



PreZero CAM WtE AAI

ANEXO 07. ANÁLISIS DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA EN ESCENARIO DE EMISIONES MÍNIMAS (MTDs)

P727.02.I.X.004.0

Registro de revisión del documento

Revisión no	Fecha	Detalles de las revisiones	Preparado por	Revisado por
0	14/07/2026	Primera emisión	EM	FS

AVISO LEGAL

© 2026 Recuperación de Energía SAU. Todos los derechos reservados.

Este documento y los documentos que lo acompañan contienen información confidencial y están destinados únicamente al uso del PreZero. Si usted no es uno de los destinatarios previstos, cualquier divulgación, copia, distribución o acción tomada basándose en el contenido de la información está estrictamente prohibida.

Salvo acuerdo expreso, cualquier reproducción del material de este documento deberá solicitarse y autorizarse por escrito a Recuperación de Energía SAU. La reproducción autorizada de material debe incluir todos los avisos de derechos de autor y propiedad de la misma forma y manera que el original y no debe ser modificada de ninguna manera. El reconocimiento de la fuente del material también debe incluirse en todas las referencias.

1. RESUMEN EJECUTIVO.....	8
1.1. Objeto del Estudio.....	8
1.2. Metodología empleada.....	8
1.3. Contaminantes analizados	9
1.4. Resultados principales.....	10
2. ESTUDIO DE EMISIÓN Y DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES	13
2.1. Introducción	13
2.2. Situación de la instalación.....	14
2.3. Descripción de los puntos de emisión atmosférica	16
2.4. Catalogación según CAPCA	18
2.5. Descripción del modelo de dispersión utilizado: AERMOD.....	19
3. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS DE ENTRADA AL MODELO	21
3.1. Datos Meteorológicos.....	21
3.2. Área de estudio	24
3.3. Digitalización del Entorno y Configuración de Fuentes	25
3.4. Configuración de receptores	30
3.4.1. Malla general de cálculo.....	30
3.4.2. Receptores discretos en zonas pobladas.....	30
3.4.3. Receptores discretos en espacios protegidos	32
3.5. Datos del terreno.....	33
3.6. Efecto de los edificios.....	34
3.7. Determinación de las concentraciones de fondo	36
3.7.1. Red de estaciones consideradas.....	37
3.7.2. Criterio de selección.....	38
3.7.3. Coherencia temporal con el periodo meteorológico modelizado.....	40
4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	41
4.1. Corrección de emisiones según el contenido de oxígeno	41
4.2. Valores de emisión a salida de chimenea.....	42
4.3. Visualización de los resultados en inmisión.....	44
4.3.1. Representación de contaminantes con concentración de fondo	44
4.4. Óxidos de nitrógeno (modelados como NO ₂).....	45
4.4.1. Evaluación sin concentración de fondo (Contribución de proyecto).....	45

4.4.2. Evaluación con concentración de fondo (Escenario acumulado).....	53
4.5. Partículas totales.....	59
4.5.1. Partículas PM _{2,5}	59
4.5.2. Partículas PM ₁₀	70
4.6. Dióxido de azufre.....	80
4.6.1. Límite horario.....	80
4.6.2. Límite diario.....	82
4.6.3. Límite anual.....	84
4.7. Compuestos orgánicos volátiles (COVT).....	87
4.7.1. Benceno.....	87
4.7.2. Benzo(a)pireno.....	89
4.8. Metales pesados.....	90
4.8.1. Estimación de las emisiones individuales.....	90
4.8.2. Plomo (Pb).....	91
4.8.3. Arsénico (As).....	93
4.8.4. Cadmio (Cd).....	94
4.8.5. Níquel (Ni).....	94
4.9. Mercurio (Hg).....	96
4.10. Dioxinas y furanos.....	99
4.10.1. Límite diario.....	100
4.10.2. Límite anual.....	102
4.11. Monóxido de carbono (CO).....	104
4.11.1. Límite octohorario.....	104
4.11.2. Límite diario.....	107
4.12. Amoníaco (NH ₃).....	109
4.13. Cloruro de hidrógeno (HCl).....	111
4.14. Fluoruro de hidrógeno (HF).....	113
5. COMPARACIÓN CON LA NORMATIVA APLICABLE.....	116
5.1. Evaluación del cumplimiento normativo (contribución de la instalación).....	116
5.2. Evaluación del cumplimiento normativo con concentraciones de fondo.....	118
6. ZONAS DE MAYOR IMPACTO EN INMISIÓN.....	120
6.1. Evaluación en receptores singulares.....	121
7. RESUMEN GLOBAL DE EMISIONES Y CUMPLIMIENTO DE LÍMITES (CONTRIBUCIÓN DE LA INSTALACIÓN).....	122
7.1. Resumen del cumplimiento con concentración de fondo.....	127
8. COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES.....	129

Índice de figuras

Figura 1. Comparación entre límites de calidad del aire y concentraciones modelizadas (% respecto al límite)	11
Figura 2. Contribución de la instalación a la concentración total de contaminantes	12
Figura 3. Ubicación de la parcela en España	15
Figura 4. Alrededores de la zona de estudio	15
Figura 5. Límite de actuación de la parcela	16
Figura 6. Sistema de funcionamiento del AERMOD	20
Figura 7. Rosa de los vientos de la zona objeto de estudio obtenida a partir del modelo de simulación numérica	22
Figura 8. Porcentaje de ocurrencia para cada clase de velocidad obtenida mediante el modelo.	22
Figura 9. Rosa de los vientos superpuesta sobre la zona de estudio	23
Figura 10. Temperatura en la zona de estudio según el periodo	23
Figura 11. Área de estudio	25
Figura 12. Layout georeferenciado	26
Figura 13. Características de los puntos emisores	29
Figura 14. Imagen 3D de la futura Planta de valorización	29
Figura 15 . Localización de los receptores discretos en zonas pobladas	31
Figura 16. Localización de los receptores discretos en zonas protegidas	33
Figura 17. Representación de la topografía local	34
Figura 18. Zona de Influencia de las estructuras	35
Figura 19. Área de Influencia GEP 5L de las estructuras	36
Figura 20. Red de estaciones fijas medidoras de la calidad del aire más próximas al Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama"	37
Figura 21. Fórmula para cálculo de concentración corregida según % de oxígeno	41
Figura 22. Concentración horaria más elevada de NO ₂	48
Figura 23. Concentración diaria más elevada de NO ₂	50
Figura 24. Concentración anual promedio de NO ₂	52
Figura 25. Concentración diaria más elevada de NO ₂ (con concentración de fondo)	56
Figura 26. Concentración anual de NO ₂ (con concentración de fondo)	58
Figura 27. Concentración diaria más elevada de partículas PM _{2,5}	61
Figura 28. Concentración anual promedio de partículas PM _{2,5}	63
Figura 29. Concentración diaria más elevada de PM _{2,5} (con concentración de fondo)	67
Figura 30. Concentración anual más elevada de PM _{2,5} (con concentración de fondo)	69
Figura 31. Concentración diaria más elevada de partículas PM ₁₀	72
Figura 32. Concentración anual promedio de partículas PM ₁₀	74
Figura 33. Concentración diaria más elevada de PM ₁₀ (con concentración de fondo)	77
Figura 34. Concentración anual más elevada de PM ₁₀ (con concentración de fondo)	79
Figura 35. Concentración horaria más elevada de SO ₂	81
Figura 36. Concentración diaria más elevada de SO	83
Figura 37. Concentración anual promedio de SO ₂	86
Figura 38. Concentración anual promedio de Benceno	88
Figura 39. Concentración anual promedio de Plomo (Pb)	92
Figura 40. Concentración anual promedio de Níquel (Ni)	95
Figura 41. Concentración anual promedio de Mercurio (Hg)	98

Figura 42. Concentración diaria más elevada de Dioxinas y furanos	101
Figura 43. Concentración anual promedio de Dioxinas y furanos	103
Figura 44. Concentración octohoraria más elevada de CO	106
Figura 45. Concentración diaria promedio de CO	108
Figura 46. Concentración anual promedio de amoníaco	110
Figura 47. Concentración anual promedio de Cloruro de hidrógeno	112
Figura 48. Concentración anual promedio de Fluoruro de hidrógeno	114
Figura 49. Comparación entre límites de calidad del aire y concentraciones modelizadas (% respecto al límite)	117
Figura 50 . Contribución de la instalación a la concentración total de contaminantes	119
Figura 51. Principales receptores sensibles próximos a la instalación	120

