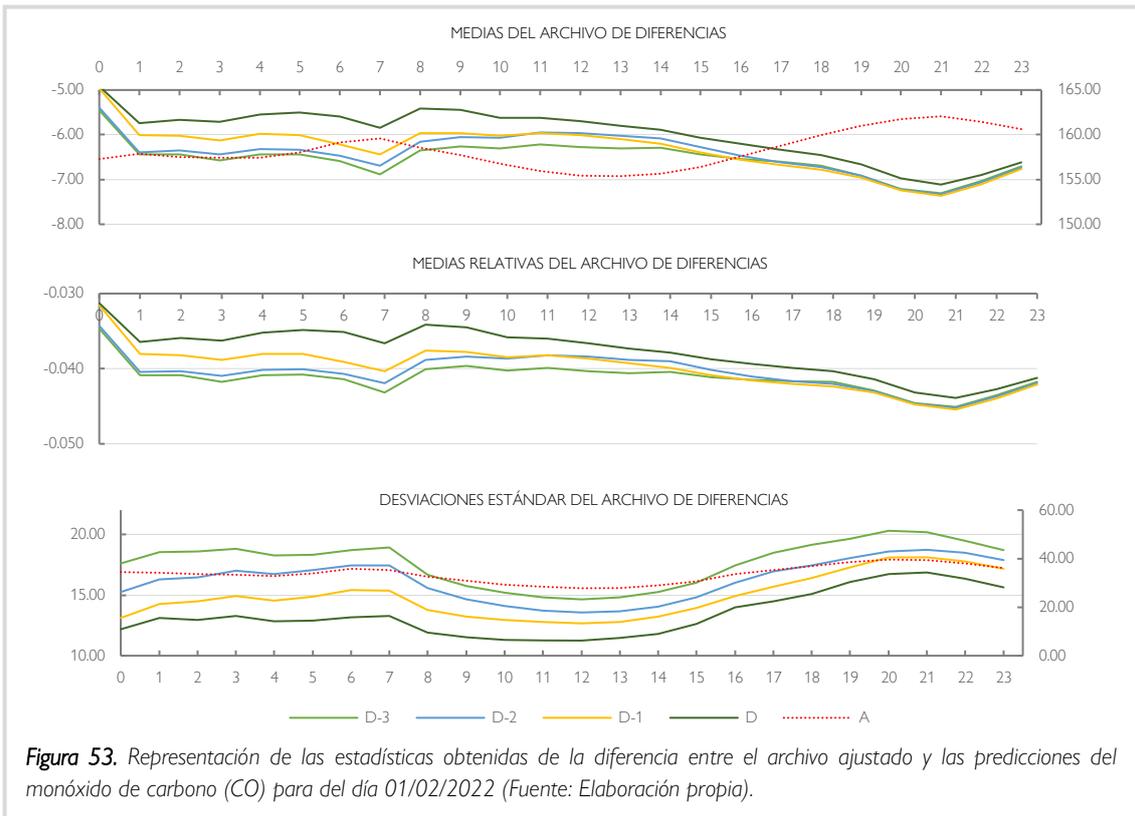


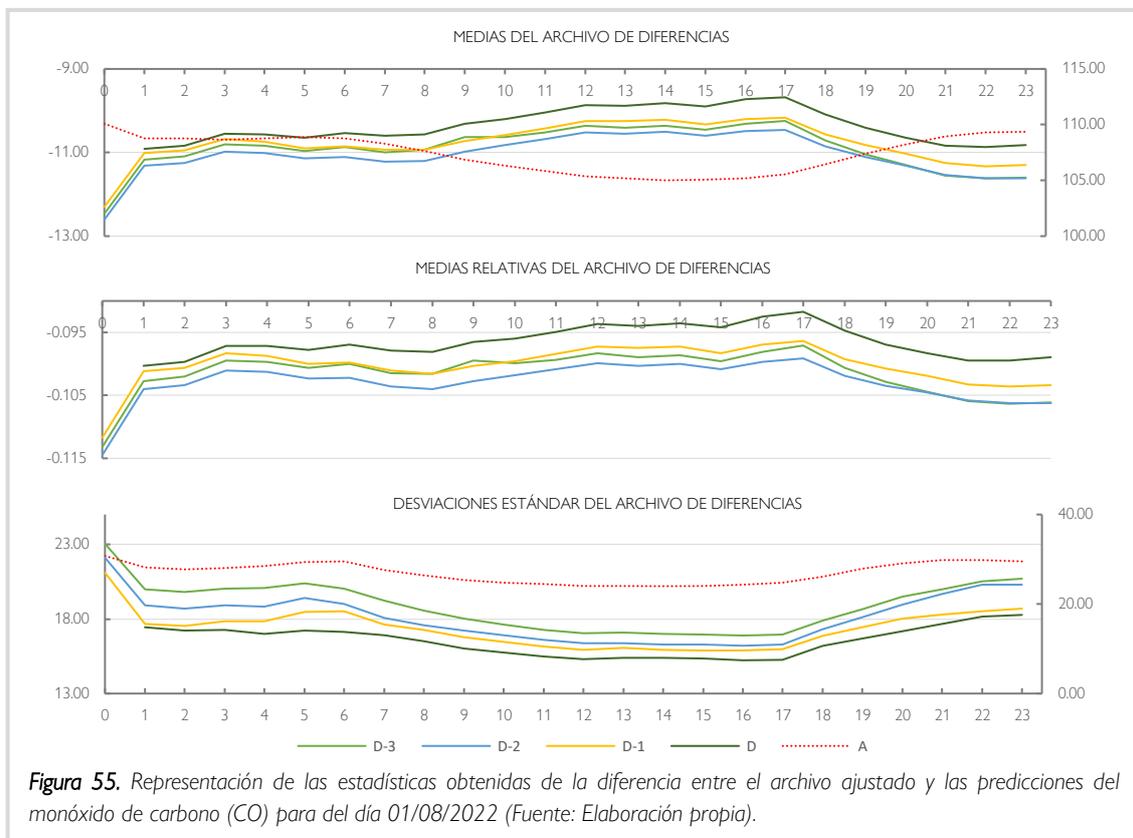
Figura 52. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia entre el archivo ajustado y las predicciones del monóxido de carbono (CO) para del día 01/11/2021 (Fuente: Elaboración propia).

El 01/02/2022 los resultados de las medias de la diferencia cada hora (Figura 53) muestran unos valores de diferencias de las medias más cercanos a $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante las primeras horas del día, siendo las horas con menos errores entre los archivos del análisis, aunque las diferencias han ido aumentando con el paso de las horas. Esta tendencia se observa para las cuatro predicciones. Además, las diferencias de concentraciones se van haciendo menores a medida que los pronósticos se han ido actualizando (Error: $D < D-1 < D-2 < D-3$), aunque esto se aprecia menos en las horas finales del día. En cualquier caso, los valores de concentración media de la diferencia obtenida son negativos. Las mismas tendencias se observan en la gráfica de las medias relativas de la diferencia. En el caso de las desviaciones estándares de la diferencia, los valores de desviación estándar de la concentración han sido más altos durante las horas iniciales y finales del día y, además, dicha desviación ha sido menor a medida que se han ido actualizando las predicciones (Desviación estándar: $D < D-1 < D-2 < D-3$).



Los resultados de las medias de la diferencia del 01/05/2022 se pueden ver a través de la Figura 54. En los cuatro casos, las horas iniciales y finales del día han sido el momento en el que las diferencias

entre los archivos de predicciones y el archivo ajustado han sido mayores. Los valores de diferencias más cercanos a $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se han registrado entre las 12:00 y 19:00 horas. Además, los valores de las diferencias de entre los distintos pronósticos han sido muy similares en los cuatros casos, no habiendo una clara mejora a medida que han ido transcurriendo los días (sobre todo en la parte central del día). Aun así, todos los valores de concentración media de la diferencia obtenida son negativos. Esto supone que las concentraciones de las predicciones se han subestimado respecto a los valores del archivo ajustado. Las tendencias de las medias relativas de la diferencia se muestran muy parecidas. Los resultados obtenidos de las desviaciones estándares de la diferencia muestran que los valores han sido más bajos durante las horas centrales del día y, además, dicha desviación ha sido menor a medida que se han ido actualizando las predicciones (Desviación estándar: $D < D-1 < D-2 < D-3$).



Finalmente, en relación con los resultados del 01/08/2022 (Figura 55), por un lado, se observa que los valores de concentración de las medias de la diferencia son más cercanos a $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se dan entre las 12:00 y 17:00 horas. También se aprecia que las diferencias de concentraciones han sido mayores a medida que los pronósticos se han ido actualizando. La diferencia relativa de las medias sigue las mismas tendencias. Así mismo, en ambos casos, la diferencia obtenida se encuentra por debajo de los $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, suponiendo una subestimación de la concentración de las predicciones frente a los valores del archivo ajustado. Por otro lado, de acuerdo con las desviaciones estándares de la diferencia, al igual que en el caso de las medias de la diferencia, los valores han sido inferiores entre las 12:00 y 17:00 horas, aumentando durante las horas iniciales y finales. La desviación ha sido menor a medida que se han ido actualizando las predicciones (Desviación estándar: $D < D-1 < D-2 < D-3$).

Por lo tanto, de acuerdo con los resultados obtenidos de la diferencia entre las predicciones europeas y los archivos ajustados, el carbono monóxido (CO) se trata de un contaminante atmosférico que se crea a partir de la combustión de biomasa (incendios forestales, uso de biocombustibles y quema de desechos) y la combustión de combustibles fósiles (relacionados con la energía, el calentamiento, el transporte de vehículos) (Rajab et al., 2013). Además, se produce por reacciones químicas en la atmósfera entre otros con el ozono (O₃) entre otros (Rozante et al., 2017). Esto genera que normalmente se den dos picos en su concentración a lo largo del día, uno a la mañana y otro a la tarde (Clements et al., 2016). En este caso, los resultados obtenidos muestran esta tendencia de forma más clara en el caso de las fechas más frías (Figuras 52 y 53). Así mismo, se ve que los errores registrados son mayores que en el resto de los contaminantes, pero se debe a que se trata de un contaminante con concentraciones durante el día bastante superiores a las de los compuestos mencionados anteriormente, ya que si observamos las medias relativas de la diferencia los valores calculados son inferiores a los registrados en el caso del NO₂ y el SO₂. La desviación estándar de los errores ha sido muy similar a lo largo de las horas del día, pero se ha hecho mayor durante los picos de aumento de la concentración del CO debido al aumento de la variabilidad. Aun así, las desviaciones se han reducido con el paso de los días, lo que muestra la eficacia de las actualizaciones en las predicciones. Por último, destaca que en todas las fechas analizadas la diferencia apreciada ha sido negativa, lo que supone una subestimación de los valores de la concentración respecto al archivo ajustado generado a posteriori.

4.2.3.2. Análisis estacional de las predicciones europeas de CO

Los resultados obtenidos se pueden observar a través de la Figura 56. De acuerdo con las series de las medias de las diferencias representadas, se muestran patrones diarios similares para cada una de las fechas. Se observa también que las diferencias relativas a la primera mitad del año (01/02/2022 y 01/05/2022) contienen valores más cercanos a 0 µg/m³. Además, esa menor diferencia se ha obtenido en diferentes momentos del día, siendo en las horas centrales del día a lo largo de la serie en los días 01/05/2022 y 01/08/2022. En el caso de las otras dos fechas, se aprecia un pico inicial cada día y, posteriormente, el 01/11/2021 se aprecia un descenso continuado hasta las horas finales, mientras que el 01/08/2022 se observa un ascenso. Así mismo, los valores más bajos corresponden al día 01/11/2021, correspondiendo con un mayor error de las predicciones respecto a los datos ajustados. Así mismo, existe una tendencia de disminución de las diferencias a medida que avanzan los días dentro de una serie.

En cuanto a las series de la desviación estándar de las diferencias, los archivos de diferencias generados muestran patrones diarios similares en todas las fechas. Además, en todos los casos se da un aumento de los valores durante las horas finales del día y existe tendencia descendente en las series, por lo que la desviación estándar disminuye con las predicciones realizadas con el paso de días. De acuerdo con la fecha de las series, los archivos referentes al día 01/11/2021 son considerablemente superiores a los valores del resto de las fechas a lo largo de la serie.

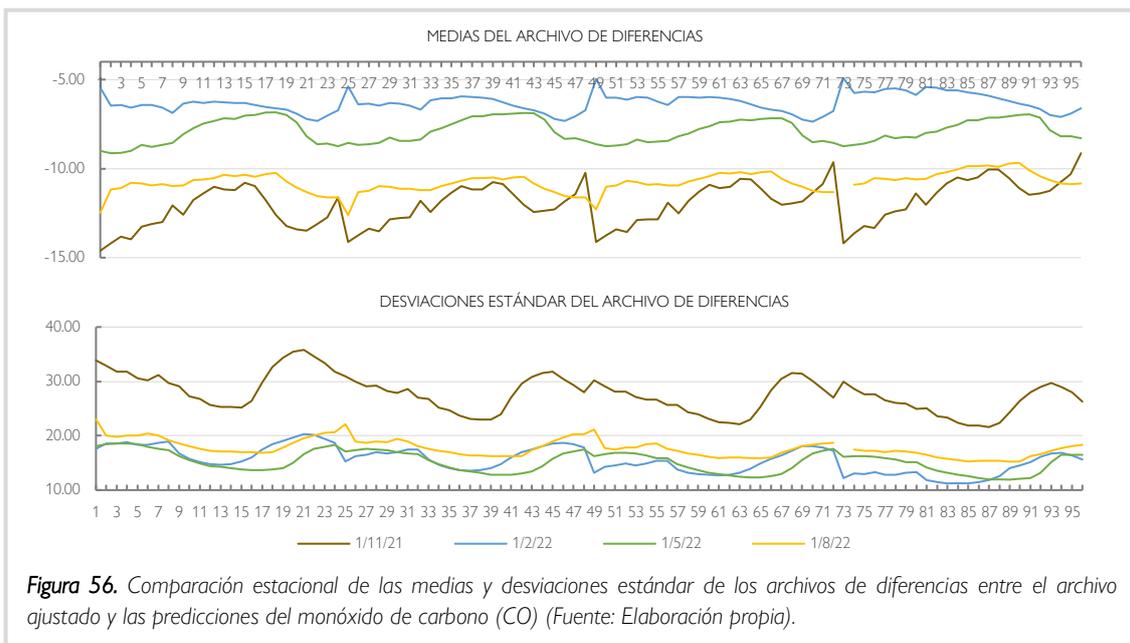


Figura 56. Comparación estacional de las medias y desviaciones estándar de los archivos de diferencias entre el archivo ajustado y las predicciones del monóxido de carbono (CO) (Fuente: Elaboración propia).

Tabla 10. Diferencias absolutas de las medias diarias relativas al CO.

Fechas	Media absoluta de diferencias (ug/m3)			
	01/11/2021	01/02/2022	01/05/2022	01/08/2022
D-3	300,98	156,73	192,12	261,88
D-2	289,46	154,04	178,90	265,46
D-1	285,66	151,82	192,09	258,72
D	274,94	143,32	188,07	238,32

Así pues, en el caso de la estacionalidad de las series temporales de las diferencias entre las predicciones y el archivo ajustado para el monóxido de carbono (CO), como afirman diferentes autores como Liu et al. (2019), las concentraciones más altas de este contaminante atmosférico ocurren durante el invierno, mientras que los menores valores se dan en verano. Esto se puede observar también en el caso de los resultados de las concentraciones de los archivos ajustados. Sin embargo, como se puede observar a través de la Figura 56 y la Tabla 10, el otoño ha sido el momento en el que se ha registrado más variabilidad.

4.2.4. Ozono (O3)

4.2.4.1. Análisis de las predicciones europeas de O3 en función del plazo de antelación en la predicción

Los resultados horarios de las medias de la diferencia para el 01/11/2021 se observan a través de la Figura 57 y los valores más alejados a 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se han repartido en dos picos a lo largo del día, uno de 7:00-13:00 horas y el otro de 16:00-22:00 horas. Por lo tanto, en esos rangos horarios se han observado los mayores errores entre los rásteres de predicciones y el archivo ajustado. Esta tendencia se aprecia en los archivos de las cuatro predicciones. Además, las diferencias han sido mayores en la primera predicción (D-3) y muy similares en el resto. Así mismo, se aprecia que la diferencia de los archivos comparados es positiva ($>0 \mu\text{g}/\text{m}^3$), lo que supone una sobreestimación de los valores de las predicciones respecto a los valores del archivo ajustado. Lo mismo se ve en la gráfica que representa la diferencia relativa de las medias. Los resultados de las desviaciones

estándares de la diferencia registran que la concentración ha sido muy parecida a lo largo de todas las horas del día, pero se aprecia que han disminuido a medida que se han ido actualizando las predicciones (Desviación estándar: $D < D-1 < D-2 < D-3$).