Índice de tablas

Tabla 1. Características del foco puntual correspondiente a la chimenea	17
Tabla 2. Características de los edificios de la instalación	28
Tabla 3 . Receptores discretos en zonas pobladas	31
Tabla 4. Receptores discretos en espacios protegidos.....	32
Tabla 5. Resumen de las estaciones de control del aire seleccionadas	38
Tabla 6. Valores de emisión diarios corregidos.....	43
Tabla 7. Valores de emisión semihorarios corregidos	43
Tabla 8. Concentración horaria de NO ₂ más elevada en los receptores singulares	47
Tabla 9. Concentración diaria de NO ₂ más elevada en los receptores singulares	49
Tabla 10. Concentración anual de NO ₂ más elevada en los receptores singulares	51
Tabla 11. Concentración de fondo de NO _x incorporada a la modelización	54
Tabla 12. Concentración diaria de NO ₂ más elevada en los receptores singulares con contaminación de fondo.....	55
Tabla 13. Concentración anual de NO ₂ más elevada en los receptores singulares con contaminación de fondo	57
Tabla 14. Concentración diaria de PM _{2,5} más elevada en los receptores singulares	62
Tabla 15. Concentración anual de PM _{2,5} más elevada en los receptores singulares	64
Tabla 16. Concentración de fondo de PM _{2,5} incorporada a la modelización	65
Tabla 17. Concentración diaria de PM _{2,5} más elevada en los receptores singulares con contaminación de fondo	66
Tabla 18. Concentración anual de PM _{2,5} más elevada en los receptores singulares con contaminación de fondo	68
Tabla 19. Concentración diaria de PM ₁₀ más elevada en los receptores singulares	71
Tabla 20. Concentración anual de PM ₁₀ más elevada en los receptores singulares	73
Tabla 21. Concentración de fondo de PM ₁₀ incorporada a la modelización.....	76
Tabla 22. Concentración diaria de PM ₁₀ más elevada en los receptores singulares con contaminación de fondo	76
Tabla 23. Concentración anual de PM ₁₀ más elevada en los receptores singulares con contaminación de fondo	78
Tabla 24. Concentración horaria de SO ₂ más elevada en los receptores singulares	82
Tabla 25. Concentración diaria de SO ₂ en los receptores singulares	84

Tabla 26. Concentración anual de SO ₂ en los receptores singulares.....	85
Tabla 27. Concentración anual de benceno en los receptores singulares	89
Tabla 28. Concentración anual de Plomo en los receptores singulares	93
Tabla 29. Concentración anual de Níquel en los receptores singulares	96
Tabla 30. Concentración anual de Mercurio en los receptores singulares	99
Tabla 31. Concentración diaria de dioxines y furanos en los receptores singulares	102
Tabla 32. Concentración anual de dioxines y furanos en los receptores singulares	104
Tabla 33. Concentración octohoraria más elevada de CO en los receptores singulares	105
Tabla 34. Concentración diaria más elevada de CO en los receptores singulares	107
Tabla 35. Concentración anual de amoníaco en los receptores singulares.....	111
Tabla 36. Concentración anual de cloruro de hidrogeno en los receptores singulares.....	113
Tabla 37. Concentración anual de fluoruro de hidrogeno en los receptores singulares	115
Tabla 38. Resumen Global de Emisiones y cumplimiento de límites atribuibles a la instalación....	126
Tabla 39. Resumen Global de Emisiones y cumplimiento de límites considera las concentraciones de fondo	128

1. RESUMEN EJECUTIVO

1.1. Objeto del Estudio

El presente informe recoge el estudio de modelización de la dispersión de contaminantes atmosféricos asociado al proyecto de construcción del Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama" en el municipio de Titulcia. El objetivo principal es evaluar el posible impacto de las emisiones de la futura instalación sobre la calidad del aire y la salud pública, verificando el cumplimiento de los valores límite de inmisión establecidos por la Directiva (UE) 2024/2881, que establece límites más estrictos que el vigente RD 102/2011 y que serán de obligado cumplimiento a partir de 2030.

El análisis incluye tanto la contribución individual de la instalación como, para aquellos contaminantes con datos disponibles, la evaluación conjunta con las concentraciones de fondo existentes en la zona, permitiendo una valoración más representativa de las condiciones reales de calidad del aire.

Asimismo, el estudio contempla la evaluación específica en receptores singulares, incluyendo núcleos de población y espacios naturales protegidos del entorno, con el fin de analizar de forma detallada la posible afección sobre los puntos más sensibles.

El estudio se ha concebido tomando como referencia los valores de emisión del límite inferior establecidos por las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs), que representan el nivel de desempeño ambiental más exigente y realista para una instalación de estas características.

Este enfoque permite obtener una estimación ajustada del impacto atmosférico esperado durante la operación normal de la planta, dado que las emisiones reales se mantendrán previsiblemente dentro de este rango bajo de operación.

Al modelizar las emisiones con los valores más estrictos de las MTDs, el estudio pone de manifiesto el elevado nivel de control ambiental asociado a la instalación y su contribución a la protección de la salud humana, garantizando que las concentraciones en el entorno permanezcan muy por debajo de los límites legales de calidad del aire.

1.2. Metodología empleada

La modelización se ha realizado mediante el programa de referencia AERMOD, que permite calcular la dispersión atmosférica de contaminantes teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas locales y la configuración física de la planta. Para ello se han utilizado:

- Datos meteorológicos representativos de la zona de Titulcia.

- Un layout preliminar georreferenciado de la instalación, generado a partir de planos CAD, que incluye las características principales de los edificios y estructuras que pueden influir en la dispersión.
- Las chimeneas de emisión con una altura de diseño de 70 metros, cuyas dimensiones y parámetros de salida se han incorporado al modelo.

La modelización ha considerado la dispersión de contaminantes bajo diferentes escalas temporales (horaria, diaria y anual), evaluando tanto las concentraciones máximas como los promedios de referencia.

1.3. Contaminantes analizados

El alcance del estudio incluye los principales contaminantes regulados por la normativa europea y española en este tipo de instalaciones., organizados de la siguiente manera:

- Contaminantes principales de referencia: Son los que suelen determinar el dimensionamiento de la chimenea y tienen más relevancia regulatoria.
 - Óxidos de nitrógeno (NO_x)
 - Partículas totales (PM₁₀ y PM_{2.5})
 - Dióxido de azufre (SO₂)
- Contaminantes de composición química: Relacionados con gases ácidos y compuestos gaseosos secundarios:
 - Monóxido de carbono (CO)
 - Cloruro de hidrógeno (HCl)
 - Fluoruro de hidrógeno (HF)
 - Amoníaco (NH₃)
- Contaminantes menores pero de mayor toxicidad: más enfocados a riesgos sanitarios que a concentraciones masivas en aire.
 - Plomo (Pb)
 - Arsénico (As)
 - Cadmio (Cd)
 - Níquel (Ni)
 - Mercurio (Hg)
 - Benceno (COV)
 - Benzo(a)pireno (COV)
 - Dioxinas y furanos

1.4. Resultados principales

Los resultados obtenidos en la modelización confirman que las inmisiones previstas asociadas a la instalación son muy reducidas. El estudio se ha realizado utilizando valores de emisión representativos de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD, 2019), lo que refleja un escenario realista de operación de este tipo de instalaciones.

Bajo estas condiciones, todas las concentraciones en aire ambiente se sitúan muy por debajo de los valores límite aplicables, encontrándose la mayoría de los contaminantes por debajo del 1% del valor límite, y únicamente algunos casos puntuales —como el NO_x— alcanzando valores inferiores al 2%. Estos resultados evidencian un impacto atmosférico muy bajo.

Para la evaluación se han empleado, siempre que ha sido posible, los valores de la Directiva (UE) 2024/2881, más estrictos que los actualmente vigentes y de obligado cumplimiento a partir de 2030. El cumplimiento holgado incluso frente a estos límites futuros pone de manifiesto el elevado margen de seguridad del proyecto.

En los contaminantes no regulados por dicha Directiva —como el mercurio, las dioxinas y furanos, el amoníaco, el cloruro de hidrógeno o el fluoruro de hidrógeno— se han utilizado valores guía de referencia internacional (OMS, UBA), garantizando un enfoque conservador y orientado a la protección de la salud.

El análisis en receptores singulares, incluyendo núcleos de población y espacios naturales protegidos, confirma que las mayores concentraciones se producen en las zonas más próximas a la instalación, si bien en todos los casos los valores obtenidos son muy bajos y no se producen superaciones de los límites normativos. En el caso de las zonas pobladas, el municipio de Titulcia presenta la mayor contribución relativa, manteniéndose en niveles no significativos.

Adicionalmente, se ha considerado la contribución de las concentraciones de fondo para los contaminantes con datos disponibles (NO_x, PM₁₀ y PM_{2,5}), obtenidos de la red de calidad del aire de la Comunidad de Madrid. Este análisis muestra que la contribución de la instalación es marginal frente al fondo existente, siendo este último el principal responsable de los niveles de inmisión. En ningún caso se superan los valores límite aplicables.

En conjunto, los resultados demuestran que la instalación proyectada no compromete la calidad del aire ni la salud pública, presentando un impacto atmosférico muy reducido incluso bajo escenarios conservadores de evaluación.

La figura 1 siguiente sintetiza los resultados por contaminante, comparando los niveles de inmisión atribuibles a la instalación frente a los valores límite de referencia.

Por otro lado, la figura 2 refleja los resultados Para los contaminantes con contribución significativa de fondo (NO_x, PM₁₀ y PM_{2,5}), apreciando que aún así, no se superan los límite legales.

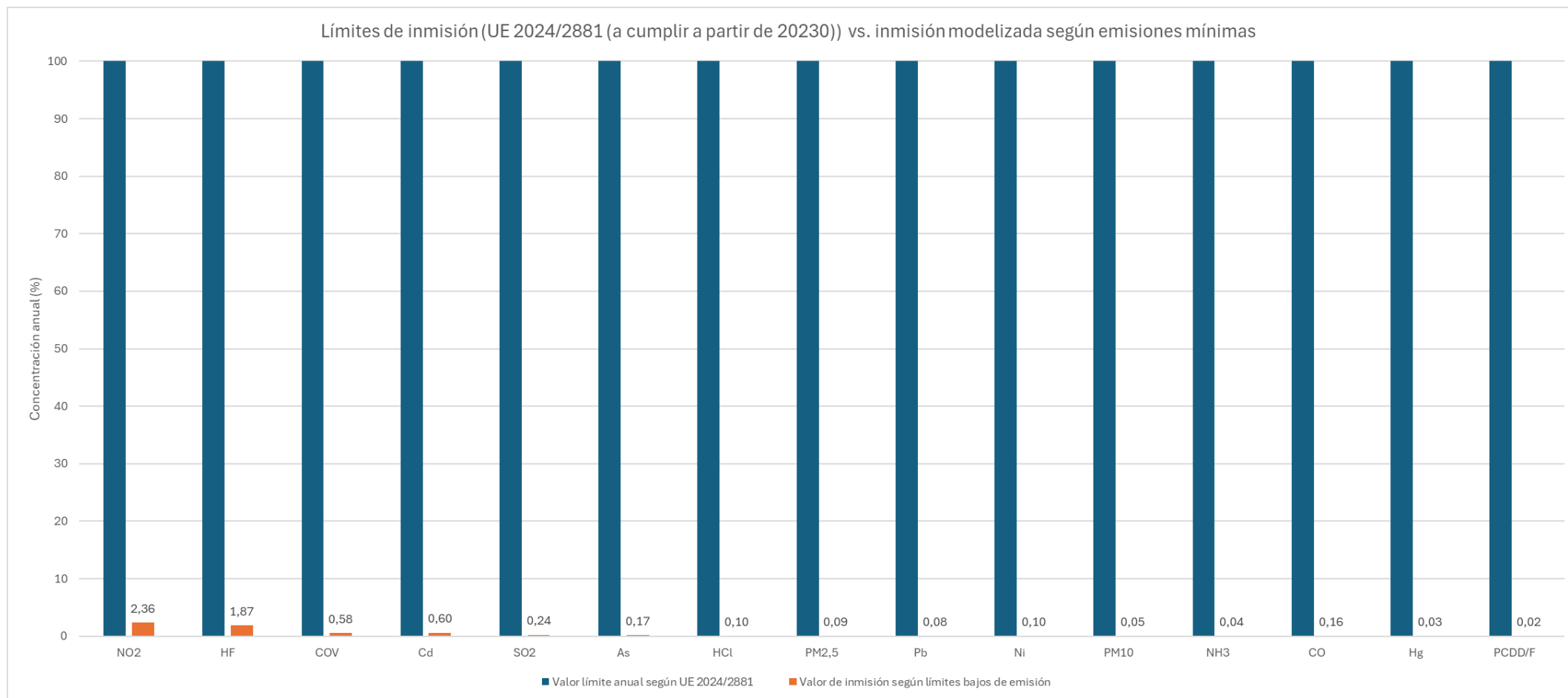


Figura 1. Comparación entre límites de calidad del aire y concentraciones modelizadas (% respecto al límite)

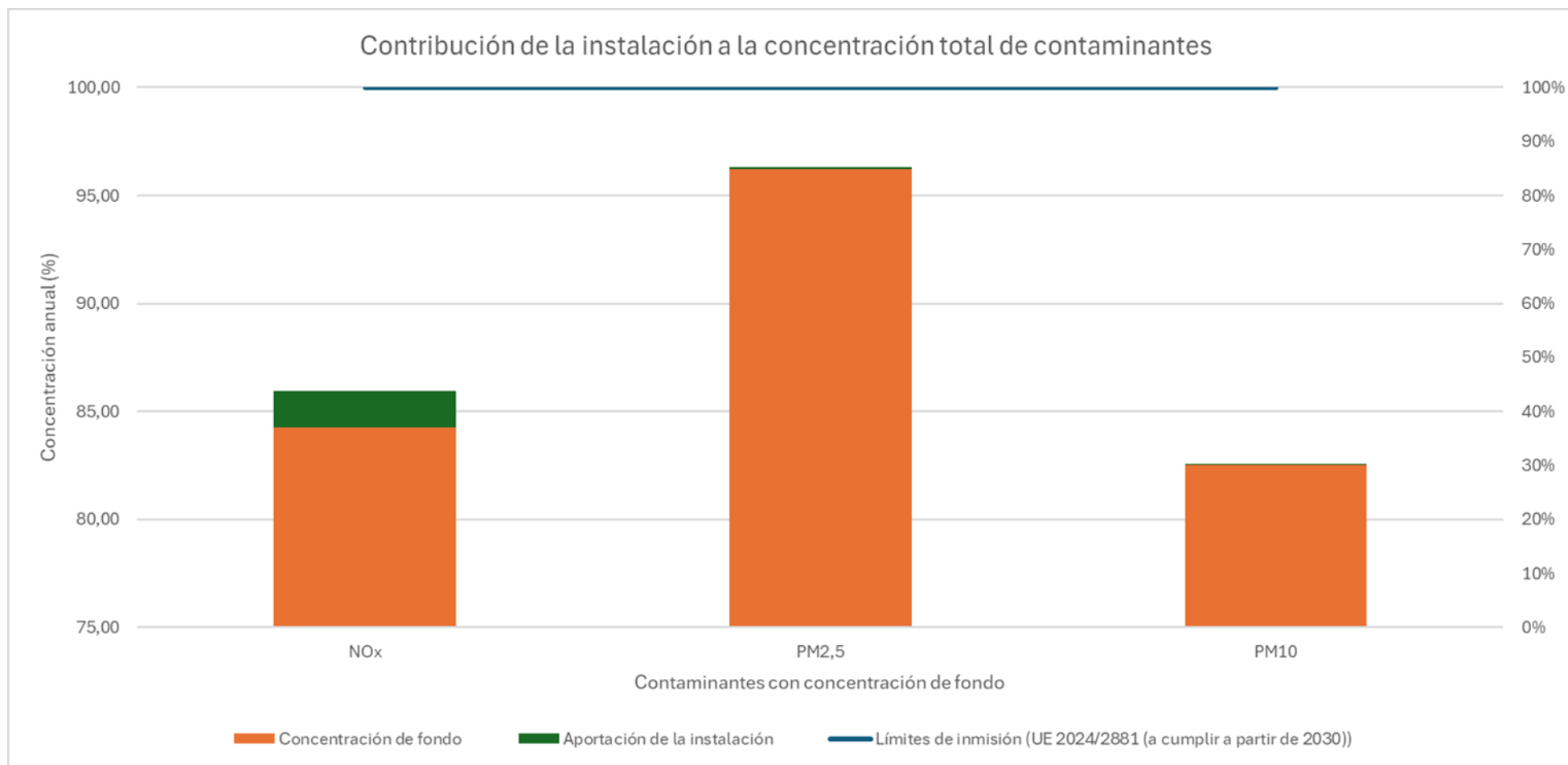


Figura 2. Contribución de la instalación a la concentración total de contaminantes

2. ESTUDIO DE EMISIÓN Y DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES

2.1. Introducción

El presente documento expone el estudio teórico de modelización de la emisión e inmisión de contaminantes para el futuro Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama", en el Sur de la Comunidad de Madrid. Además, este se elabora como documentación integrante del Estudio de viabilidad técnica para la empresa PreZero.

El objetivo de este estudio es estimar la influencia de la dispersión de contaminantes de la chimenea de la planta en términos de concentración en su entorno, teniendo en cuenta las tasas y condiciones de emisión y los factores meteorológicos.