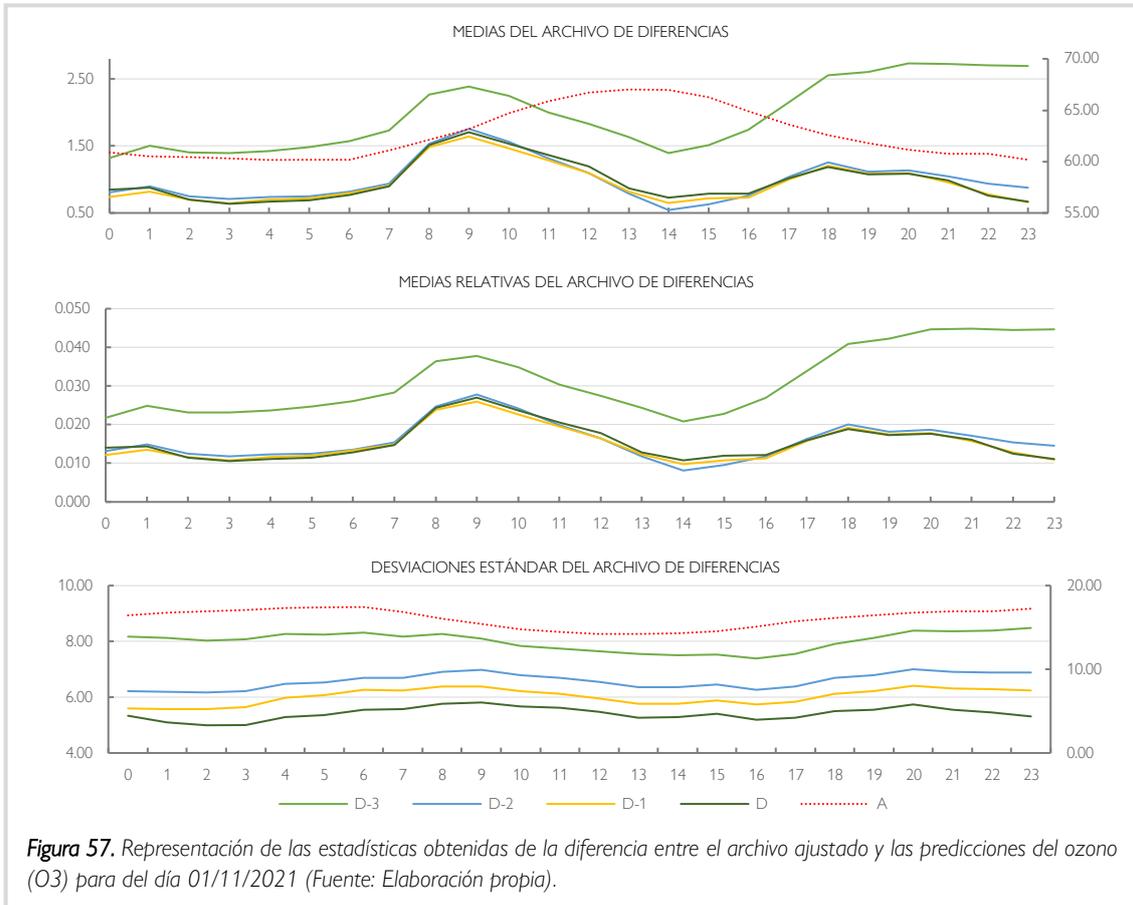
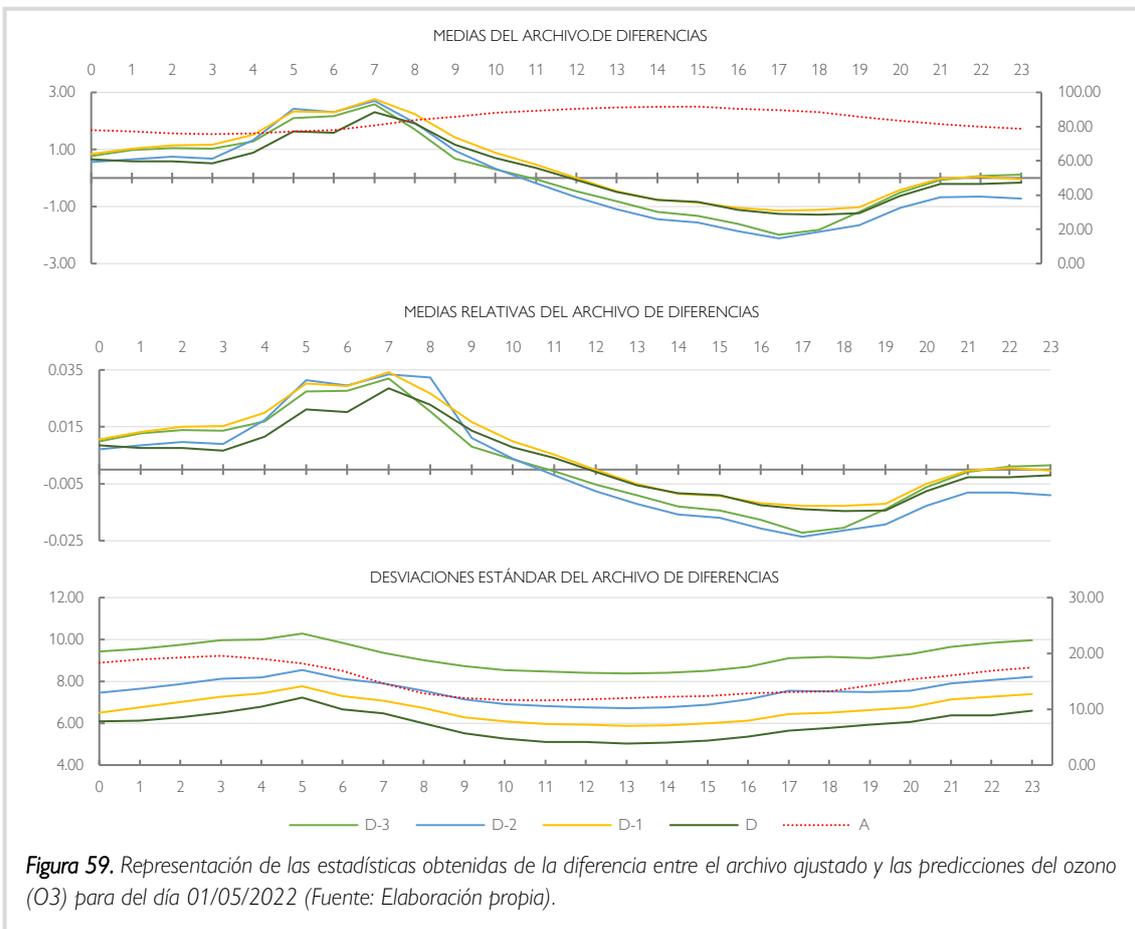
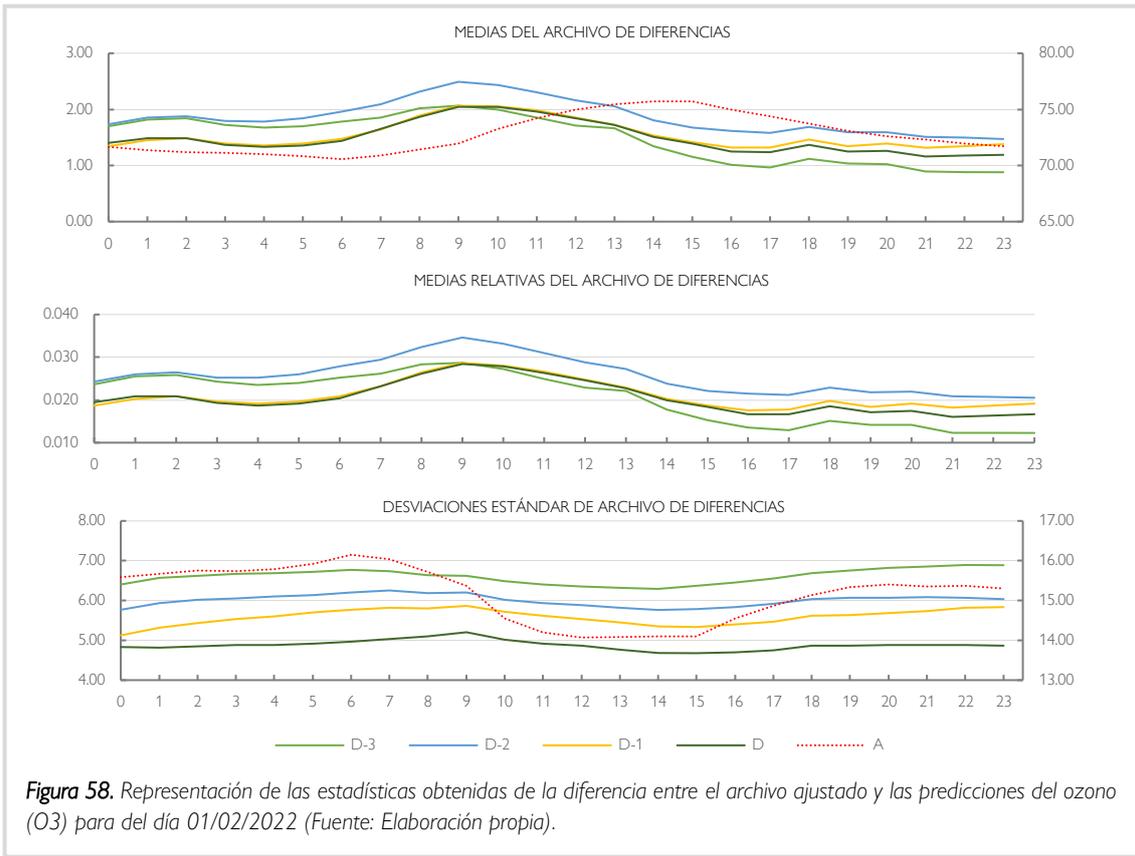


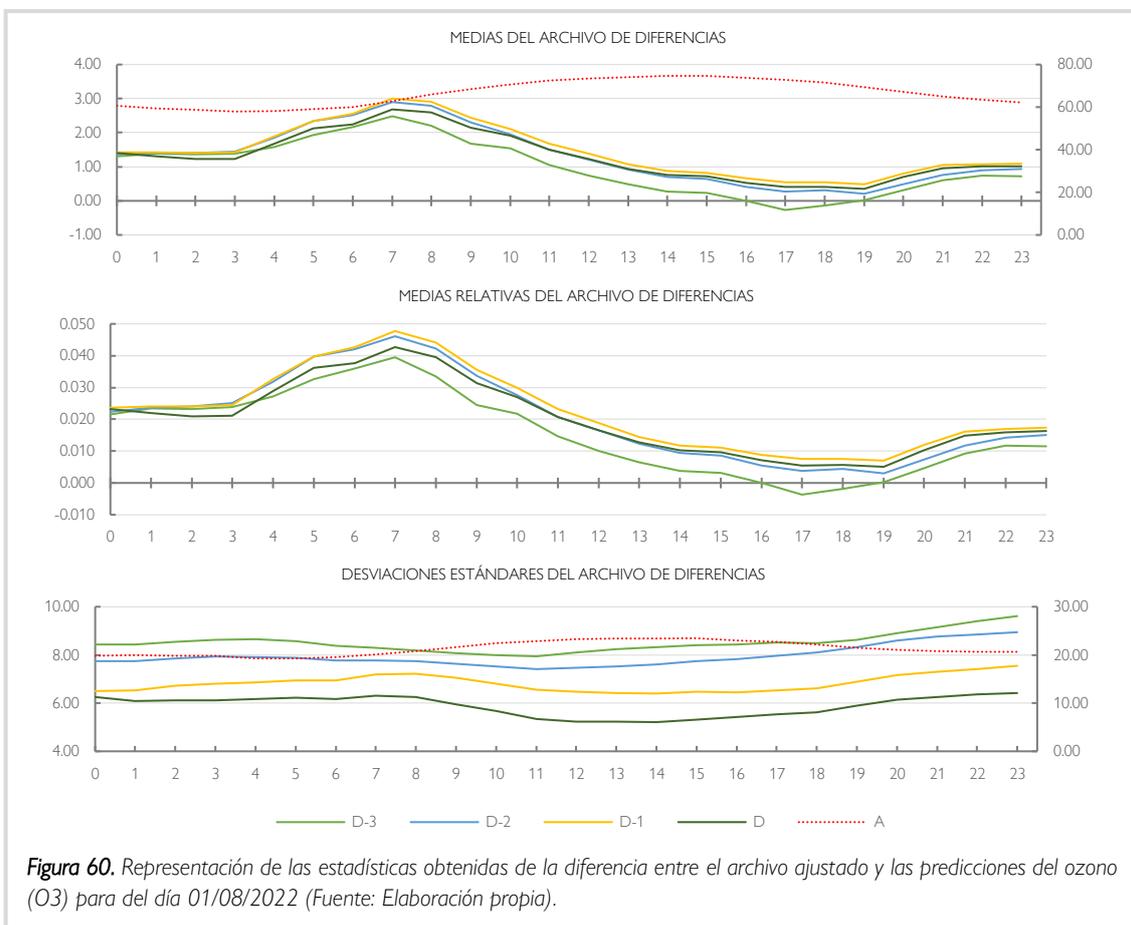
Figura 57. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia entre el archivo ajustado y las predicciones del ozono (O3) para del día 01/11/2021 (Fuente: Elaboración propia).

El 01/02/2022 (Figura 58) los resultados obtenidos para las medias de del archivo de diferencias muestran unos valores más cercanos a 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante las horas finales del día y las horas centrales en las que más diferencias, por lo que estas han ido disminuyendo con el paso de las horas. Esta tendencia se da en los archivos de diferencias de todas las predicciones. Además, no se aprecia que las diferencias de concentraciones se vayan haciendo menores a medida que los pronósticos se han ido actualizando, ya que la D-3 ha sido la predicción que menor ha registrado a partir de la segunda mitad del día. Así mismo, los valores de concentración media de la diferencia son positivos, habiéndose realizado una sobreestimación en la concentración de las predicciones. Las mismas tendencias se observan en la gráfica de las medias relativas de la diferencia. Los resultados observados de las desviaciones estándares de la diferencia registran valores de concentración muy parecidos a lo largo de todas las horas del día y la desviación ha sido menor a medida que se han ido actualizando las predicciones (Desviación estándar: $D < D-1 < D-2 < D-3$).



Los resultados del 01/05/2022 se pueden ver a través de la Figura 59. En los cuatro casos, las horas centrales y finales del día han sido el momento en el que las diferencias entre las medias de los archivos de predicciones y el archivo ajustado han sido menores (cerca de $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Comparando las diferencias de las medias entre los distintos pronósticos, los valores han sido muy similares en los cuatro casos, no habiendo una clara mejora a medida que se han actualizado los pronósticos. Además, durante las 11-12 primeras horas del día todos los valores de concentración media de la diferencia han resultado ser positivos, pero durante la segunda mitad del día dichos valores son inferiores a $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las tendencias observadas en la gráfica de las medias relativas de la diferencia se muestran muy parecidas. Los resultados de las desviaciones estándares de la diferencia muestran que en todos los casos los valores han sido similares a lo largo de todas las horas del día y que la desviación ha sido menor a medida que se han ido actualizando las predicciones.

Por último, los resultados obtenidos el 01/08/2022 (Figura 60.) muestran, por un lado, que los valores de concentración de las medias de la diferencia son más cercanos a $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en todos los casos entre las 14:00 y 20:00 horas. Sin embargo, el D-3 ha sido el pronóstico con los errores más pequeños respecto a los datos ajustados. La diferencia relativa de las medias sigue las mismas tendencias. De igual manera que en el resto de las fechas, la diferencia obtenida se encuentra por encima de los $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otro lado, las desviaciones estándares de la diferencia han sido similares a lo largo de todas las horas del día, y, además, dicha desviación ha sido menor a medida que se han ido actualizando las predicciones (Desviación estándar: $D < D-1 < D-2 < D-3$).