El estudio está orientado a la identificación de los problemas producidos por la principal fuente de emisión de contaminantes nocivos para la salud humana y el medioambiente, la chimenea. Por esta razón se ha realizado una modelización matemática de la dispersión de las emisiones de contaminantes a la atmósfera. Esto permite comparar los valores de inmisión obtenidos con el modelo con los niveles de inmisión aceptables, contrastando finalmente la situación futura con los límites establecidos por las normativas de referencia en materia de contaminantes dispersos en el aire.

Los dos principales aspectos que modelizaremos del foco emisor son:

- Emisión: está ligada al caudal másico de contaminantes que emite la chimenea por fracción de tiempo (kg/s). Este valor de entrada se modificará para analizar los resultados en valores límite.
- Inmisión: es el resultado que obtendremos de la modelización y el que nos indica la concentración de contaminantes en el entorno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), que es función, entre otros factores, de la emisión indicada de la chimenea, de las condiciones meteorológicas propias de la zona y de la orografía de la zona.

Las posibles molestias producidas en la población están relacionadas con la concentración de ciertos contaminantes en el entorno, así como en la frecuencia de los episodios de contaminación ambiental del aire de la zona. Los resultados de los modelos de inmisión se representan mediante curvas que determinan las áreas del entorno en las que se generan molestias, con su correspondiente grado.

El modelo de dispersión utilizado en el presente estudio es AERMOD, desarrollado por la EPA (Agencia para la protección del medio Ambiente de los EE.UU). Las opciones con las que se ha ejecutado el modelo AERMOD son las que EPA considera como regulatorias para su uso en estudios de impacto ambiental atmosférico.

Para la modelización, se han analizado y recopilado de forma sistemática todos los datos que intervienen en los cálculos:

- Identificación de los focos de emisión presentes en la instalación de acuerdo con los datos del proyecto, que teniendo en cuenta la naturaleza de la instalación, serían las dos salidas de la chimenea de las dos líneas de combustión de la futura planta de valorización energética.
- Identificación de los contaminantes más comunes en este tipo de instalación y cuáles de ellos se pueden modelizar con el programa.
- Asignación de los niveles de emisión para cada fuente en base a los valores de emisión límite según la Decisión de Ejecución (UE) 2019/2010 de la Comisión de 12 de noviembre de 2019 por la que se establecen las conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles (MTD), de conformidad con la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, para la incineración de residuos.
- El layout de la futura instalación, para poder modelizar en 3D la ubicación, dimensión y altura de los principales edificios que estarán presentes.
- Datos meteorológicos de simulación numérica mediante el modelo MM5 para la zona de estudio.
- Topografía digitalizada de la zona.

En base a toda la información anterior se realiza la modelización matemática de los niveles de inmisión de contaminantes atmosféricos en el entorno cuyo resultado queda representado mediante curvas de isoconcentración.

Por último, se realizará una interpretación de los valores de inmisión de contaminantes obtenidos de acuerdo con los niveles guía de referencia publicados.

2.2. Situación de la instalación

El futuro Centro de Tratamiento de Residuos “Jarama” se situará en el término municipal de Titulcia, ubicado en el Sur de la Comunidad de Madrid. Las instalaciones estarán ubicadas en un lateral de la carretera M-404 que une los municipios de Titulcia y Chinchón. Concretamente ocupará las siguientes parcelas, todas clasificadas como suelo rústico en categoría de uso agrario:

- Parcela 47: referencia catastral (28147A002000470000HM)
- Parcela 46: referencia catastral (28147A002000460000HF)
- Parcela 43: referencia catastral (28147A002000430000HP)
- Parcela 42: referencia catastral (28147A002000420000HQ)
- Parcela 39: referencia catastral (28147A002000390000HQ)

Según los datos catastrales de las parcelas, la superficie total es de 74.000 m², donde se instalará una PVE con una capacidad de tratamiento de 300.000 t/a en 8.000 h/a de funcionamiento. Además, el sistema de pretratamiento cuenta con una capacidad de 150.000 t/a, con un funcionamiento previsto de 3.500 h/a, conforme a la potencia de valoración energética (PVE) establecida.

A continuación, se muestra la ubicación prevista del futuro Centro de Tratamiento de Residuos “Jarama”:

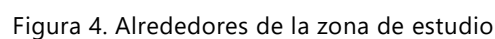
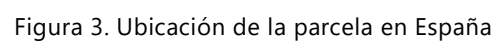




Figura 5. Límite de actuación de la parcela

2.3. Descripción de los puntos de emisión atmosférica

La planta de valorización energética proyectada en la localidad de Titulcia está diseñada para una potencia instalada de turbina de 27 MW, con capacidad para incinerar diariamente más de 900 toneladas de residuos, en función de su Poder Calorífico Inferior. Previamente al proceso de valorización energética, una parte de los flujos de residuos se someterá a una etapa de pretratamiento, destinada a la recuperación de determinadas fracciones de materiales antes de su alimentación a los hornos.

El proceso de valorización energética se basa en la disposición de dos líneas de combustión independientes, en las que tiene lugar la valorización energética de los residuos a elevadas temperaturas. Cada línea dispone de su correspondiente cámara de postcombustión, en la que los gases permanecen a una temperatura mínima de 850 °C durante al menos 2 segundos, en presencia de oxígeno, garantizando la completa oxidación de los compuestos orgánicos.

A la salida de la cámara de postcombustión, los gases se conducen a la caldera de recuperación, donde se genera vapor que alimenta el turbogenerador para la producción de energía eléctrica, destinada tanto al autoconsumo de la planta como a su evacuación a la red eléctrica.

La instalación contará con un sistema completo y avanzado de postratamiento de los gases de combustión, diseñado para cumplir los niveles de emisión más exigentes establecidos en las Mejores Técnicas Disponibles (MTD). Tras su paso por la caldera, los gases se envían a la línea de depuración a una temperatura aproximada de 165 °C, valor compatible con la operación a temperaturas moderadas requerida para la protección de los equipos de filtración.

En la etapa de depuración en seco o semiseco se inyectan reactivos alcalinos, tales como hidróxido cálcico (Ca(OH)_2) y/o bicarbonato sódico (NaHCO_3), como agentes neutralizantes de los gases ácidos —principalmente cloruro de hidrógeno (HCl), fluoruro de hidrógeno (HF) y dióxido de azufre (SO_2)—, junto con carbón activado destinado a la adsorción de compuestos orgánicos volátiles (COV), metales pesados y dioxinas y furanos.

Posteriormente, los gases atraviesan los filtros de mangas, donde se retienen las partículas sólidas, el polvo reactivo y los contaminantes adsorbidos, alcanzándose una elevada eficiencia de eliminación de material particulado.

A la salida de los filtros de mangas, los gases se conducen a un sistema de depuración húmeda mediante scrubber, cuya función es reforzar la eliminación de contaminantes residuales, en particular gases ácidos y otros compuestos solubles, permitiendo alcanzar los límites inferiores de emisión asociados a las MTD aplicables a este tipo de instalaciones.

Tras el scrubber, los gases depurados se dirigen al sistema de reducción catalítica selectiva (SCR) para la eliminación de los óxidos de nitrógeno (NO_x). Para alcanzar la temperatura óptima de reacción catalítica (en torno a 240 °C), los gases se precalientan mediante un intercambiador gas-gas, que recupera calor del flujo limpio a la salida del catalizador, complementándose con un aporte final de vapor procedente del calderín para un ajuste preciso de la temperatura de entrada al reactor.

En el reactor catalítico SCR se inyecta una disolución de amoníaco como reactivo reductor, produciéndose la conversión de los NO_x en nitrógeno molecular (N_2) y vapor de agua, sin generación de subproductos secundarios significativos. Finalmente, los gases tratados se evacúan a la atmósfera a través de la chimenea mediante un ventilador de tiro, a una temperatura aproximada de 135 °C.

Los gases de combustión generados en las dos líneas de valorización energética se evacúan a la atmósfera a través de una única chimenea, que integra en su interior dos conductos de emisión independientes, uno por cada línea. Cada conducto presenta un diámetro de 2 m y la chimenea tiene una altura de 70 m sobre el nivel del suelo. La ubicación de los conductos de salida se indica en la tabla siguiente.

Foco	Coordenadas (UTM) huso 30		Cota base
	X (m)	Y (m)	Z (m)
Salida 1	453267,44	4444068,26	522,09
Salida 2	453271,53	4444070,34	522,00

Tabla 1. Características del foco puntual correspondiente a la chimenea

Por otro lado, en el proceso de enfriamiento de las escorias, que se realizará en línea con los hornos, se realiza un aporte de agua usada que en parte, y mayoritariamente, se evaporará evacuándose junto con los gases de combustión y otra parte quedará retenida en la propia escoria.