Por lo tanto, de acuerdo con los resultados obtenidos de la diferencia entre las predicciones europeas y los archivos ajustados, el ozono (O_3) se trata de un contaminante atmosférico secundario formado en la tropósfera a través de reacciones fotoquímicas entre los NO_x y COVs mediante reacciones en cadena iniciadas por radicales libres (Kim et al., 2012; Tiwari et al., 2015) y su concentración depende de la presencia y cantidad de sus precursores químicos, así como de la intensidad de la radiación solar y de la temperatura, presentando tanta variabilidad diaria (Mateos et al., 2018). De esta forma, la concentración de este compuesto es complementaria a la de sus precursores, mostrando variaciones diurnas pronunciadas con mínimos en la mañana y máximas de concentración entre las 14 y las 16 h (Gvozdić et al., 2011). Esto coincide con los valores obtenidos en los archivos ajustados. En relación con esto, aunque las diferencias obtenidas son similares a lo largo de las horas de todos los días, las medias de las diferencias han sido mayores durante las primeras horas de luz pudiéndose explicar por la dinámica temporal que presenta este compuesto. Así mismo, la desviación estándar de los errores ha sido muy similar a lo largo de las horas del día, pero se ha ido reduciendo con el paso de los días, lo que muestra la eficacia de las actualizaciones en las predicciones. Por último, destaca que en todas las fechas analizadas la diferencia apreciada ha sido positiva, lo que supone una sobreestimación de los valores de la concentración respecto al archivo ajustado generado a posteriori.

4.2.4.2. Análisis estacional de las predicciones europeas de O_3

A través de la Figura 61 se pueden observar los resultados obtenidos del análisis estacional. Por un lado, la serie horaria de las diferencias de las medias obtenidas muestra patrones diarios similares, pero estos patrones son diferentes para cada una de las fechas. Así mismo, los valores de las diferencias de las medias relativas al día 01/05/2022 presentan las variaciones más grandes en relación con los errores. Sin embargo, en dos momentos del día esta serie alcanza los valores más cercanos a $0 \mu g/m^3$ (12:00 y 23:00 horas de cada día), lo que representa un error casi nulo en las predicciones respecto al archivo ajustado. En el resto de las fechas, los valores de diferencias más cercanos a 0 se dan entre las 15:00 y 20:00 horas de cada día y existe una tendencia de disminución de las diferencias a medida que avanzan los días dentro de una serie.

Por otro lado, las series de la desviación estándar de las diferencias también muestran patrones diarios similares y los valores se mantienen bastante similares a lo largo de cada día. Lo que se aprecia es una tendencia descendente a lo largo de las series con el paso de las horas, por lo que, con el paso de las predicciones los valores de contaminación se van acercando a los del archivo ajustado. Además, el pico de descenso más claro coincide con el cambio de día. En relación con la fecha de las series, los archivos de los meses de otoño e invierno han resultado tener valores inferiores, siendo el día 01/02/2022 el que ha mostrado valores más bajos a lo largo de la serie (Figura 61).

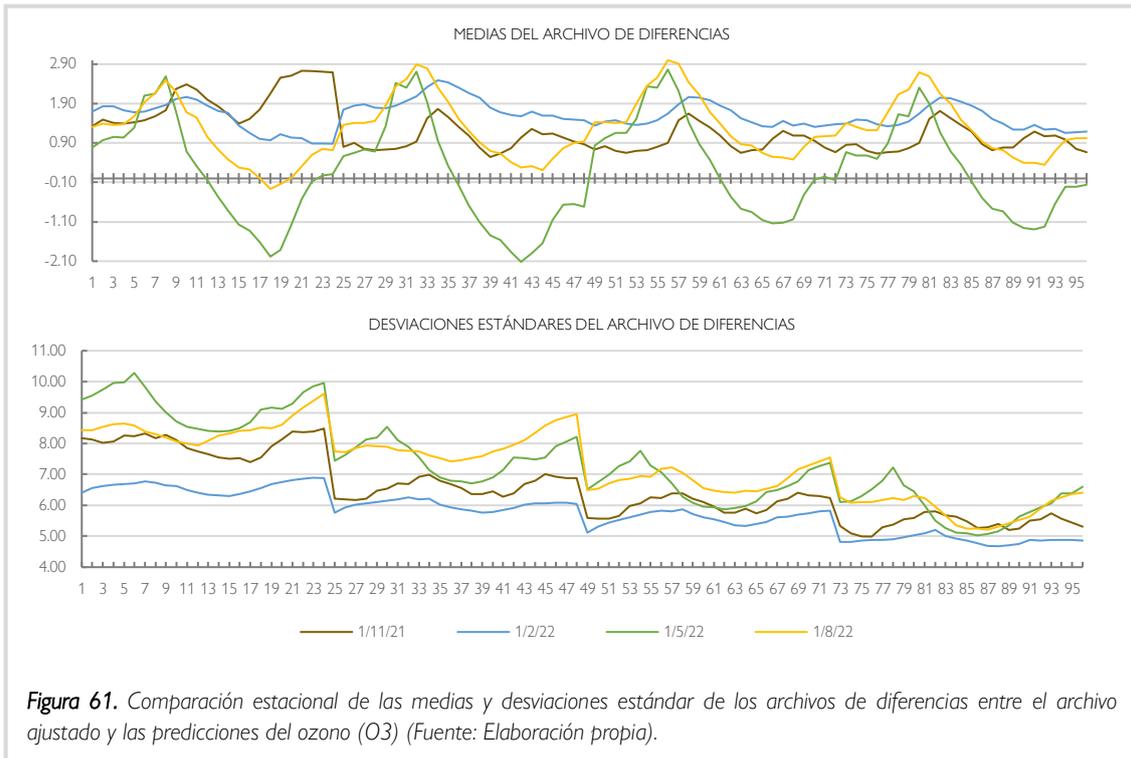


Figura 61. Comparación estacional de las medias y desviaciones estándar de los archivos de diferencias entre el archivo ajustado y las predicciones del ozono (O3) (Fuente: Elaboración propia).

Tabla 11. Diferencias absolutas de las medias diarias relativas al O3.

Fechas	Media absoluta de diferencias (ug/m3)			
	01/11/2021	01/02/2022	01/05/2022	01/08/2022
D-3	47,01	35,72	25,91	24,66
D-2	23,80	44,72	30,19	31,54
D-1	22,68	36,91	24,05	35,04
D	23,30	35,76	21,11	31,09

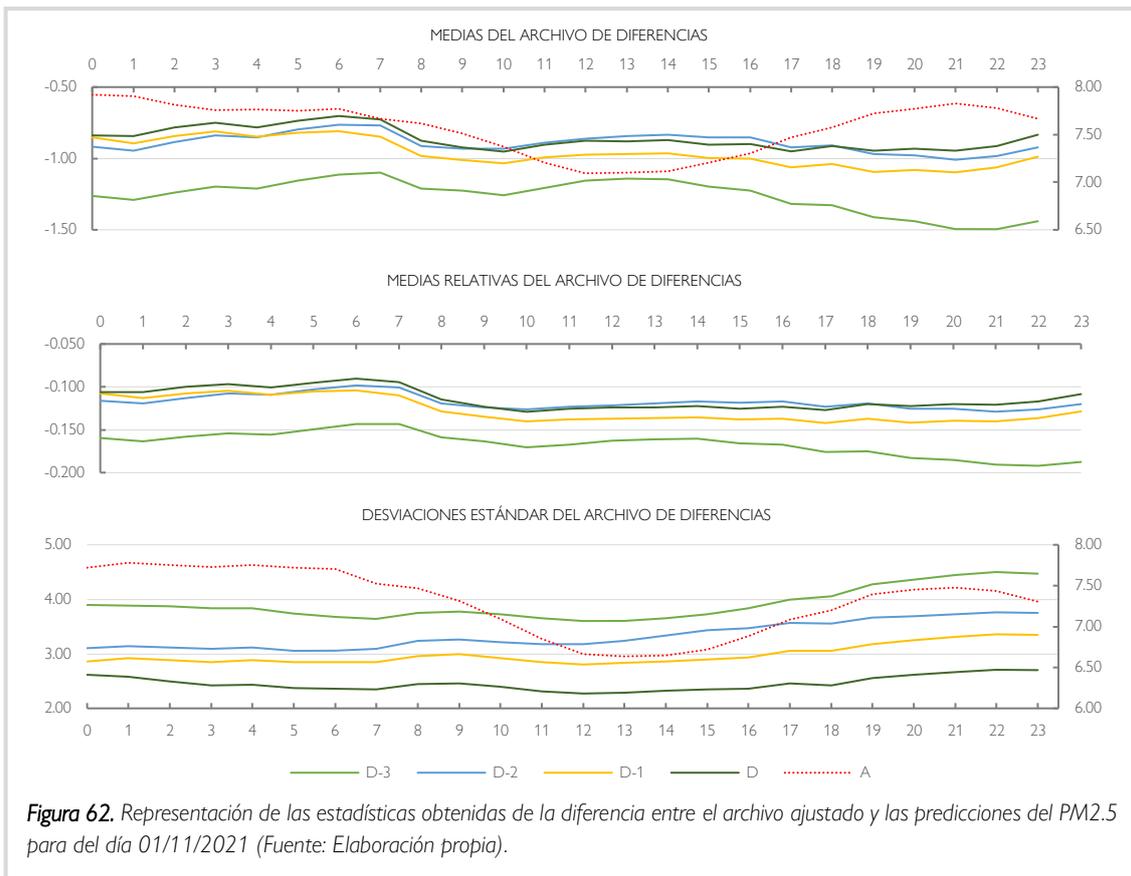
Así pues, en el caso de la estacionalidad de las series temporales de las diferencias entre las predicciones y el archivo ajustado para el ozono (O3), se ha visto que la diferencia de las medias absolutas (Tabla 11) es mayor para el día 01/02/2022, pero la variabilidad en los resultados aumenta durante los meses más cálidos (sobre todo en verano). Además, la desviación de las diferencias observadas se muestra también mayor y más variable en las fechas más cálidas (Figura 61). Así, mismo, los archivos ajustados muestran valores medios de contaminación de O3 superiores en los meses cálidos. Esto se puede deber a que, tal y como comenta Clements et al. (2016), el aumento de la radiación solar en las épocas de primavera y verano genera un aumento en los precursores del ozono, dándose el pico de mayor concentración y, por tanto, de mayor variabilidad, durante estos meses.

4.2.5. Material particulado de diámetro < 2.5 µm

4.2.5.1. Análisis de las predicciones europeas de PM2.5 en función del plazo de antelación en la predicción

Los resultados horarios obtenidos de las medias de la diferencia para el día 01/11/2021 se muestran mediante la Figura 62. Por un lado, se observa que los valores de las diferencias se mantienen en concentraciones similares a lo largo de todo el día y esta tendencia se aprecia para las cuatro

predicciones disponibles. Además, se puede ver como los errores han sido menores a medida que se han actualizado las predicciones y que la diferencia de los archivos comparados es negativa ($<0 \mu\text{g}/\text{m}^3$), lo que supone una subestimación de los valores de las predicciones respecto a los valores del archivo ajustado. Lo mismo se ve en la gráfica que representa las medias relativas de la diferencia. Por otro lado, los resultados registrados de las desviaciones estándares de la diferencia muestran valores muy parecidos a lo largo de todas las horas del día, pero disminuyen a medida que se han ido actualizando las predicciones.



A través de la Figura 63 se ven los resultados del 01/02/2022. En cuanto a las medias de la diferencia cada hora, durante las primeras horas del día se dan las menores diferencias entre las predicciones y el archivo ajustado (valores más cercanos a $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$), aunque aumentan con el paso de las horas. Esta tendencia se da en los archivos de diferencias de todas las predicciones. Además, estas se van haciendo menores a medida que los pronósticos se han ido actualizando, pero las diferencias de las predicciones de D-1 han sido inferiores a las de D. En cualquier caso, todos los valores de concentración media de la diferencia obtenida son negativos, habiéndose realizado una subestimación del valor de las predicciones. Las mismas tendencias se observan en la gráfica de las medias relativas de la diferencia. En el caso de los resultados observados de las desviaciones estándares de la diferencia, los valores han sido más bajos durante las horas iniciales del día, dándose un claro aumento en las horas finales y se ve que la desviación ha sido menor a medida que se han ido actualizando las predicciones.

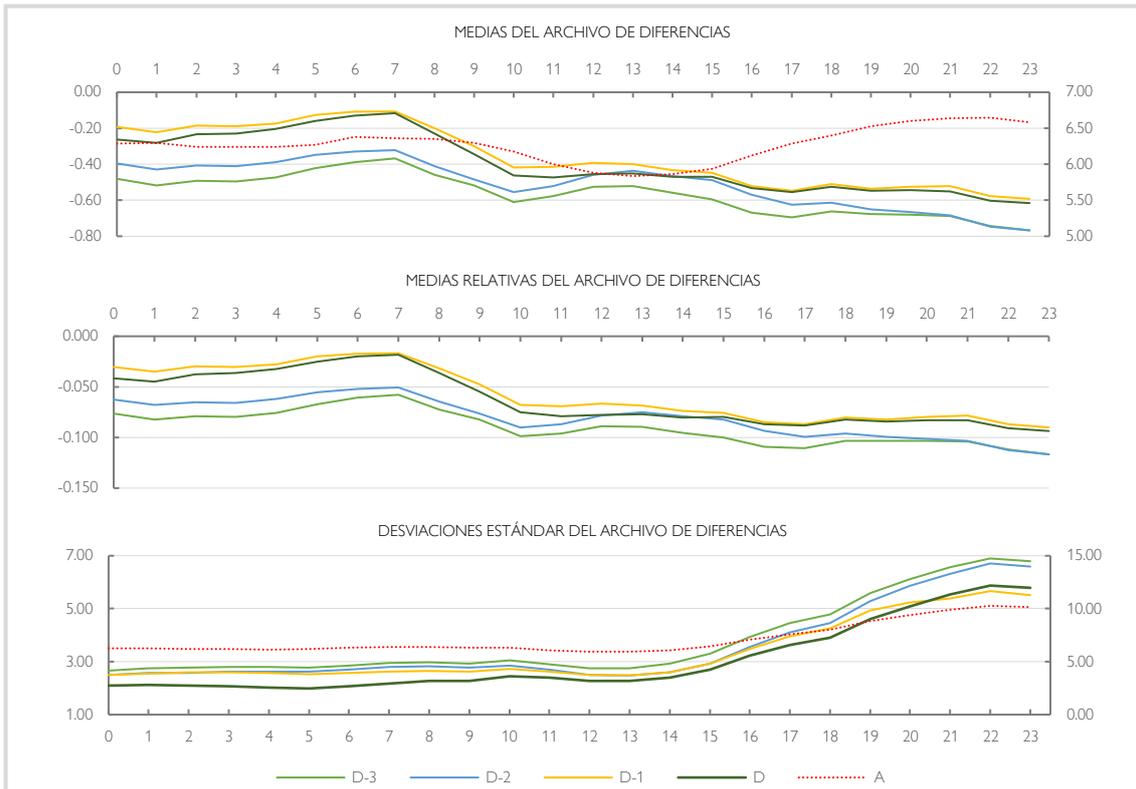


Figura 63. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia entre el archivo ajustado y las predicciones del PM2.5 para del día 01/02/2022 (Fuente: Elaboración propia).

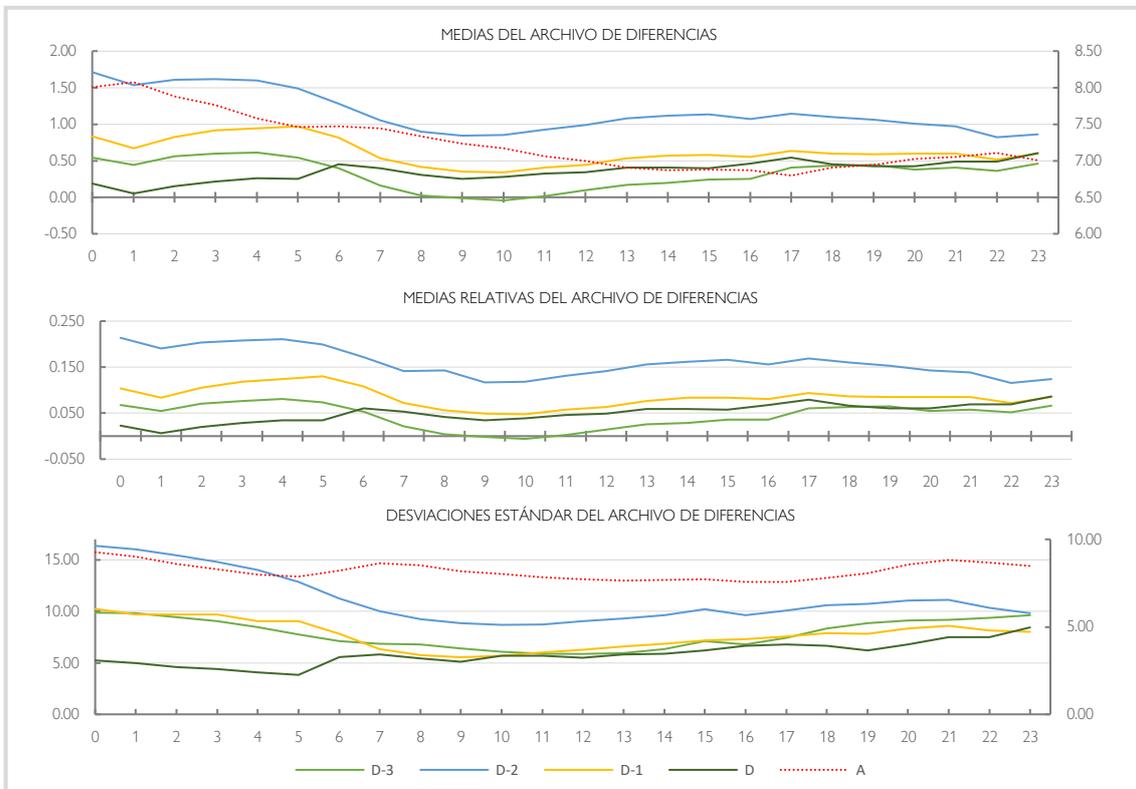


Figura 64. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia entre el archivo ajustado y las predicciones del PM2.5 para del día 01/05/2022 (Fuente: Elaboración propia).

Observando los resultados de las diferencias de las medias horarias para el 01/05/2022 (Figura 64), en las medias de la diferencia entre las predicciones y el archivo ajustado, los dos primeros días (D-3 y D-2) los valores han disminuido con el paso de las horas, pero en el caso de las diferencias con las otras dos predicciones (D-1 y D), la tendencia ha sido la contraria. Además, no se ha visto una clara mejora en los valores de las diferentes predicciones a medida que han ido transcurriendo los días. Aun así, los valores de las medias de la diferencia son positivos, lo que supone que las concentraciones de las predicciones se han sobreestimado respecto a los valores del archivo de ajustado a posteriori. Las tendencias observadas en la gráfica de las medias relativas de la diferencia se muestran muy parecidas. En relación con los resultados obtenidos de las desviaciones estándares de la diferencia, estos siguen una tendencia similar a lo observado en el caso los valores de las diferencias de las medias.

En relación con los resultados obtenidos el 01/08/2022 (Figura 65), se observa que los valores de concentración de las medias de la diferencia más cercanos a 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se dan, en todos los casos, durante las horas iniciales del día. Además, los errores registrados han sido inferiores a medida que han avanzado los días en los que se realizaron las predicciones. La diferencia relativa de las medias sigue las mismas tendencias y los valores se encuentran por debajo de los 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De acuerdo con las desviaciones estándares de la diferencia, en todos los casos los valores han sido similares a lo largo de las horas del día, y, además, dicha desviación ha sido menor a medida que se han ido actualizando las predicciones (Desviación estándar: $D < D-1 < D-2 < D-3$).

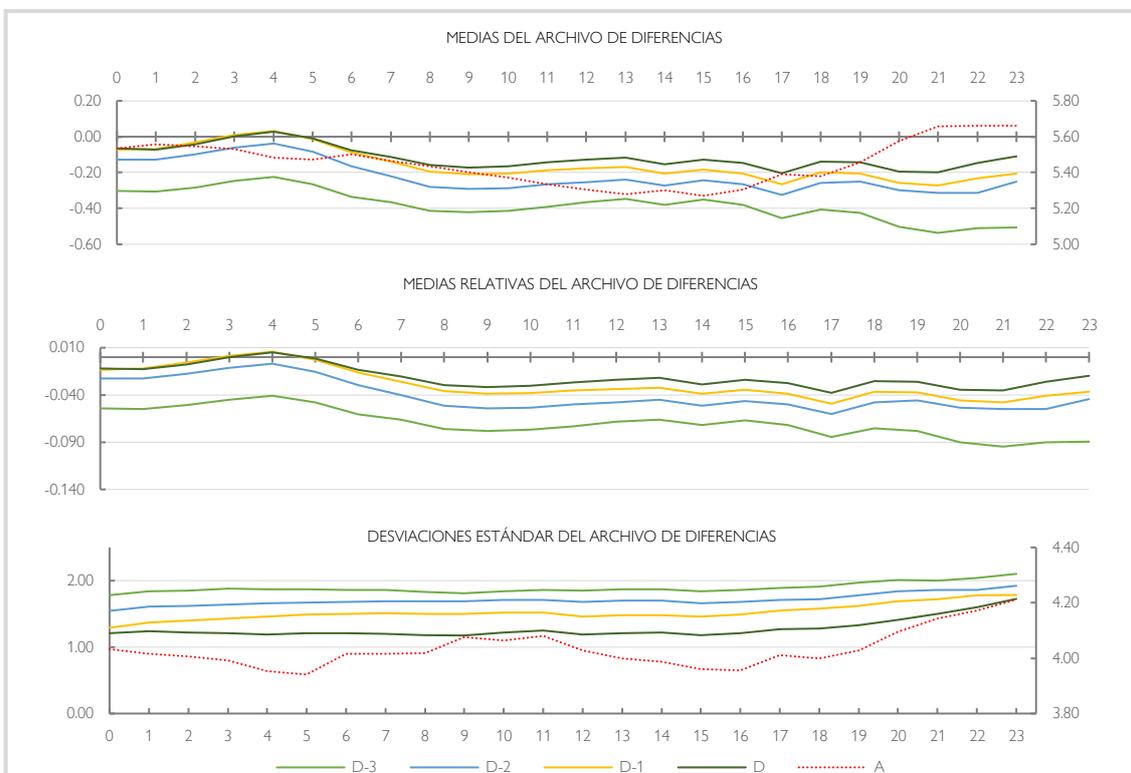


Figura 65. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia entre el archivo ajustado y las predicciones del PM2.5 para del día 01/08/2022 (Fuente: Elaboración propia).

Por lo tanto, respecto a los resultados obtenidos de la diferencia entre las predicciones europeas y los archivos ajustados, las partículas finas (PM_{2.5}, diámetros aerodinámicos inferiores a 2,5 µm) son derivadas principalmente de la combustión y fuentes industriales o producidas a través de procesos atmosféricos (Seinfeld y Pandis, 2006). Esto genera que normalmente se den dos picos en su concentración a lo largo del día, uno a la mañana y otro a partir de las 18:00 de la tarde cuando la capa límite se empieza a reducir, siendo estos más marcados en las estaciones más frías (Clements *et al.*, 2016) En este caso, los valores de los archivos ajustados muestran lo comentado anteriormente y, aunque las medias de la diferencia obtenidas son similares a lo largo del día, han variado más en las horas en las con aumentos o descensos de los valores de concentración del PM_{2.5}. Además, únicamente en los registros de verano se observa que la media de las diferencias ha disminuido con la actualización de las predicciones, lo que muestra que puede ser el momento del año en el que menos variabilidad de concentraciones hay (como expresan los diferentes autores). Además, destaca que en los meses fríos los valores de las predicciones se han subestimado y en las fechas más cálidas la diferencia apreciada ha sido cercana a 0 µg/m³ o positiva, lo que muestra la dificultad de predecir las concentraciones de los contaminantes a lo largo del año. Por último, la desviación estándar de los errores ha mostrado valores similares a lo largo de las horas del día, de forma que los modelos pueden tener en cuenta ya la dinámica temporal de este contaminante ajustándolo más a ciertas horas.

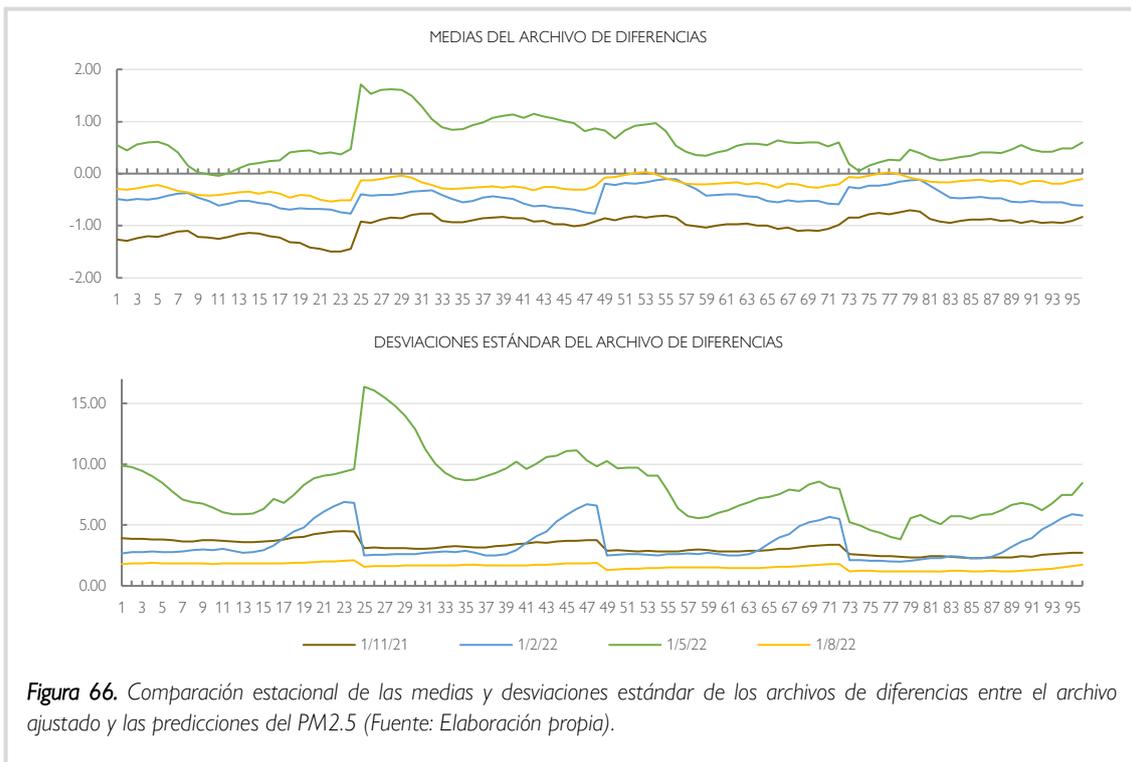
4.2.5.2. Análisis estacional de las predicciones europeas de PM_{2.5}

Mediante la figura que se ve a continuación (Figura 66) se puede apreciar el análisis estacional de los archivos de diferencias de concentración obtenidos. En relación con la serie horaria de las medias de las diferencias, los valores obtenidos se muestran bastante constantes con el paso de las horas. Es por eso por lo que es difícil ver patrones diarios. Además, únicamente la serie referida al 01/05/2022 ha mostrado valores positivos en las diferencias de las medias analizadas. Sin embargo, a pesar de ser negativos, los valores del 01/08/2022 son los más cercanos a 0, lo que representa el error más bajo de las series. Así mismo, existe una leve tendencia de disminución de las diferencias a medida que avanzan los días dentro de una serie y los mayores picos coinciden con el paso de un día a otro.

De acuerdo con las series de la desviación estándar de las diferencias, sin contar con el día 01/05/2022, se muestran patrones diarios similares. En el caso de los días 01/11/2021 y 01/08/2022, los valores se mantienen bastante similares a lo largo de cada día y 01/02/2022 se da un aumento en los valores en las horas finales del día. En la serie del 01/05/2022, no se muestra una tendencia definida. Lo que si se aprecia en todas las series es una tendencia levemente descendente con el paso de las horas y el pico de descenso más claro coincide con el cambio de día. En relación con la fecha de las series, el día 01/08/2022 ha mostrado los valores más bajos y el 01/05/2022 los más altos.

Tabla 12. Diferencias absolutas de las medias diarias relativas al PM_{2.5}.

Fechas	Media absoluta de diferencias (µg/m ³)			
	01/11/2021	01/02/2022	01/05/2022	01/08/2022
D-3	30,26	13,58	7,83	9,13
D-2	21,77	12,17	27,76	5,33
D-1	23,07	8,64	14,82	3,83
D	20,68	9,44	8,55	2,85



Así pues, en el caso de la estacionalidad de las series temporales de las diferencias entre las predicciones y el archivo ajustado para el PM2.5, salvo en el caso del D-2 el 01/05/2022, se ha visto que la diferencia de las medias tanto horarias como absolutas (Tabla 12) son mayores en los meses más fríos (sobre todo en otoño). Además, la variación en los valores de las desviaciones de las diferencias es muy marcada en el caso de los valores del mes de febrero (Figura 66) Esto se puede deber a que, como comentan Zheng et al. (2018) o Clements et al. (2016) en sus artículos, las concentraciones más altas de este contaminante atmosférico ocurren durante los meses fríos del año (alcanzando las máximas en invierno) seguidas de primavera y verano que presenta las desviaciones más pequeñas en este caso. Sin embargo, expresa también que en ciertos momentos la concentración de este contaminante puede variar considerablemente debido a sucesos meteorológicos puntuales. En este caso los valores medios del contaminante observados en el archivo ajustado son similares en los meses fríos y en primavera, pudiendo explicar la variabilidad registrada el 01/05/2022.

4.2.6. Material particulado de diámetro < 10 μm

4.2.6.1. Análisis de las predicciones europeas de PM10 en función del plazo de antelación en la predicción

Los resultados horarios obtenidos de las medias de la diferencia el día 01/11/2021 (Figura 67) muestran que los valores de las diferencias tienen un error mayor en las horas iniciales y finales del día. Esta tendencia se aprecia en los archivos de diferencias de las cuatro predicciones disponibles. Además, no se aprecia de forma clara que los errores hayan sido menores a medida que se han actualizado las predicciones, ya que son los valores de la D-2 los que muestra los valores más

cercanos a 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Así mismo, se aprecia que la diferencia de los archivos comparados es negativa ($<0 \mu\text{g}/\text{m}^3$), lo que supone una subestimación de los valores de las predicciones. Lo mismo se ve en la gráfica que representa la diferencia relativa de las medias. De acuerdo con los resultados de las desviaciones estándares los valores han sido muy parecidos a lo largo de todas las horas del día no mostrándose una tendencia clara, pero se aprecia que han disminuido a medida que se han ido actualizando las predicciones (Desviación estándar: $D < D-1 < D-2 < D-3$).