Aun así, y por realizarse en línea con los hornos, el enfriamiento de las escorias no se considera una actividad CAPCA distinta de las de valorización energética de residuos ya solicitadas y adicionalmente, este volumen de vapor se ha considerado en el volumen de emisiones modelizado.

Ocasionalmente podrá generarse un excedente de agua sucia que se considerará lixiviado interno. La zona de carga de escorias se encuentra cubierta y confinada lateralmente, con pavimento impermeabilizado y dotada de un sistema de recogida de lixiviados que canalizará estas aguas hacia un tanque de retención estanco desde donde podrán ser enviadas bien al depósito de aguas de proceso para su reutilización, o bien bombeadas al depósito de almacenamiento de residuos líquidos desde donde se emplearán en el atemperado de los hornos, valorizando así la fracción acuosa contenida en los residuos líquidos.

El dimensionamiento, tanto el depósito de residuos líquidos como el depósito de aguas usadas de proceso, se encuentra detallado de esta zona se desarrolla en el Anexo 01. Dimensionado y cálculos justificativos del Proyecto técnico.

El cálculo detallado para la generación de estas aguas se encuentra en el anexo correspondiente del Proyecto técnico y, de forma resumida, corresponde a una generación de 3.180 m³/año. Una vez enfriadas, las escorias se almacenan en su correspondiente foso situado en el interior de la nave, desde donde se expedirán a través de camiones cargados mediante cuchara bivalva operada por puente grúa.

2.4. Catalogación según CAPCA

De acuerdo con la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera, y su desarrollo reglamentario mediante el Catálogo de Actividades Potencialmente Contaminadoras de la Atmósfera (CAPCA-2010), la instalación proyectada se clasifica dentro del Grupo A, correspondiente a las actividades con mayor potencial de emisión. Esta categorización se fundamenta, en primer lugar, en la potencia térmica total de los sistemas de combustión, integrada por dos hornos de 53,7 MWt cada uno, que suman 107,4 MWt, superando ampliamente el umbral de 50 MWt establecido para las Grandes Instalaciones de Combustión (GIC). En consecuencia, la actividad queda incluida en el código 01 01 04 – Grandes instalaciones de combustión > 50 MWt. Adicionalmente, dado que la planta lleva a cabo un proceso de tratamiento térmico de residuos con recuperación energética, se enmarca también dentro del código 09 01 01 – Instalaciones de incineración o valorización energética de residuos, igualmente clasificado en Grupo A. Por tanto, los focos de emisión asociados a la planta de valorización energética deben ser considerados como focos tipo A, al cumplir simultáneamente los criterios de potencia térmica y naturaleza del proceso definidos en el CAPCA.

2.5. Descripción del modelo de dispersión utilizado: AERMOD

El análisis de la dispersión de las emisiones se ha realizado mediante el modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos AERMOD, que desde el año 2005 es el modelo “regulatorio” recomendado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA) para los estudios de dispersión de aire.

El modelo estima las concentraciones de contaminantes (inmisiones) que se medirían en diversos receptores a partir de las características de la emisión y de las condiciones dispersivas de la atmósfera. Al final del proceso, se obtienen concentraciones volumétricas de la inmisión horaria, así como medias en un periodo determinado (por ejemplo, anuales) a partir de la integración de los resultados horarios de la inmisión.

El modelo de dispersión AERMOD es aplicable a zonas rurales y urbanas, terreno llano o irregular. Las fuentes de emisión pueden ser de tipo puntual, de superficie, de área y de volumen. Además, la formulación del modelo ha sido diseñada para evitar cualquier tipo de discontinuidad, de modo que, pequeñas variaciones en los parámetros de entrada no puedan provocar grandes cambios en las concentraciones de salida calculadas con el modelo.

AERMOD es un modelo de penacho en régimen permanente. En la capa límite estable de la atmósfera (SBL, *Stable Boundary Layer*), el modelo asume que la distribución de concentraciones es gaussiana, tanto en el plano vertical como horizontal, mientras que en la capa límite convectiva (CBL, *Convective Boundary Layer*) la distribución de concentración horizontal se asume como gaussiana, pero la distribución vertical se describe mediante una función de densidad de probabilidad (f.d.p.) bi-gaussiana.

La ejecución del modelo se basa asimismo en una estructura de módulos, de modo que previamente a la simulación del proceso de dispersión es necesaria la aplicación de otros módulos de procesamiento de los datos de entrada (meteorológicos, topográficos, ...) al modelo. La estructura esquemática del modelo es la que aparece en el cuadro inferior.

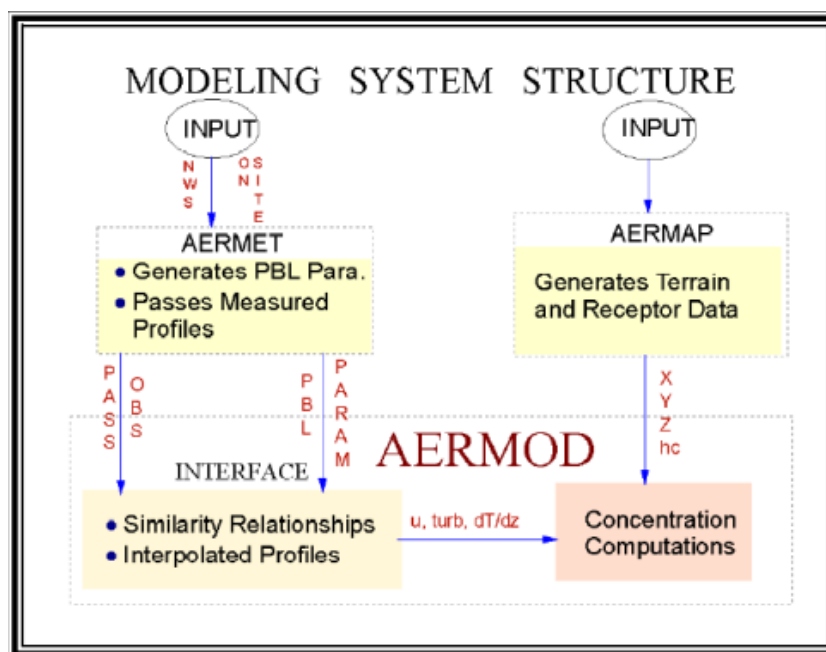


Figura 6. Sistema de funcionamiento del AERMOD

El modelo cuenta con dos preprocesadores:

- AERMET preprocesador meteorológico que procesa los datos de capa límite y otros parámetros requeridos para caracterizar el estado de la atmósfera y la estructura vertical de la capa límite planetaria (PBL). Como datos de entrada AERMET acepta datos de estaciones meteorológicas y radiosondeos o los datos procedentes de un modelo meteorológico. AERMET genera dos ficheros requeridos por AERMOD, un archivo de información meteorológica en superficie y un archivo de perfil en altura.
- AERMAP programa que preprocesa la topografía a partir de los datos del terreno, con el fin de calcular una altura de influencia representativa del terreno, también denominada escala de altura del terreno. A su vez este módulo define el número de receptores discretos donde el modelo AERMOD calculará la concentración de los contaminantes y/o define las coordenadas de un dominio cartesiano donde AERMOD evaluará la concentración.

Adicionalmente, el modelo tiene otras opciones sobre la modelización, como el uso de medias meteorológicas. Es posible introducir múltiples fuentes con tipologías diferentes: puntuales, difusas, elevadas o en superficie. Las emisiones de cada fuente pueden ser constantes a lo largo del periodo a estudiar o bien intermitentes.

AERMOD considera el terreno complejo mediante el concepto de división de trayectoria de flujo. De tal manera que el comportamiento del penacho que resulta del efecto del terreno es un promedio compensado de dos flujos: uno por encima del obstáculo y otro alrededor de éste.

3. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS DE ENTRADA AL MODELO

Según el problema que se nos plantea en el presente estudio, requiere la aplicación de un modelo que permita simular diversos escenarios en periodos anuales completos y que tenga una alta resolución, con el objeto de identificar la contribución individual de una instalación industrial. Pese a que todos los sistemas de simulación tienen limitaciones, en estas circunstancias se considera que la mejor solución es la aplicación de un modelo estacionario para fuentes puntuales. Se trata de un enfoque simple pero detallado y conservador, que permita facilitar una posterior evaluación del impacto en términos de calidad del aire. Dicho enfoque, necesitará de una serie de datos para alimentar la modelización en el AERMOD:

3.1. Datos Meteorológicos

Los modelos convencionales de dispersión atmosférica precisan datos meteorológicos instrumentales de superficie. Por el contrario, los modelos de dispersión modernos, como es el caso de AERMOD, requieren datos meteorológicos correspondientes a un volumen atmosférico (datos de superficie). Los datos correspondientes a la superficie se pueden obtener de manera instrumental, no obstante, la excesiva distancia de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio o la existencia de accidentes geográficos importantes, pueden poner en compromiso la representatividad de los datos utilizados. Actualmente, delante de estas situaciones, la opción más utilizada es el empleo de modelos de simulación numérica de la atmósfera.

Para la realización del siguiente estudio, se han considerado los datos obtenidos mediante el modelo de simulación numérica debido a la distancia de la estación meteorológica automática más cercana.

Los datos obtenidos mediante simulación numérica están calculados específicamente para la ubicación de la instalación de estudio, siendo las coordenadas las siguientes: Lat. (40.14431 N) – Long. (3.549 W). El periodo estudio de los datos va del 01/01/23 al 31/12/24 para una malla de 10x10 km centrada en la zona de estudio. La zona UTM es la número 30 y la elevación de la base es de 542,94 metros.

Todos estos datos serán preprocesados a través de dos ficheros (.FSL) y (.DAT) en el AERMET View, con la intención de, posteriormente, incorporar los datos meteorológicos de la zona de estudio en el modelo de AERMOD.

En primer lugar, se puede observar la rosa de los vientos de la zona de estudio obtenida a partir del preprocesado en AERMET:

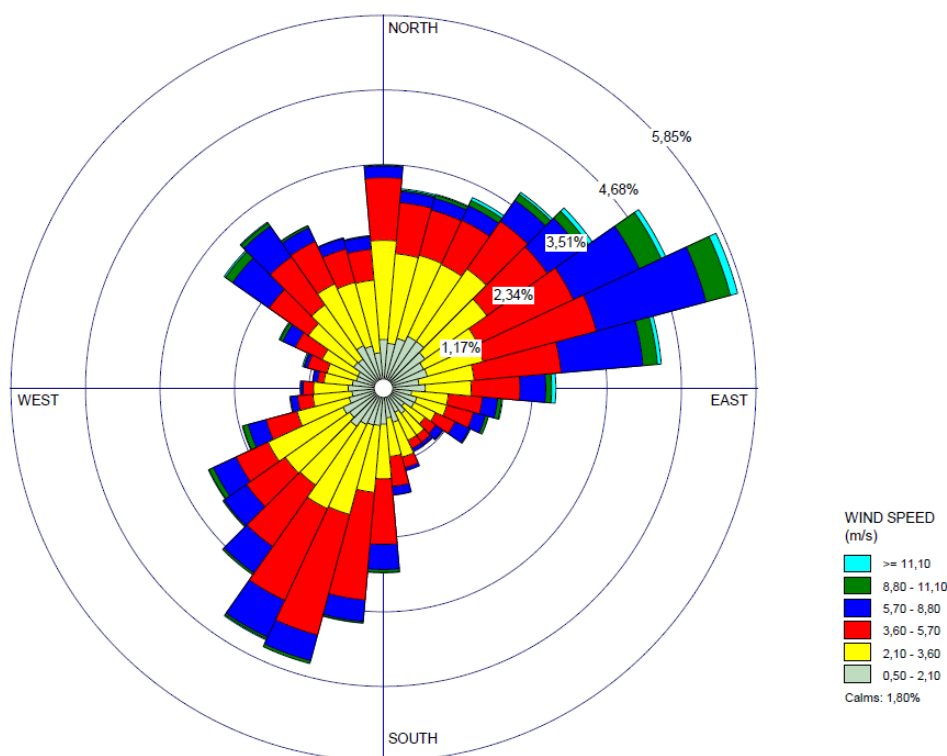


Figura 7. Rosa de los vientos de la zona objeto de estudio obtenida a partir del modelo de simulación numérica

Seguidamente, se muestra el gráfico correspondiente al porcentaje de ocurrencia de cada clase de velocidad del viento:

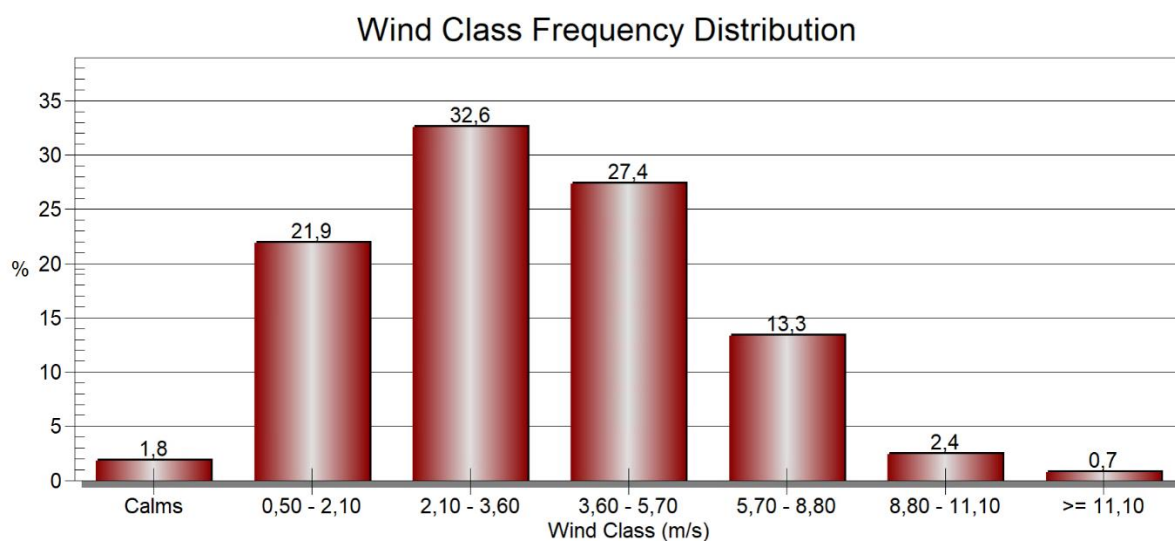


Figura 8. Porcentaje de ocurrencia para cada clase de velocidad obtenida mediante el modelo.

Finalmente, para poder tener una visión más global y contextualizada, se representa la imagen aérea en la que se ubicará la planta de gestión de residuos y su entorno, con la rosa de los vientos de la zona.

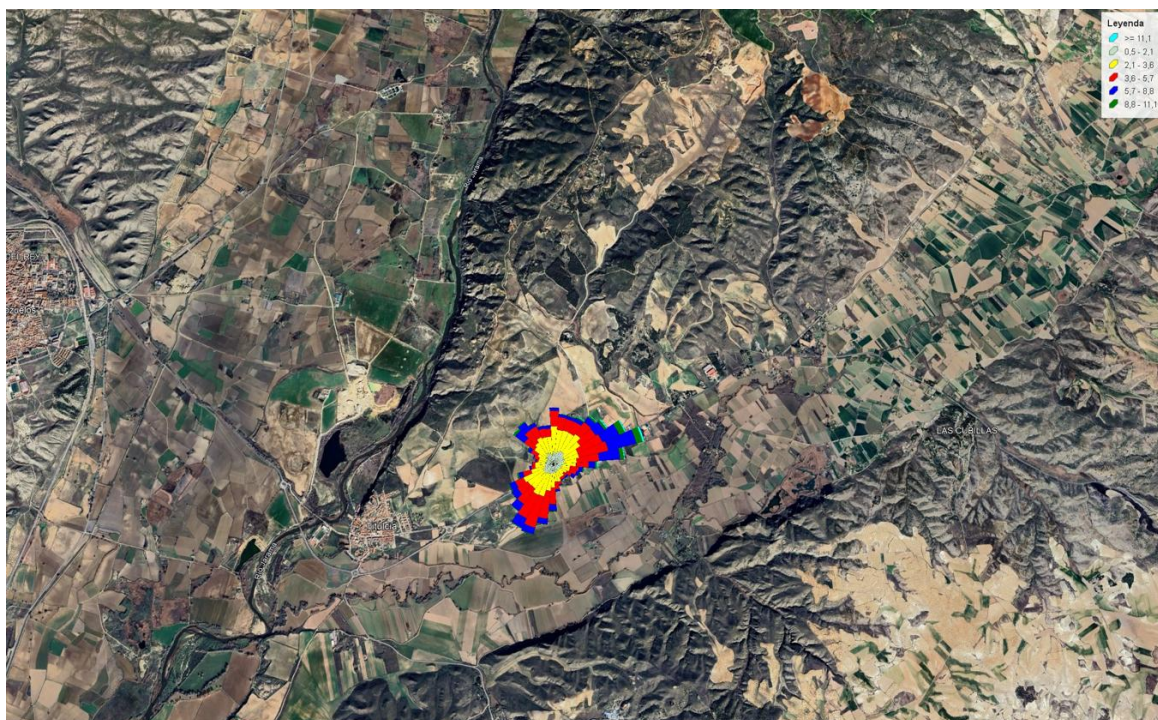


Figura 9. Rosa de los vientos superpuesta sobre la zona de estudio.