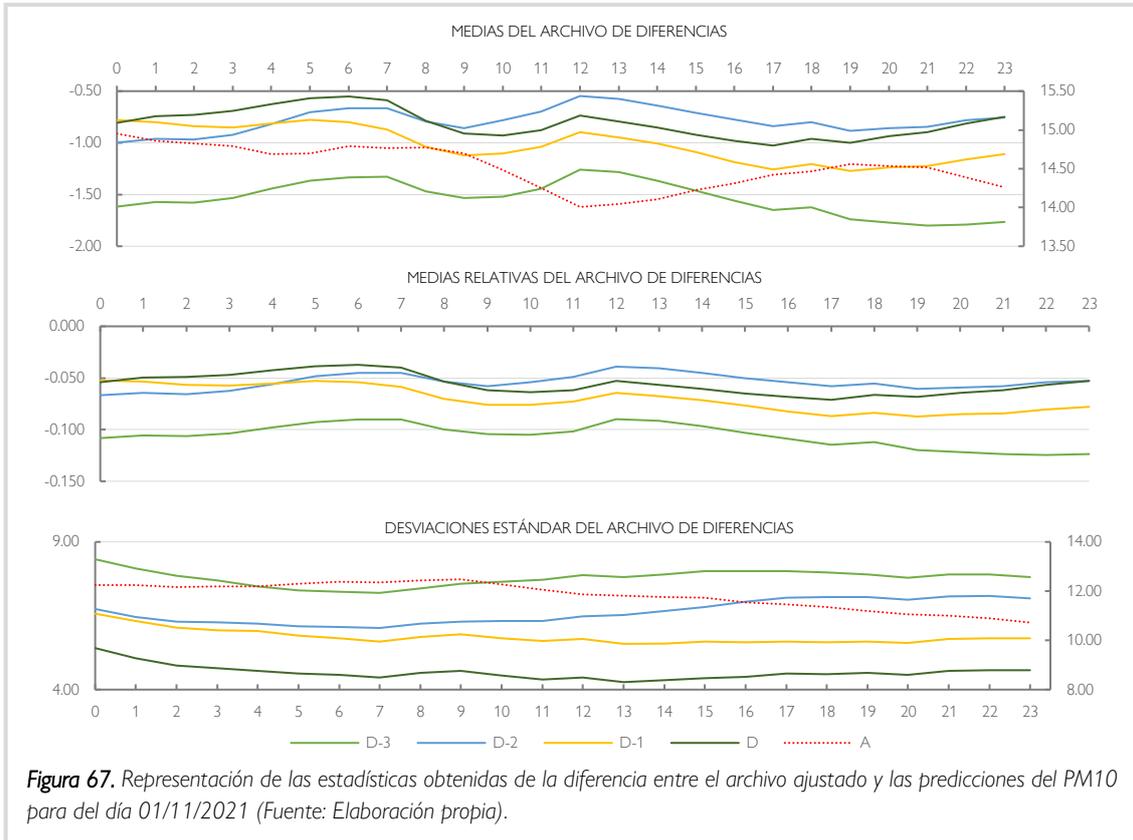
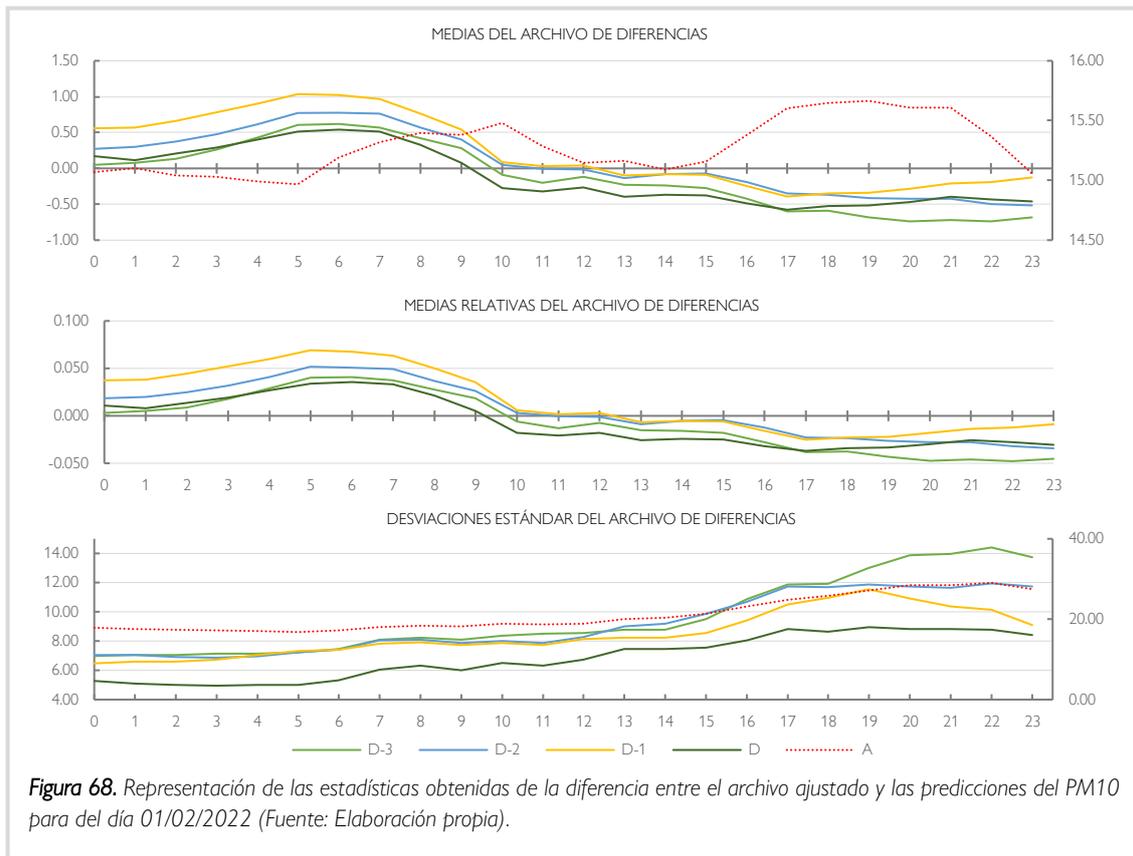


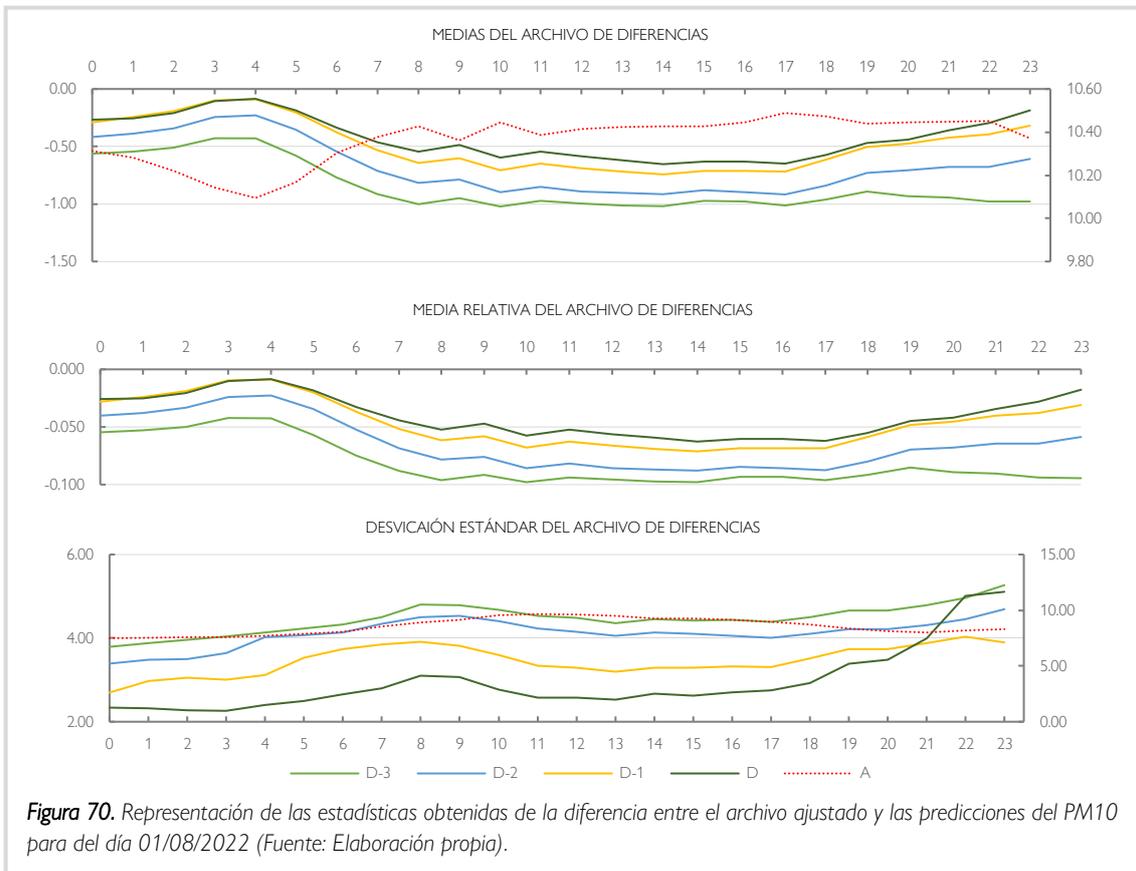
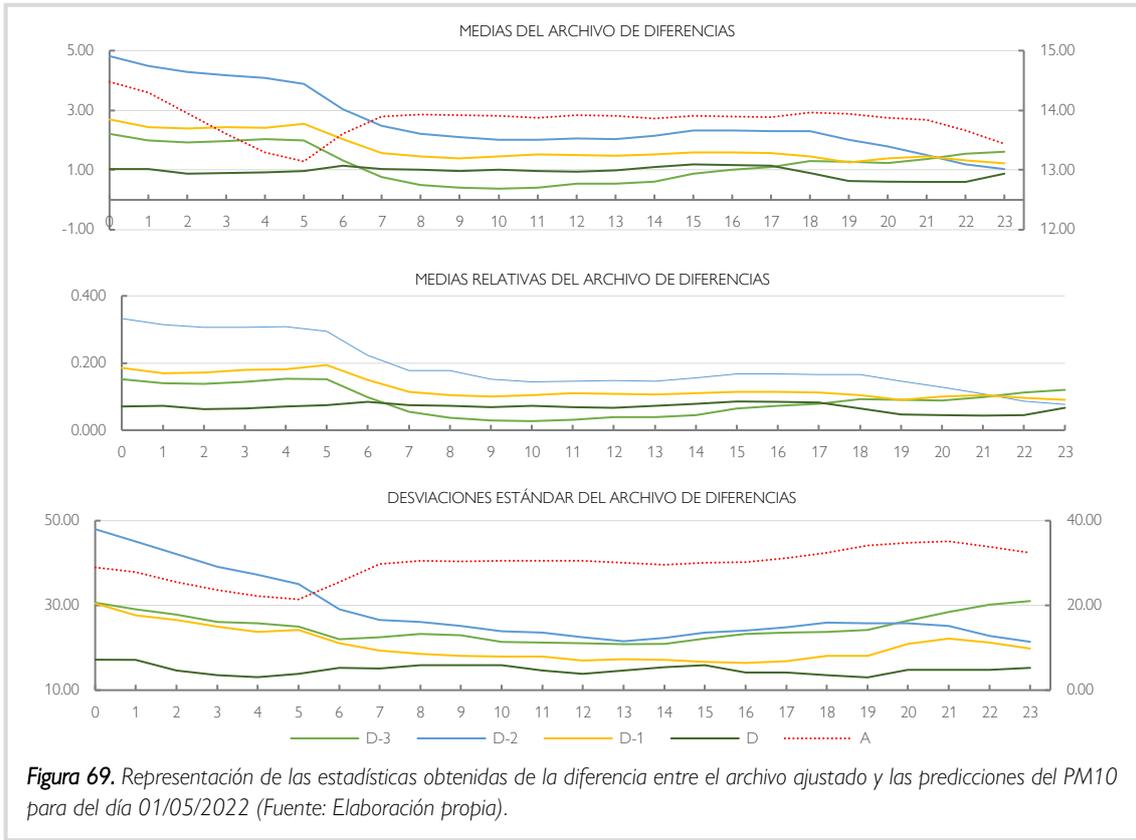
Figura 67. Representación de las estadísticas obtenidas de la diferencia entre el archivo ajustado y las predicciones del PM10 para del día 01/11/2021 (Fuente: Elaboración propia).

Los resultados de las diferencias de las medias horarias del 01/02/2022 se pueden ver a través de la Figura 68. En los cuatro casos, durante las horas centrales día ha sido el momento en el que las diferencias entre las predicciones y el archivo ajustado han sido menores (cercanas a 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), aunque entre los distintos pronósticos, los valores han sido muy similares en los cuatro casos, no habiendo una clara mejora a medida que se han actualizado los pronósticos. Además, en la primera mitad del día todos los valores son positivos, pero durante la segunda mitad del día dichos valores son ligeramente inferiores a 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Las tendencias observadas en la gráfica de las medias relativas de la diferencia se muestran muy parecidas. En relación con los resultados obtenidos de las desviaciones estándares de la diferencia, en todos los casos los valores han ido aumentando a con el transcurso del día, y la desviación ha sido menor a medida que se han ido actualizando las predicciones.



A través de la Figura 69 se observan, por un lado, los resultados de las medias de las diferencias horarias el 01/05/2022. Durante los tres primeros días (D-3, D-2 y D-1) los valores han disminuido con el paso de las horas registrándose los valores de diferencias más cercanos a 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en las horas finales del día. Sin embargo, en las últimas predicciones (D) los valores han sido muy similares a lo largo de todo el día. Además, los valores han variado entre las distintas predicciones, no habiendo una clara mejora a medida que han ido transcurriendo los días (sobre todo en la parte final del día). Aun así, los valores de concentración media de la diferencia obtenida son positivos, suponiendo una sobreestimado de las predicciones frente a los valores del archivo ajustado. Las tendencias observadas en la gráfica de las medias relativas de la diferencia se muestran muy parecidas. Por otro lado, los resultados obtenidos de las desviaciones estándares de la diferencia siguen una tendencia similar a lo observado en el caso los valores de las medias de las diferencias.

En relación con los resultados obtenidos el 01/08/2022 (Figura 70), se observa que los valores de concentración de las medias de la diferencia han sido más bajos en todos los casos durante las horas iniciales del día y hay un incremento en las horas finales del día, acercándose el valor a los 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Además, los errores registrados han sido inferiores a medida que han avanzado los días en los que se realizaron las predicciones. La diferencia relativa de las medias sigue las mismas tendencias. La diferencia obtenida se encuentra por debajo de los 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, suponiendo una subestimación de los valores de las predicciones respecto a los valores de los archivos ajustados. Reparando en las desviaciones estándares de la diferencia, en todos los casos los valores han aumentado a lo largo de las horas del día, y la desviación ha sido menor a medida que se han ido actualizando las predicciones.



Por lo tanto, respecto a los resultados obtenidos de la diferencia entre las predicciones europeas y los archivos ajustados, las partículas gruesas (PM10, diámetros entre 2,5 y 10 μm) se producen normalmente mediante procesos abrasivos o existen de forma natural y se emiten desde muchas fuentes diferentes a través de la suspensión y la dispersión (Minguillon et al., 2014). De esta forma, al igual que el NO₂, el CO y el PM_{2.5}, normalmente se dan dos picos en su concentración a la largo del día, uno a la mañana y otro a partir a las horas finales del día, siendo más marcados en las estaciones más frías (Gvozdić et al., 2011) En este caso, los valores de los archivos ajustados muestran lo comentado anteriormente y, aunque las medias de la diferencia obtenidas son similares a lo largo del día, han variado más en las horas en las con aumentos o descensos de los valores de concentración del PM10. Además, al igual que en el caso del PM_{2.5}, únicamente en los registros de verano se observa que la media de las diferencias ha disminuido con la actualización de las predicciones, lo que muestra que puede ser el momento del año en el que menos variabilidad de concentraciones hay. Por último, la desviación estándar de los errores ha mostrado valores similares a lo largo de las horas del día, de forma que los modelos pueden tener en cuenta ya la dinámica temporal de este contaminante ajustándolo más a ciertas horas, pero ha mostrado valores menores a medida que se han actualizado las predicciones.

4.2.6.2. Análisis estacional de las predicciones europeas de PM10

La Figura 71 presenta los resultados del análisis estacional de los archivos de diferencias obtenidos. Por un lado, en relación con la serie horaria de las medias de las diferencias, los resultados son similares a los obtenidos en el análisis del PM_{2.5}, siendo difícil ver patrones diarios en los resultados. En este caso, la serie referida al 01/05/2022 y ciertas horas de la serie del día 01/02/2022 han mostrado valores positivos, siendo los valores de esta última fecha los más cercanos a 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Esto representa el error más bajo de las series. Así mismo, existe una leve tendencia de disminución de las diferencias a medida que avanzan los días dentro de una serie.

Por otro lado, en cuanto a las series de la desviación estándar de las diferencias, se muestran patrones diarios similares, sin contar la serie de las diferencias para el día 01/05/2022 (al igual que en el caso del PM_{2.5}). En este caso también en los días 01/11/2021 y 01/08/2022 los valores se mantienen similares a la largo de cada día, pero el 01/02/2022 se da un aumento en los valores a las horas finales del día. En la serie del 01/05/2022 no se muestra una tendencia definida. Sin embargo, en todos los casos hay una leve tendencia descendente con el paso de las horas en los valores. Además, el pico de descenso más claro coincide con el cambio de día. En relación con la fecha de las series, el día 01/08/2022 el que ha mostrado valores más bajos y el día 01/05/2022 el que ha mostrado más altos.

Tabla 13. Diferencias absolutas de las medias diarias relativas al PM10.

Fechas	Media absoluta de diferencias ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	01/11/2021	01/02/2022	01/05/2022	01/08/2022
D-3	36,81	9,77	28,96	20,36
D-2	18,85	8,86	62,64	16,23
D-1	24,43	10,40	41,75	11,65
D	19,49	9,00	22,65	10,18

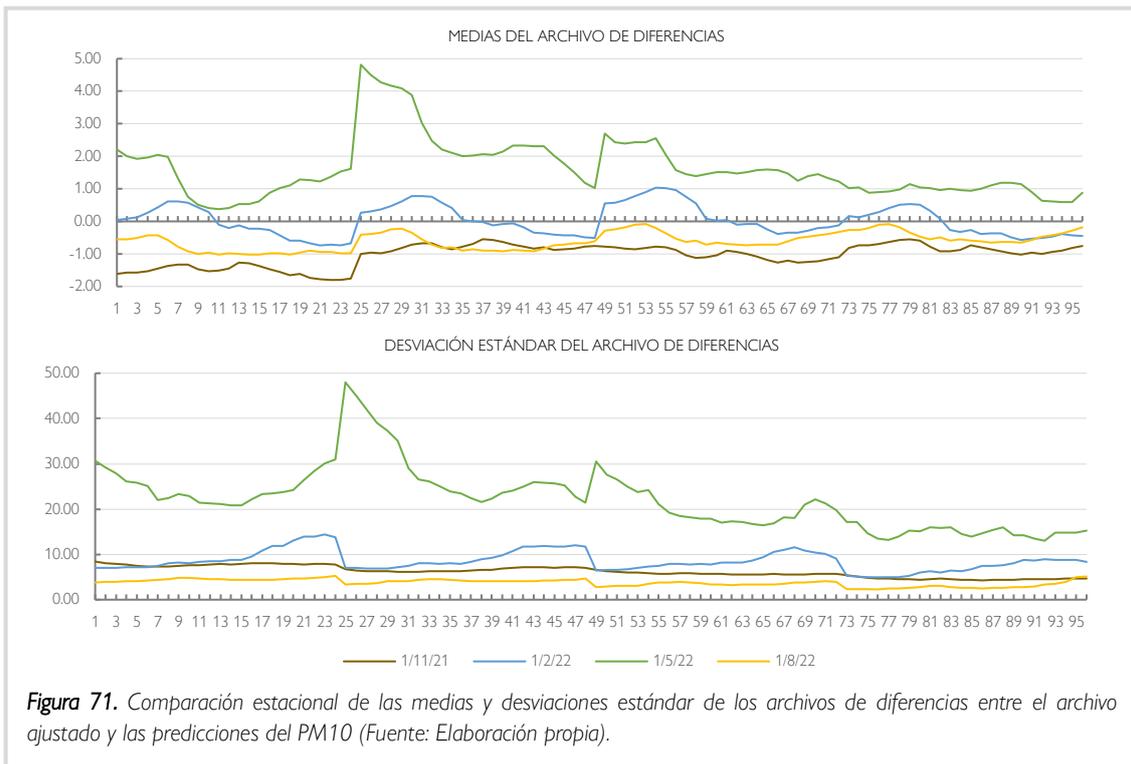


Figura 71. Comparación estacional de las medias y desviaciones estándar de los archivos de diferencias entre el archivo ajustado y las predicciones del PM10 (Fuente: Elaboración propia).

Así pues, en el caso de la estacionalidad de las series temporales de las diferencias entre las predicciones y el archivo ajustado para el PM10, se ha obtenido un comportamiento similar al observado en relación con el PM2.5. Según Joksić et al. (2010) las concentraciones más altas de este contaminante atmosférico ocurren durante los meses fríos del año (otoño e invierno). Además, las condiciones ambientales y meteorológicas de los meses más calurosos hacen que estos compuestos se dispersen más a través de la atmósfera, registrando menos variabilidad en sus concentraciones durante esta época del año. Sin embargo, en este caso, las medias de la diferencia, así como las medias absolutas de la diferencia y las desviaciones (Figura 71 y Tabla 10) expresan una mayor variabilidad de los datos en la fecha correspondiente a la primavera (01/05/2022). Esto se puede deber, tal y como se ha expresado en el apartado anterior a que en ciertos días del año independientemente de la concentración de este contaminante puede variar considerablemente debido a sucesos meteorológicos puntuales. Al igual que con el PM2.5, los valores medios del contaminante observados en el archivo ajustado son similares en los meses fríos y en primavera, pudiendo explicar los valores de variabilidad registrados el 01/05/2022.

5. CONCLUSIONES

En este último apartado se ofrecen las principales conclusiones alcanzadas a partir de la realización del presente trabajo. Por un lado, las conclusiones extraídas de la creación del visor web y la inserción de nuevas funcionalidades y mejora de herramientas para su posterior adición a la KunakCloud son las siguientes:

- Se ha conseguido crear un visor web a partir de la inserción de capas de información de contaminantes atmosféricos a escala global y europea a través del empleo del servicio WMS ofrecido por CAMS. Además, se ha conseguido desarrollar el código de JavaScript para poder manejar la escala temporal del total de las capas de información a través de la inserción de un calendario y la adecuación de la barra temporal a las necesidades requeridas. Así mismo, se han logrado generar las leyendas relativas a las diferentes capas de información insertadas y en base al estilo del visor KunakCloud. Finalmente, se ha conseguido crear el código necesario para generar los pop-ups con el valor de contaminación en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de cada uno de los contaminantes según su localización y momento temporal.
- En relación con esto, se han podido añadir recursos extra como el icono de información, suponiendo una herramienta válida para aumentar la comprensión de la información añadida al visor web.
- La librería Leaflet ha demostrado ser una herramienta funcional e imprescindible a la hora de crear las nuevas herramientas y mejorar las funcionalidades del visor web creado.
- Todas estas nuevas herramientas han demostrado funcionar correctamente en un entorno real, un visor web, siendo útiles para los intereses de la empresa, de manera que podrán ser fácilmente añadidas al visor de KunakCloud.
- En cuanto a la fuente de datos empleada para las capas de información, se ha podido observar que los servicios del tipo WMS son realmente útiles para un usuario que quiere representar información actualizada y de forma rápida, si necesidad de tener que descargarla, por lo que a nivel de capacidad y procesamiento se trata también de un avance. Sin embargo, es limitada en cuanto a los estilos de representación de las capas de información.
- Se ha demostrado que se pueden añadir múltiples funcionalidades a un visor web que permiten realizar operaciones sencillas igual que un gis de escritorio, con la particularidad de estar en una página web, sin consumir tantos recursos del usuario.
- La inserción de estas nuevas capas de información supondrá una mejora para la empresa, ya que complementan la información aportada por esta en la actualidad a través de predicciones de los contaminantes monitorizados en ella y desde una fuente oficial, contrastada y empleada en otras reconocidas aplicaciones web (como Windy).

Por otro lado, a continuación, se muestran las conclusiones alcanzadas a través de la realización del análisis de las predicciones europeas de contaminantes atmosféricos:

- Por lo general, los archivos ajustados han registrado patrones diarios de concentraciones que coinciden con la dinámica temporal de los diferentes contaminantes analizados. En relación con esto, en los momentos que se han dado los aumentos y descensos es cuando se ha registrado

la mayor variabilidad y mayores errores en las predicciones. De esta forma, también han mostrado ciertos patrones horarios.

- A través de las diferencias de las medias y las desviaciones estándares calculadas, ha quedado registrado que las diferencias y variabilidad entre las predicciones y los archivos ajustados son muy pequeñas y se podría decir que las predicciones son bastante fiables. A pesar de ello, habría que hacer análisis más extensos para poder ver que las tendencias y dinámicas teóricas de los contaminantes se acaban cumpliendo en el caso de las predicciones.
- Además, las predicciones diarias para cada una de las fechas han registrado menores variabilidades a medida que han ido pasando los días. Esto es una cuestión que en un principio se podría esperar debido a que se generan actualizaciones de las predicciones cada día. A pesar de ello, en ciertos momentos esto no ha estado claro en relación con las D-2 y D-1.
- En cuanto al análisis estacional realizado, en general los valores de concentración obtenidos a través de archivos ajustados han correspondido con la dinámica estacional de los contaminantes. y, en los momentos con concentraciones medias más elevadas se han dado la mayor variabilidad y errores en las predicciones. Sin embargo, esto no se ha dado en casos como el PM2.5 y PM10, pudiendo deberse a condiciones meteorológicas puntuales ocurridas durante el día 01/05/2022.
- Aun así, las concentraciones de los contaminantes atmosféricos, a pesar de tener unas tendencias diarias y estacionales, también dependen de aspectos meteorológicos concretos como la temperatura, la humedad o los vientos. Por lo tanto, es muy complicado hacer predicciones de la concentración sin errores y que sean totalmente fiables como se ha podido ver a través del análisis realizado.
- Cabe destacar que en la mayoría de los contaminantes atmosféricos y las fechas de estudio los valores de la concentración de las predicciones se han subestimado respecto a los valores de los archivos ajustados, lo que es una observación para tener en cuenta a la hora de interpretarlas posteriormente en el visor.
- En cualquier caso, el análisis realizado ha servido para obtener una previsualización de la fiabilidad de este recurso que será introducido al visor de KunakCloud, ya que la diferencia entre las predicciones europeas y los archivos ajustados realizados a posteriori tampoco son excesivos.
- Por último, todas estas cuestiones planteadas pueden ser útiles para la empresa y los usuarios de estas capas de información a través del visor web de Kunak, en el sentido de poder interpretar las capas de predicciones y saber cuándo elegir, basándose en lo observado aquí, el momento del día en el que se dan menos errores las predicciones para cada contaminante.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abas, N., Saleem, M. S., Kalair, E., y Khan, N. (2019). Cooperative control of regional transboundary air pollutants. *Environmental Systems Research*, 8(1), 10.
- Abida, R., El Amraoui, L., Ricaud, P., Lahoz, W., Eskes, H., Segers, A., ... y Veihelmann, B. (2016). Impact of spaceborne carbon monoxide observations from the s-5p platform on tropospheric composition analyses and forecasts. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2016(2), 1-1.
- Agustí-Panareda, A., Massart, S., Chevallier, F., Balsamo, G., Boussetta, S., Dutra, E., y Beljaars, A. (2016). A biogenic CO₂ flux adjustment scheme for the mitigation of large-scale biases in global atmospheric CO₂ analyses and forecasts. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(16), 10399-10418.
- Álvarez-Francoso, J.I. (2016). Geovisualización de grandes volúmenes de datos ambientales. Diseño e implementación de un sistema para el acceso y la difusión de datos globales. (Tesis doctoral inédita). Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Annalee, Y., Tord, K., Theo, de K., y Tee, L. G. (2016). Salud Ambiental Básica. *Applied Economics Letters* (Vol. 23).
- Aránguez, E., Ordóñez, J. M., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández-Patier, R., Gandarillas, A., y Galán, I. (1999). Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. *Revista española de salud pública*, 73(2), 123-132.
- Avraam, M. (2009). Geoweb, web mapping and web GIS. Disponible online vía: <http://michalisavraam.org/2009/03/geoweb-web-mapping-and-web-gis/> Accedido el 27 de julio de 2022.
- Boldo, E. (2016). La contaminación del aire. Instituto de Salud Carlos III.
- de Leeuw, F. A. (2002). A set of emission indicators for long-range transboundary air pollution. *Environmental Science & Policy*, 5(2), 135-145.
- CAMS (2022). Copernicus Atmosphere Monitoring Service, homepage. Disponible online vía: <https://atmosphere.copernicus.eu>. Accedido el 01 de agosto de 2022.
- Castillo, S., Alastuey, A., Cuevas, E., Querol, X., y Avila, A. (2017). Quantifying dry and wet deposition fluxes in two regions of contrasting African influence: The NE Iberian Peninsula and the Canary Islands. *Atmosphere*, 8(5), 86.
- Clements, N., Hannigan, M. P., Miller, S. L., Peel, J. L., y Milford, J. B. (2016). Comparisons of urban and rural PM_{10-2.5} and PM_{2.5} mass concentrations and semi-volatile fractions in northeastern Colorado. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(11), 7469-7484.
- ECMWF (2022). CAMS: Global atmospheric composition forecast data documentation. Disponible online vía: <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/CAMS%3A+Global+atmospheric+composition+forecast+data+documentation#heading-References>. Accedido el 01 de agosto de 2022.
- ECMWF (2022). CAMS Regional: European air quality analysis and forecast data documentation. Disponible online vía: <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/CAMS+Regional%3A+European+air+quality+analysis+and+forecast+data+documentation>. Accedido el 01 de agosto de 2022.
- EEA (2020). Air Pollution. European Environmental Agency. Disponible online via: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/intro>. Accedido el 19 de julio de 2022.

- Elwood, S., y Leszczynski, A. (2013). New spatial media, new knowledge politics. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 38(4), 544-559.
- EPA (2022). Nitrogen Dioxide (NO₂) Pollution. United States Environmental Protection Agency. Disponible online vía: <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2#What%20is%20NO2>. Accedido el 6 de septiembre de 2022.
- González, M. Á., Arasa, R., Gámez, P., Picanyol, M., y Campa, P. (2019). Effects of increasing the surface reflectance over air quality levels using WRF-BEM/AEMM/CMAQ: application over the city of Madrid. *International Journal of Environment and Pollution*, 65(1-3), 195-210.
- Gvozdić, V., Kovač-Andrić, E., y Brana, J. (2011). Influence of meteorological factors NO₂, SO₂, CO and PM₁₀ on the concentration of O₃ in the urban atmosphere of Eastern Croatia. *Environmental modeling & assessment*, 16(5), 491-501.
- Harciníková, T., Benová, A., Feciskanin, R., Chudý, R., Kožuch, M., Pelech, V., ... y Mičietová, E. (2017). Data styling in web mapping applications with a focus on environmental health. *Geodesy and Cartography*, 43(4), 131-141.
- Hill, J., Goodkind, A., Tessum, C., Thakrar, S., Tilman, D., Polasky, S., ... y Marshall, J. (2019). Air-quality-related health damages of maize. *Nature Sustainability*, 2(5), 397-403.
- Hoque, M. M., Ashraf, Z., Kabir, H., Sarker, E., y Nasrin, S. (2020). Meteorological influences on seasonal variations of air pollutants (SO₂, NO₂, O₃, CO, PM_{2.5} and PM₁₀) in the Dhaka Megacity. *Am. J. Pure Appl. Biosci*, 2, 15-23.
- Hou, Y., Wang, L., Zhou, Y., Wang, S., Liu, W., y Zhu, J. (2019). Analysis of the tropospheric column nitrogen dioxide over China based on satellite observations during 2008–2017. *Atmospheric Pollution Research*, 10(2), 651-655.
- Jacobson, M. Z. (2002). Atmospheric pollution: history, science, and regulation. Cambridge University Press.
- Joksić, J. D., Radenković, M., Cvetković, A., Matić-Besarabić, S., Jovašević-Stojanović, M., Bartonova, A., y Yttri, K. E. (2010). Variations of PM₁₀ mass concentrations and correlations with other pollutants in Belgrade urban area. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly /CICEQ*, 16(3), 251-258.
- Kaplan, G., y Avdan, Z. Y. (2020). Space-borne air pollution observation from sentinel-5p tropomi: Relationship between pollutants, geographical and demographic data. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 5(3), 130-137.
- Kim, M. J., Park, R. J., y Kim, J. J. (2012). Urban air quality modeling with full O₃–NO_x–VOC chemistry: Implications for O₃ and PM air quality in a street canyon. *Atmospheric Environment*, 47, 330-340.
- Knoth, C., Slimani, S., Appel, M., y Pebesma, E. (2018). Combining automatic and manual image analysis in a web-mapping application for collaborative conflict damage assessment. *Applied Geography*, 97, 25-34.
- Liu, J., Mauzerall, D. L., Chen, Q., Zhang, Q., Song, Y., Peng, W., ... y Zhu, T. (2016). Air pollutant emissions from Chinese households: A major and underappreciated ambient pollution source. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(28), 7756-7761.