Por último, también podemos obtener una gráfica de la temperatura en todo el periodo de estudio. Como podemos ver, la temperatura máxima llega a alcanzar los 41 °C de manera extraordinaria en Julio, y bajando puntualmente hasta valores cercanos a los 0 grados en invierno.

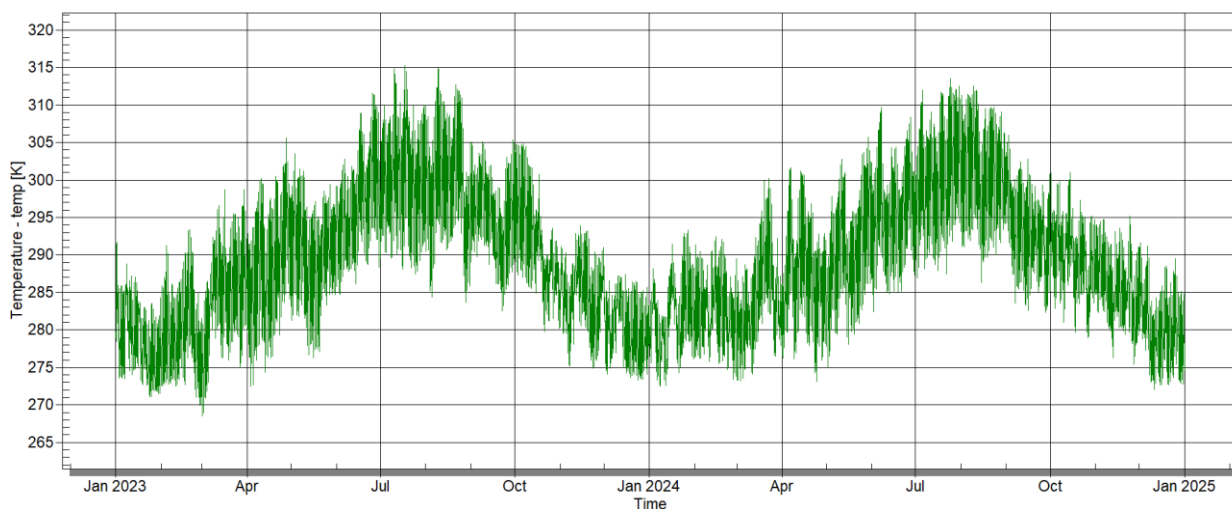


Figura 10. Temperatura en la zona de estudio según el periodo

Todos los parámetros meteorológicos intervienen de una manera más o menos directa en los fenómenos de difusión atmosférica. El viento y la estabilidad atmosférica son los parámetros más importantes por su influencia en la distribución de las temperaturas, presión y humedad, y a su vez por la estrecha relación que mantienen con la radiación solar y la insolación.

También intervienen en la difusión de los contaminantes otros parámetros representativos del tipo de suelo del área considerada. Estos son:

- Rugosidad superficial.
- Ratio Bowen.
- Albedo.

Para el estudio realizado, éstos han sido seleccionados en función del tipo de terreno predominante en el área de estudio a partir de los datos disponibles en los mapas de usos del suelo.

3.2. Área de estudio

Con el objeto de evaluar la dispersión de contaminantes atmosféricos asociados al funcionamiento de la PVE del Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama", se ha definido un área de estudio específica sobre la cual se ha desarrollado la modelización de la dispersión.

El dominio de cálculo seleccionado corresponde a un área cuadrada de 10 km de lado, lo que supone una superficie total de 100 km², considerada suficientemente representativa para analizar la dispersión de los contaminantes emitidos por las instalaciones y evaluar su posible influencia sobre el entorno próximo y las zonas habitadas del área de influencia.

En el centro geométrico de este dominio se han situado los principales focos emisores de la instalación, correspondientes a las chimeneas de la Planta de Valorización Energética, desde las cuales se liberan los gases de combustión una vez sometidos al sistema de depuración. Esta disposición permite analizar de forma simétrica la dispersión potencial de los contaminantes en todas las direcciones, teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas predominantes de la zona.

Sobre este dominio de estudio se ha definido la malla de receptores utilizada en el modelo de dispersión, sobre la cual se calculan las concentraciones de los distintos contaminantes atmosféricos considerados en el análisis. En conclusión, el área resultante es la siguiente:

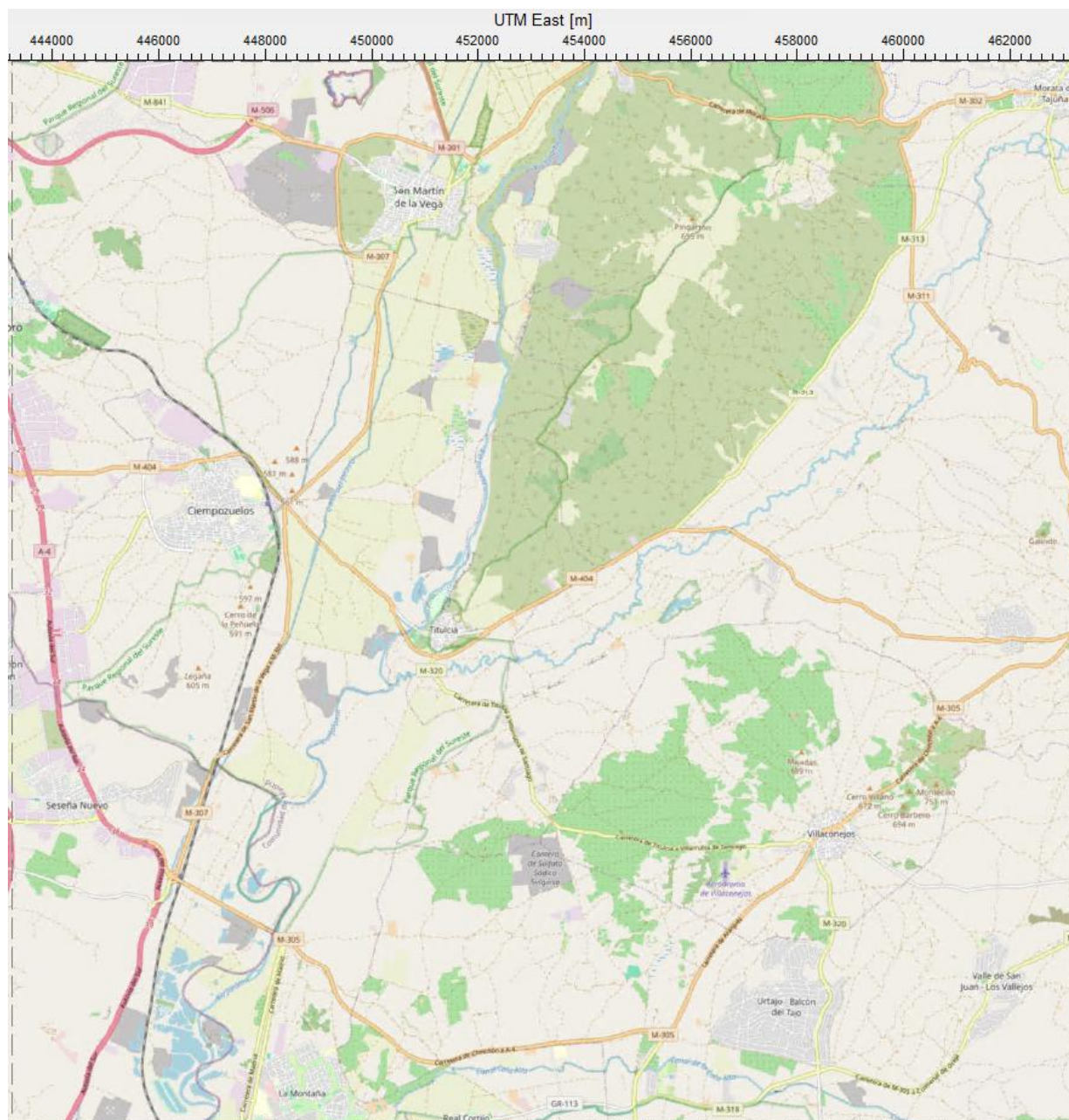


Figura 11. Área de estudio

3.3. Digitalización del Entorno y Configuración de Fuentes

Una vez hemos creado el proyecto correctamente en AERMOD, y hemos insertado el punto de referencia y el radio del área de modelización, se debe incorporar el mapa base para identificar

rápidamente la localización del sitio, focos emisores (dos puntos negros de la figura 10) y edificios que tenemos planteados preliminarmente en un Layout en Autocad.