- Liu, S., Fang, S., Liang, M., Sun, W., y Feng, Z. (2019). Temporal patterns and source regions of atmospheric carbon monoxide at two background stations in China. *Atmospheric Research*, 220, 169-180.
- Liu, X., Ran, L., Lin, W., Xu, X., Ma, Z., Dong, F., ... y Wang, Y. (2022). Measurement report: Variations in surface SO₂ and NO_x mixing ratios from 2004 to 2016 at a background site in the North China Plain. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22(10), 7071-7085.
- Ma, X., Zhang, T., Ji, C., Zhai, Y., Shen, X., y Hong, J. (2021). Threats to human health and ecosystem: Looking for air-pollution related damage since 1990. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145, 111146.
- Mateos, A. C., Amarillo, A. C., Tavera Busso, I., y González, C. M. (2018). Evaluación espacial y temporal de la contaminación por SO₂, NO₂, O₃ y CO en la ciudad de Córdoba. *Revista De La Facultad De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 5(2), 47.
- Michna, P., y Woods, M. (2013). RNetCDF—A package for reading and writing NetCDF datasets. *The R Journal*, 5(2), 29-36.
- Minguillón, M. C., Campos, A. A., Cárdenas, B., Blanco, S., Molina, L. T., y Querol, X. (2014). Mass concentration, composition and sources of fine and coarse particulate matter in Tijuana, Mexico, during Cal-Mex campaign. *Atmospheric Environment*, 88, 320-329.
- MITECO (n.d.). Redes de calidad del aire autonómicas y locales. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Gobierno de España. Disponible online via: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/evaluacion-datos/redes/> Accedido el 26 de julio de 2022.
- OGC (2022). Web Map Service, Open Geospatial Consortium. Disponible online vía: <https://www.ogc.org/standards/wms> Accedido el 6 de septiembre de 2022.
- Pérez, J. E. (2019). Introducción a JavaScript. Disponible online vía: <https://uniwebsidad.com/libros/javascript?from=librosweb> Accedido el 5 de agosto de 2022.
- QGIS (2022). QGIS, homepage. Disponible online vía: <https://qgis.org/es/site/>. Accedido el 25 de agosto de 2022.
- Querol, X., Viana, M., Moreno, T., y Alastuey, A. (2012). Bases científico-técnicas para un Plan Nacional de Calidad del Aire. CSIC, 349.
- Quintanilla, A., Márquez, J., Baños, C., y Sánchez, J. (2011). WizardGIS, un asistente de generación de visores cartográficos personalizados. *Instituto de Desarrollo Regional (IDR) UCLM y SIGTEL Geomática S.L., España*.
- Quintero, V. G., Ruiz, E. M., Rassi, A. R., Luna, M. A. G., y Belalcazar, L. C. (2021). Empleo de datos satelitales para estimación de contaminación atmosférica por material particulado en La Habana. *Revista Cubana de Meteorología*, 27(1).
- Rajab, J. M., Ahmed, H. S., y Moussa, H. A. (2013). Monthly carbone monoxide (CO) distribution based on the 2010 MOPITT satellite data in Iraq. *Iraqi Journal of Science*, 54(5), 1183-1192.
- Regueira, Y. M., Schlatter, S., Diaz, G., y Portilla, C. (2009). Determinación de la concentración de dióxido de nitrógeno en la atmósfera de Ciudad de La Habana mediante captadores pasivos. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 40(1), 023-025.

- Rozante, J. R., Rozante, V., Souza, D., Ocimar, A., Barboza, J., Siqueira, M. T., y Moreira, D. S. (2017). Variations of carbon monoxide concentrations in the megacity of São Paulo from 2000 to 2015 in different time scales. *Atmosphere*, 8(5), 81.
- Sack, C. M. (2018). The status of web mapping in North American higher education. *Cartographic Perspectives*, (89), 25-43.
- Schulz, M., Errera, Q., Ramonet, M., Sudarchikova, N., Eskes, H.J., Basart, S., ... y Zerefos, C. (2021). Validation report of the CAMS near-real-time global atmospheric composition service: Period December 2020 - February 2021. Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) report.
- Seinfeld, J.H., y Pandis, S.N. (2006) *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York.
- Shindell, D., Faluvegi, G., Walsh, M., Anenberg, S. C., Van Dingenen, R., Muller, N. Z., ... y Milly, G. (2011). Climate, health, agricultural and economic impacts of tighter vehicle-emission standards. *Nature Climate Change*, 1(1), 59-66.
- Theys, N., Hedelt, P., De Smedt, I., Lerot, C., Yu, H., Vlietinck, J., ... y Van Roozendaal, M. (2019). Global monitoring of volcanic SO₂ degassing with unprecedented resolution from TROPOMI onboard Sentinel-5 Precursor. *Scientific reports*, 9(1), 1-10.
- Tiwari, S., Dahiya, A., y Kumar, N. (2015). Investigation into relationships among NO, NO₂, NO_x, O₃, and CO at an urban background site in Delhi, India. *Atmospheric Research*, 157, 119-126.
- Ubaldi, B. (2013). Open Government Data: Towards Empirical Analysis of Open Government Data Initiatives. *OECD Working Papers on Public Governance 22*, OECD Publishing.
- Velarde-Mautino, J. A. (2014). Red de vigilancia de la calidad del aire de la ciudad de Madrid– Comparación técnica–Legislativa con la ciudad de Lima.
- Veenendaal, B., Brovelli, M. A., y Li, S. (2017). Review of web mapping: Eras, trends and directions. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(10), 317.
- Vitturini, M., y Fillottrani, P. R. (2008). Interoperabilidad y estándares de datos para información geográfica. En: *XIV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*.
- Wanner, H. U. (1993). Effects of atmospheric pollution on human health. *Experientia*, 49(9), 754-758.
- Zhang, Q., He, K., y Huo, H. (2012). Cleaning China's air. *Nature*, 484(7393), 161-162.
- Zheng, Z., Ren, G., Wang, H., Dou, J., Gao, Z., Duan, C., ... y Yang, Y. (2018). Relationship between fine-particle pollution and the urban heat island in Beijing, China: Observational evidence. *Boundary-Layer Meteorology*, 169(1), 93-113.



Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y BIOCENCIAS
NEKAZARITZAKO INGENIARITZAKO ETA BIOZIENTZIETAKO GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA

ANEXO I. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN

presentado por

IÑIGO MELER USTÉS (e)k

aurkeztua

MÁSTER UNIVERSITARIO EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN
UNIBERTSITATE MASTERRA INFORMAZIO GEOGRAFIKOKO SISTEMETAN ETA TELEDETEKZIOAN



Septiembre, 2022 / 2022, Iraila

ÍNDICE

1. CÓDIGO HTML.....	2
2. CÓDIGO JAVASCRIPT	3
2.1. <i>Función de inicio del mapa</i>	3
2.2. <i>Función de control de capas</i>	7
2.3. <i>Funciones de control de la dimensión temporal de las capas de información</i>	8
2.4. <i>Función de mejora del pop-up de concentraciones</i>	11
2.5. <i>Función de creación del icono de información</i>	12

1. CÓDIGO HTML

A través de las siguientes líneas de código se ha creado el archivo HTML para el desarrollo del visor web con las nuevas funcionalidades que, posteriormente se introducirán en la KunakCloud.

```
<!DOCTYPE html>
<html>
  <head>
    <title>VISOR_KUNAK2</title>
    <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=UTF-8">

    <!-- LEAFLET1 -->
    <!-- Incluir el estilo de la librería -->
    <link rel="stylesheet" type="text/css" href="./jslib/leaflet/leaflet.css">
    <!-- Incluir LibreríaLeafLet v1.7.1 en local-->
    <link rel="stylesheet" href="https://unpkg.com/leaflet@1.8.0/dist/leaflet.
css" integrity="sha512-hoalWLoI8r4UuszCkZ5kL8vayOGVaeloxXe/2A4A06J9+580uKHDO
3JdHb7NzwwzK5xr/Fs0W40kiNHxM9vyTtQ==" crossorigin="" />
    <script type="text/javascript" src="./jslib/leaflet/leaflet.js"></script>
    <script type="text/javascript" src = "./jslib/leaflet_plugins/Leaflet
.fullscreen.min.js"></script>
    <!-- Incluir Código del programa con esta librería-->
    <script type="text/javascript" src="./js/jquery-2.2.4.min.js"></script>
    <script type="text/javascript" src="./js/jquery-ui-1.10.4.min.js"></script>
    <script type="text/javascript" src="./js/ion.rangeSlider.min.js"></script>
    <script type="text/javascript" src="./js/VISOR_KUNAK2.js"></script>
    <script type="text/javascript" src="./js/leaflet.wms.js"></script>

    <!-- ESTILOS -->
    <!-- Incluir un estilo general -->
    <link rel="stylesheet" type="text/css" href="./css/General.css">
    <!-- Incluir un estilo para elementos de esta página -->
    <link rel="stylesheet" type="text/css" href="./css/VISOR_KUNAK2.css">
  </head>

  <!-- ESTRUCTURA -->
  <body onload="init()">
    <div id="Mapa1"></div>
  </body>
</html>
```

2. CÓDIGO JAVASCRIPT

En los apartados que se muestran a continuación se observan los códigos de JavaScript desarrollados para generar las funciones de inserción y manejo de las nuevas funcionalidades del visor web: función de inicio del mapa, función de control de las capas, funciones de creación y manejo de la dimensión temporal, funciones de creación de las leyendas, funciones de desarrollo del pop-up y funciones para la generación del icono de información.

2.1. Función de inicio del mapa

A todas las diferentes variables creadas con datos de las capas se les ha dado la condición de “indefinidas” para que a través del uso de las diferentes funciones desarrolladas se vayan definiendo y funcionen correctamente.

```
var micapa3 = undefined, micapa4 = undefined, micapa5 = undefined, micapa6 =
undefined, micapa7 = undefined, micapa8 = undefined;
var micapa13 = undefined, micapa14 = undefined, micapa15 = undefined, micapa16 =
undefined, micapa17 = undefined, micapa18 = undefined;

var overlays = undefined;
var control = undefined;
var source = undefined, source2 = undefined;
var MySource = undefined;

var no2popupLayer = undefined; so2popupLayer = undefined; copopupLayer = undefined;
o3popupLayer = undefined; pm2p5popupLayer = undefined; pm10popupLayer = undefined;
var no2eupopupLayer = undefined; so2eupopupLayer = undefined; coeupopupLayer =
undefined; o3eupopupLayer = undefined; pm2p5eupopupLayer = undefined;
pm10eupopupLayer = undefined;
```

La función `init_mapa1()` se trata de la función que ocupa la parte principal del código, siendo la que inicia el mapa en el visor web. Todas las líneas de código contenidas en esta función se ejecutarán nada más se inicie el mapa del visor web (la interfaz principal) y contiene el código para:

- Crear el mapa necesario en un visor web e insertar tanto las capas base como las 12 capas de contaminantes atmosféricos a partir del servicio WMS. En este caso, únicamente se han muestra el código de cuatro capas de información, el resto es repetir el código cambiando el nombre del parámetro `layers` por el que corresponde en cada caso.

```
function init_Mapal() {
  //Crear mapa en el elemento DOM
  mapa1 = new L.map(
    'Mapa1',
    {center: [43, 1],
      zoom:4
    }
  );

  //Capas base
  micapa1 = new L.TileLayer(
    'http://{s}.tile.osm.org/{z}/{x}/{y}.png'
  );
  mapa1.addLayer(micapa1);
  micapa2 = new L.TileLayer(
    'https://mtl.google.com/vt/lyrs=y&x={x}&y={y}&z={z}'
  );
  mapa1.addLayer(micapa2);
```

```

//Capas contaminantes GLOBAL
micapa3 =
L.tileLayer.wms('http://eccharts.ecmwf.int/wms/?token=public&request=GetCapabilities&version=1.3.0', {
  layers: 'composition_no2_surface',
  time: getCurrentDate(),
  format: 'image/png',
  transparent: true,
  attribution: 'CAMS',
  opacity: 0.5
});
micapa4 =
L.tileLayer.wms('http://eccharts.ecmwf.int/wms/?token=public&request=GetCapabilities&version=1.3.0', {
  layers: 'composition_so2_surface',
  time: getCurrentDate(),
  format: 'image/png',
  transparent: true,
  attribution: 'CAMS',
  opacity: 0.5
});

//Capas contaminantes EUROPA
micapa13 =
L.tileLayer.wms('http://eccharts.ecmwf.int/wms/?token=public&request=GetCapabilities&version=1.3.0', {
  layers: 'composition_europe_no2_forecast_surface',
  time: getCurrentDate2(),
  format: 'image/png',
  transparent: true,
  attribution: 'CAMS',
  opacity: 0.5
});
micapa14 =
L.tileLayer.wms('http://eccharts.ecmwf.int/wms/?token=public&request=GetCapabilities&version=1.3.0', {
  layers: 'composition_europe_so2_forecast_surface',
  time: getCurrentDate2(),
  format: 'image/png',
  transparent: true,
  attribution: 'CAMS',
  opacity: 0.5
});

```

- b. Crear el pop-up de las diferentes capas de contaminantes atmosféricos en las unidades requeridas (ug/m3) y asignar el texto “No hay datos disponibles” en los casos en los que no haya datos de concentración del contaminante.

```

//Popup consulta concentración
MySource = L.WMS.Source.extend({
  'showFeatureInfo': function(latlng, info) {
    if (!this._map){return;}
    console.log(info);
    var pollutant = getPollutant(info.split("\n")[1]);
    var value = parseFloat(info.split("\n")[3].replace("Value: ",""));
    .split(" ")[0];
    if(pollutant=="NO2"){
      value = Math.round(value*1.9125);
    }
    if(pollutant=="SO2"){
      value = Math.round(value*2.6609);
    }
    if(pollutant=="CO"){
      value = Math.round(value*1.1642);
    }
  }
});

```

```

        if(pollutant==="O3"){
            value = Math.round(value*1.9957);
        }
        if(pollutant==="PM2.5"){
            value = Math.round(value*1);
        }
        if(pollutant==="PM10"){
            value = Math.round(value*1);
        }
        if(pollutant==="NO2 EU"){
            value = Math.round(value*1);
        }
        if(pollutant==="SO2 EU"){
            value = Math.round(value*1);
        }
        if(pollutant==="CO EU"){
            value = Math.round(value*1);
        }
        if(pollutant==="O3 EU"){
            value = Math.round(value*1);
        }
        if(pollutant==="PM2.5 EU"){
            value = Math.round(value*1);
        }
        if(pollutant==="PM10 EU"){
            value = Math.round(value*1);
        }
        if(pollutant===undefined){
            this._map.openPopup("No hay datos disponibles", latlng);
        }
        else{
            this._map.openPopup(pollutant+": "+value+" ug/m3", latlng);
        }
    }
});

```

- c. Crear las variables *source* y *source2*, para obtener los datos actualizados en todo momento al ejecutarse otras funciones que las empleen.

```

    source = new
MySource("http://eccharts.ecmwf.int/wms/?token=public&request=GetCapabilities&versi
on=1.3.0", {
    'transparent': true,
    'tiled': true,
    'time': getCurrentDate()
});
    source2 = new
MySource("http://eccharts.ecmwf.int/wms/?token=public&request=GetCapabilities&versi
on=1.3.0", {
    'transparent': true,
    'tiled': true,
    'time': getCurrentDate2()
});

```

- d. Crear el control de capas para las capas base así como de las capas de información en base al plugin *L.control.layers()* de la librería Leaflet.

```

//Control de las capas
var baseLayers = {
    'OSM': micapa1,
    'Satelite': micapa2
};
overlays = {
    'NO2': micapa3,

```

```

'SO2': micapa4,
'CO': micapa6,
'O3': micapa7,
'PM2.5': micapa5,
'PM10': micapa8,
'NO2 EU': micapa13,
'SO2 EU': micapa14,
'CO EU': micapa16,
'O3 EU': micapa17,
'PM2.5 EU': micapa15,
'PM10 EU': micapa18
};
control = L.control.layers(baseLayers, overlays);
control.addTo(map1);

```

- e. Crear el contenido de cada una de las leyendas de las capas de información. En este caso, debido a su extensión, únicamente se muestra el código para la establecer los parámetros de la leyenda del NO2. El resto de las leyendas se desarrollarán siguiendo este código.

```

//Leyendas de cada contaminante GLOBAL
//Leyenda NO2
$("#Mapa1 .leaflet-control-container").append('<div id="legendColourNO2"
class="legend-pollutant" style="display:none; cursor: pointer; font-family:
&quot;Ubuntu&quot;; padding: 5px 0px 5px 0px; position: absolute; top: 197px;
height: auto; left: 10px; width: 80px; z-index: 988;background-color: rgba(0, 0, 0,
0.4);"><div id="grad-heatMap" style="height: 180px;width: 22px; background-
image: linear-
gradient(#5e1316,#af000e,#e21e1f,#ee8239,#f5b532,#fecf38,#fff49b,#9fca70,#4db35f,#0
09273,#005ca1,#007dc1,#039fe1,#90c7e7);border-radius: 15px;display: inline-
block;"></div><div id="max_heatmap" style="display: inline-block;top: 2px;position:
absolute;margin-left: 3px;font-weight: bold; text-shadow: 0.1em 0.1em 0.2em
#5e6770; color: white;">=191.25</div><div style="display: inline-block;top:
54px;position: absolute;margin-left: 3px;font-weight: bold; text-shadow: 0.1em
0.1em 0.2em #5e6770; color: white;"id="70_heatmap">23.52</div><div style="display:
inline-block;top: 90px;position: absolute;margin-left: 3px;font-weight: bold; text-
shadow: 0.1em 0.1em 0.2em #5e6770; color: white;" id="50_heatmap">1.91</div><div
style="display: inline-block;top: 126px;position: absolute;margin-left: 3px;font-
weight: bold; text-shadow: 0.1em 0.1em 0.2em #5e6770; color: white;"
id="30_heatmap">0.38</div><div id="min_heatmap" style="display: inline-block;top:
170px;position: absolute;margin-left: 3px;font-weight: bold; text-shadow: 0.1em
0.1em 0.2em #5e6770; color: white;">0.02</div></div><p style="margin-bottom: 0px;
font-weight: bold;color: white;text-shadow: 0.1em 0.1em 0.2em #5e6770;"
id="tag_heatmap">NO2 (ug/m3)</p></div>');
disabledEventsInMap('legendColourNO2');

```

- f. Crear el evento que permita, a través de la selección en el controlador de capas, aparecer o desaparecer las leyendas y los valores de pop-up de las capas de información. En este caso, únicamente se muestra el código de dos capas. Para el resto se han realizado siguiendo este código y cambiando los nombres de las capas insertadas en el código, en cada caso.

```

//Evento para que, con el check, aparezca y desaparezca la leyenda y el pop-up
global
$(function().leaflet-control-layers-overlays
input[type='checkbox']")[0].on("change",function(){
if($("#legendColourNO2").show();
no2popupLayer =
source.getLayer("composition_no2_surface").addTo(map1);
}
else{
$("#legendColourNO2").hide();
if(no2popupLayer!=undefined){

```

```

        mapal.removeLayer(no2popupLayer);
        no2popupLayer = undefined;
    }
}
});

//Evento para que con el check aparezca y desaparezca la leyenda y el pop-up de
europa
$( $("#leaflet-control-layers-overlays
input[type='checkbox']")[6]).on("change",function(){
    if($("#leaflet-control-layers-overlays
input[type='checkbox']")[6].is(":checked")){
        $("#legendColourNO2EU").show();
        no2eupopupLayer =
source2.getLayer("composition_europe_no2_forecast_surface").addTo(mapal);
    }
    else{
        $("#legendColourNO2EU").hide();
        if(no2eupopupLayer!=undefined){
            mapal.removeLayer(no2eupopupLayer);
            no2eupopupLayer = undefined;
        }
    }
});

```

Finalmente, se han insertado las funciones de creación de la barra temporal y el calendario, así como las de desarrollo del icono de información dentro de esta función principal, para que se puedan ejecutar tan pronto como se inicie el mapa del visor web.

```

    addSliderInMap();
    addLegendOperationInMap();
}

```

2.2. Función de control de capas

A parte del código insertado para la creación del control de capas a partir del plugin de Leaflet como se ha visto en el apartado anterior, a continuación, se observa la función *changWMSLayer()* que consta de tres partes de código en JavaScript, diferenciadas y complementarias entre sí, para:

- Una vez seleccionada una determinada capa de contaminante atmosférico en el controlador de capas, establecer los parámetros de la fecha en base a lo seleccionado en la interfaz del visor y que se visualice con transparencia.
- Actualizar la dimensión de la capa temporal a los parámetros requeridos según la fecha y hora elegida. (varía según se seleccionen capas de contaminantes atmosféricos globales o capas europeas).
- Eliminar la antigua capa y el pop-up con el valor de concentración de esa capa, y hacer una llamada al servicio WMS que actualice la capa seleccionada en última instancia.

En este caso, únicamente se muestra el código de dos capas. Para el resto se han realizado siguiendo este y cambiando los nombres de las capas insertadas en el código, en cada caso.

```

function changeWMSLayers(date, date2){
    micapa3.setParams({"time": date, "opacity": $("#leaflet-control-layers-
overlays input[type='checkbox']")[0].is(":checked")?0.5:0 , false);
    micapa4.setParams({"time": date, "opacity": $("#leaflet-control-layers-
overlays input[type='checkbox']")[1].is(":checked")?0.5:0 , false);
}

```

```

    //Cambio de fecha = cambio del valor del pop-up -- actualización del pop-up
    según fecha.
    source =undefined;
    source = new
MySource("http://eccharts.ecmwf.int/wms/?token=public&request=GetCapabilities&versi
on=1.3.0", {
    'transparent': true,
    'tiled': true,
    'time': date
});
source2 =undefined;
source2 = new
MySource("http://eccharts.ecmwf.int/wms/?token=public&request=GetCapabilities&versi
on=1.3.0", {
    'transparent': true,
    'tiled': true,
    'time': date2
});
if($($(".leaflet-control-layers-overlays
input[type='checkbox']")[0]).is(":checked")){
    mapa1.removeLayer(no2popupLayer);
    no2popupLayer = undefined;
    no2popupLayer = source.getLayer("composition_no2_surface").addTo(mapa1);
}
if($($(".leaflet-control-layers-overlays
input[type='checkbox']")[1]).is(":checked")){
    mapa1.removeLayer(so2popupLayer);
    so2popupLayer = undefined;
    so2popupLayer = source.getLayer("composition_so2_surface").addTo(mapa1);
}
}
}

```

2.3. Funciones de control de la dimensión temporal de las capas de información

Con las líneas de código siguientes se han desarrollado las diferentes funciones y variables el correcto manejo de la dimensión temporal de las capas de información:

- Función *addSliderInMap()*: para la creación de la barra temporal (imagen superior) y el calendario (imagen inferior) para seleccionar la fecha requerida por el usuario del visor web.
- función *getHour()*: añadida a las variables *hour* y *date* para que el visor únicamente devuelva los datos de las capas pertenecientes a las horas que sean múltiplos del 3 (capas de predicciones globales).
- Función *initDatePicker()*: permite que en el calendario se puedan seleccionar días previos y futuros al día actual de cada momento, así como poder seleccionar el año deseado. Este código establece también cual es el formato de la fecha que emplea el calendario.
- Función *disabledEventsInMap()*: para restringir ciertos eventos dentro del mapa y cuando estemos encima de la barra temporal y el calendario únicamente se interactúe con estas dos nuevas funcionalidades, impidiendo así que se mueva el mapa de fondo.
- Función *getCurrentDay()*: para identificar la fecha actualizada de cada momento.
- Funciones *getCurrentDate()* y *getCurrentDate2()*: para obtener tanto las fechas como las horas de las capas de información.
- Función *getDateCorrectFormToSend()*: para identificar de forma correcta la fecha de los datos presentes dentro del servicio WMS del que se obtienen las capas de información.

```

function addSliderInMap(){
    $("#Mapa1 .leaflet-control-container").append("<div id='dateFilterMap'
style='overflow: hidden;border-bottom-left-radius: 70px;border-bottom-right-radius:

```

```

70px;border-top-left-radius: 70px;border-top-right-radius: 70px;background-color:
transparent;'><form class='smart-form'><label class='input'><i class='fa fa-
calendar icon-append' style='color: white;'></i><input style='background-color:
rgba(153, 153, 153, 1); color: white; border: 0px; outline: none' id='dateMap'
type='text' name='dateMap' class='form-control' autocomplete='off'
readonly></label></form></div><div id='sliderDate'><form><div class='form-group'
style='padding-left: 10px; padding-right:10px;margin-bottom: 0px;'><input
id='range-slider-3' type='text' name='range_2a'
value=''></div></div></form></div>");
    date = new Date();
    $("#range-slider-3").val(date.getUTCHours());
    var timezone = "UTC";
    $("#range-slider-3").ionRangeSlider({
        min: 0,
        from: date.getUTCHours(),
        max: 23,
        type: 'single',
        step: 1,
        postfix: ":00 h (" + timezone + ")",
        prettify: false,
        grid: true,
        grid_snap: true,
        onFinish: function (data) {
            $("#range-slider-3").val(data.from);
            var hour = getHour(data.from);
            var hour2 = data.from;
            var date =
dom_date_filter_map.val()+"T"+(hour<10?"0"+hour:hour)+":00:00Z";
            var date2 =
dom_date_filter_map.val()+"T"+(hour2<10?"0"+hour2:hour2)+":00:00Z";
            changeWMSLayers(date, date2);
        }
    });
    $(".irs-grid span.small").hide();

    dom_date_filter_map = $("#dateFilterMap #dateMap");
    initDatePicker(dom_date_filter_map);
    dom_date_filter_map.val(getCurrentDay());
    dom_date_filter_map.off("change");
    dom_date_filter_map.on("change", function(){
        var hourToCalculate =$("#range-slider-3").val();
        hourToCalculate =
hourToCalculate<10?("0"+hourToCalculate+":00:00"):(hourToCalculate+":00:00")
        var date = new Date(getDateCorrectFormToSend(dom_date_filter_map.val()+"
"+hourToCalculate));
        var timezone = "UTC";
        rangeSelector = $("#range-slider-3").data("ionRangeSlider");
        rangeSelector.destroy();
        $("#range-slider-3").ionRangeSlider({
            min: 0,
            from: date.getUTCHours(),
            max: 23,
            type: 'single',
            step: 1,
            postfix: ":00 h (" + timezone + ")",
            prettify: false,
            grid: true,
            grid_snap: true,
            onFinish: function (data) {
                $("#range-slider-3").val(data.from);
                var hour = getHour(data.from);
                var hour2 = data.from;
                var date =
dom_date_filter_map.val()+"T"+(hour<10?"0"+hour:hour)+":00:00Z";
                var date2 =
dom_date_filter_map.val()+"T"+(hour2<10?"0"+hour2:hour2)+":00:00Z";
                changeWMSLayers(date, date2);
            }
        });

```

```

    });
    $(".irs-grid span.small").hide();
    var hour = getHour($("#range-slider-3").val());
    var date = dom_date_filter_map.val()+"T"+(hour<10?"0"+hour:hour)+":00:00Z";
    var hour2 = $("#range-slider-3").val();
    var date2 =
dom_date_filter_map.val()+"T"+(hour2<10?"0"+hour2:hour2)+":00:00Z";
    changeWMSLayers(date, date2);
    return false;
  });
  disabledEventsInMap('sliderDate');
  disabledEventsInMap('dateFilterMap');
}

function getHour(hour){
  if(hour%3===0){
    return hour
  }
  else{
    return 3*Math.floor(hour/3);
  }
}

function initDatePicker(domInput){
  domInput.datepicker();
  domInput.datepicker("option", "prevText", "<");
  domInput.datepicker("option", "nextText", ">");
  domInput.datepicker("option", "dateFormat", "yy-mm-dd" );
  domInput.datepicker("option", "changeYear", true);
}

function disabledEventsInMap(tag){
  var el = document.getElementById(tag);
  L.DomEvent.disableScrollPropagation(el);
  L.DomEvent.disableClickPropagation(el);
}

function getCurrentDay(timeZone){
  d = new Date();
  if(timeZone!==undefined){
    d = new Date(d.toLocaleString("en-US", {timeZone: timeZone}));
  }
  day = d.getUTCDate()+"";
  day = day.length===1?"0"+day:day;
  year = (d.getYear()+1900)+"";
  month = (d.getUTCMonth() + 1)+"";
  month = month.length===1?"0"+month:month;
  return year+"-"+month+"-"+day;
}

function getCurrentDate(){
  var d = new Date();
  var day = d.getUTCDate()+"";
  day = day.length===1?"0"+day:day;
  var year = (d.getYear()+1900)+"";
  var month = (d.getUTCMonth() + 1)+"";
  month = month.length===1?"0"+month:month;
  var hour = getHour(d.getUTCHours());
  return year+"-"+month+"-"+day+"T"+(hour<10?"0"+hour:hour)+":00:00Z";
}

function getCurrentDate2(){
  var d = new Date();
  var day = d.getUTCDate()+"";
  day = day.length===1?"0"+day:day;
  var year = (d.getYear()+1900)+"";
  var month = (d.getUTCMonth() + 1)+"";
  month = month.length===1?"0"+month:month;

```

```

    var hour = d.getUTCHours();
    return year+"-"+month+"-"+day+"T"+(hour<10?"0"+hour:hour)+":00:00Z";
}

function getDateCorrectFormToSend(dateString) {
    var first = dateString.split("-")[0];
    if(first.length==4){
        return dateString;
    }
    else{
        return dateString.split("-")[2]+"-"+dateString.split("-")[1]+"-
"+dateString.split("-")[0]
    }
}

```

2.4. Función de mejora del pop-up de concentraciones

Se trata de una función generada para cambiar parte del texto mostrado en las etiquetas generadas con el valor de las concentraciones de los diferentes contaminantes.

```

function getPollutant(text) {
    if(text.includes("composition_pm2p5")){
        return "PM2.5";
    }
    else if(text.includes("composition_pm10")){
        return "PM10";
    }
    else if(text.includes("composition_no2_surface")){
        return "NO2";
    }
    else if(text.includes("composition_so2_surface")){
        return "SO2";
    }
    else if(text.includes("composition_o3_surface")){
        return "O3";
    }
    else if(text.includes("composition_co_surface")){
        return "CO";
    }
    else if(text.includes("composition_europe_pm10_forecast_surface")){
        return "PM10 EU";
    }
    else if(text.includes("composition_europe_no2_forecast_surface")){
        return "NO2 EU";
    }
    else if(text.includes("composition_europe_so2_forecast_surface")){
        return "SO2 EU";
    }
    else if(text.includes("composition_europe_o3_forecast_surface")){
        return "O3 EU";
    }
    else if(text.includes("composition_europe_co_forecast_surface")){
        return "CO EU";
    }
    else if(text.includes("composition_europe_pm2p5_forecast_surface")){
        return "PM2.5 EU";
    }
}

```

2.5. Función de creación del icono de información

Mediante la siguiente función, función `addLegendOperationInMap()`, se establecieron los parámetros necesarios para la creación del icono de información con una imagen que mostrase las características principales de las capas de información seleccionadas.

```
function addLegendOperationInMap () {
    $("#Mapa1 .leaflet-control-container").append("<div
id='legendOperationMap'><div id='iconOperationLegend' style='width: 40px;height:
40px;display: flex;justify-content: center;align-items: center;'><img
src='./img/info-white.png'></img></div><div id='operationLegend' style='width:
700px; height: auto; display:none;'><div class='x' style='z-index: 100; margin-
right: 5px;'><i class='fa fa-times' style='font-size: 18px; color: #555; cursor:
pointer; float: right;'></i></div><h3 style='margin: 5px 10px;padding:0; font-
weight: bold;font-size: 17px;justify-content: center;align-items: center;'>
PREVISIONES DE CALIDAD DEL AIRE </h3><div style='display:flex;justify-content:
center;align-items: center;'><p><img
src='./img/data.png'></img></p></div></div></div>");
    disabledEventsInMap('legendOperationMap');
    hoverLegendInDoDiv($("#legendOperationMap"), $("#operationLegend"),
$("#iconOperationLegend"));

    $("#operationLegend .x").off("click");
    $("#operationLegend .x").on("click", function () {
        $("#operationLegend").hide();
        $("#iconOperationLegend").show();
    });
}

function hoverLegendInDoDiv(domEvent, domSecond, domIcon){
    domEvent.off("mouseenter mouseleave");
    domEvent.hover(function () {
        domIcon.hide();
        domSecond.show();
    }, function () {
        domIcon.show();
        domSecond.hide();
    });
}
```