Para ello primero habrá que trasladar la implantación preliminar a un plano georreferenciado (a partir de la sede electrónica del Catastro) para después incorporarlo a nuestro mapa en el AERMOD a partir de un punto en común.



Figura 12. Layout georreferenciado

Como podemos observar en la figura anterior, una vez incorporado el mapa también se pueden introducir los edificios presentes en la futura instalación (líneas azules). Para ello debemos saber su huella en el terreno y sobre todo las alturas de los edificios que, podemos resumir en la siguiente tabla:

Building_ID	Descripción	Altura (m)	X coord (m)	Y coord (m)
BLD_1	Administración	20	453163,59	4443884,19

			Edificio circular (referencia en el centro) Diámetro: 38,9 m	
BLD_2	Edificio de pretratamiento	16	453183,88	4443956,69
			453240,68	4443985,21
			453279,99	4443909,31
			453222,45	4443880,78
BLD_3	Plataforma de descarga	20	453222,21	4443880,78
			453216,56	4443877,10
			453235,96	4443837,55
			453374,51	4443907,81
			453359,77	4443936,30
BLD_4	Talleres	6	453259,88	4443958,65
			453279,22	4443968,41
			453295,55	4443936,29
			453290,23	4443932,56
			453303,01	4443908,60
BLD_5	Foso de residuos	35	453291,24	4443933,15
			453346,99	4443960,92
			453359,52	4443936,28
			453303,35	4443908,09
BLD_6	Edificio de control	16,5	453333,77	4443989,11
			453349,46	4443996,65
			453379,18	4443937,96
			453363,64	4443929,81
BLD_7	Edificio horno-caldera	50	453277,03	4443973,74
			453328,19	4443998,89
			453346,98	4443961,60
			453296,11	4443935,59
BLD_8	Edificio de tratamiento de gases	40	453277,03	4443974,03
			453242,64	4444043,11
			453269,52	4444057,27

			453262,87	4444070,28
			453272,41	4444074,33
BLD_9	Aerocondensador	30	453241,43	4444092,70
			453291,75	4444117,76
			453304,28	4444093,12
			453254,16	4444067,44

Tabla 2. Características de los edificios de la instalación

Adicionalmente hay que añadir una parte fundamental en el modelado, que es las características de los dos focos emisores (chimeneas), reflejadas en el programa como puntos de emisión marcados en negro. Para ello introduciremos para cada una de ellas:

- Coordenadas de localización → reflejadas en la Tabla 1.
- Base de elevación natural → Situados en los 522 metros sobre el nivel del mar.
- Altura de chimenea → 70 m
- Ratio de emisión del contaminante en gas seco(g/s) → depende del contaminante
- Temperatura de los gases de combustión en la salida → 408,15 K
- Diámetro interior de la chimenea → 2 m

Por último, se requieren dos parámetros adicionales: la velocidad de salida y el caudal de salida, los cuales están directamente relacionados. Para obtenerlos, partimos del caudal total de gases depurados (en condiciones normales) por línea, que es de 110.836 Nm³/h.

Dado que este volumen está referido a 0 °C, es necesario corregirlo para obtener el caudal en condiciones reales de funcionamiento, utilizando la siguiente expresión:

$$V_f = \frac{V_n}{\frac{T_n}{T_f}} = \frac{110.836}{\frac{273,15}{408,15}} = 165.615 \frac{m^3}{h} = 46,004 \frac{m^3}{s}$$

donde:

- V_f = caudal en condiciones reales,
- V_n = caudal en condiciones normales,
- T_n = 273,15 K (0 °C),
- T_f = 408,15 K (135 °C, temperatura real del gas de salida).

A partir del caudal real obtenido y del diámetro interior de la chimenea, se calcula la velocidad de salida, resultando un valor de 14,644 m/s, que se considera representativo y coherente con las condiciones de operación de la instalación.

Source Inputs

Source Type: Type: POINT Source ID: STCK2 Release Type: Vertical

Description: (Optional)

Source Location

X Coordinate: 453271,53 [m]
Y Coordinate: 4444070,34 [m]
Base Elevation: [m]
Release Height: 70,0 [m]

Platform...

Source Release Parameters

Emission Rate: 1,463 [g/s]
Gas Exit Temperature: 408,15 [K] ☒ Fixed ☐ Ambient ☐ Above Ambient
Stack Inside Diameter: 2,0 [m]
Gas Exit Velocity: 14,644 [m/s]
Gas Exit Flow Rate: 46,004 [m³/s]

Help [Icons] New [Icons] Close

Figura 13. Características de los puntos emisores

Una vez incorporados los siguientes datos ya podemos obtener una imagen en 3D de la instalación para poder tener una idea de la magnitud del complejo y de la huella que ocupa dentro de nuestra parcela.

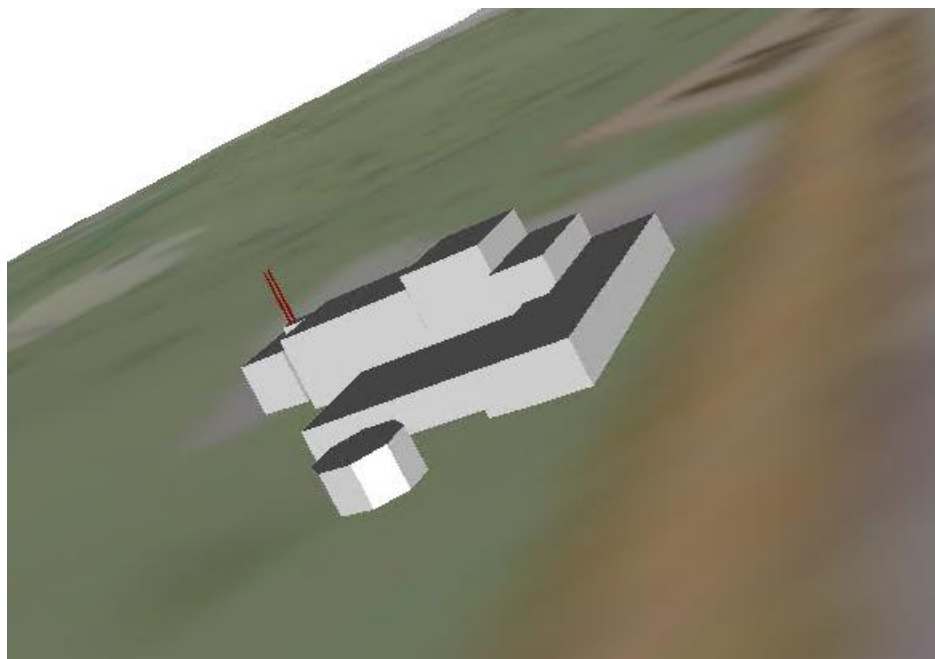


Figura 14. Imagen 3D de la futura Planta de valorización

3.4. Configuración de receptores

En el modelo de dispersión atmosférica se definen como receptores aquellos puntos del territorio en los que se calcula la concentración de contaminantes a nivel de concentración como resultado de la dispersión de las emisiones procedentes de las fuentes consideradas.

Los receptores se representan mediante nodos distribuidos sobre una malla espacial que permite evaluar la variación de las concentraciones de contaminantes en el área de estudio. Dependiendo del sistema de coordenadas seleccionado, estos nodos pueden organizarse mediante mallas polares o rectangulares. Asimismo, el modelo permite incorporar simultáneamente distintas configuraciones de receptores, incluyendo tanto mallas de cálculo continuas como receptores discretos o singulares situados en puntos de interés específico.

3.4.1. Malla general de cálculo

Para el presente estudio se ha definido una malla de receptores principal que cubre la totalidad del dominio de modelización descrito anteriormente, correspondiente a un área de 10 km × 10 km centrada en la ubicación de las chimeneas de la planta.

Esta malla se ha configurado mediante receptores equiespaciados cada 500 metros, lo que permite obtener una resolución adecuada para analizar la dispersión de los contaminantes en el entorno de la instalación. En total, la malla está compuesta por 31 × 31 puntos de cálculo, generando una cobertura homogénea sobre toda el área de estudio.

3.4.2. Receptores discretos en zonas pobladas

Adicionalmente a la malla general, se han definido receptores discretos o singulares situados en los principales núcleos de población, urbanizaciones y áreas residenciales presentes dentro del área potencial de influencia de la instalación.

El objetivo de estos receptores específicos es evaluar de forma directa las concentraciones de contaminantes en aquellas zonas más próximas donde puede existir presencia habitual de población. Entre estos puntos se incluyen municipios próximos, como Titulcia, así como otras urbanizaciones o agrupaciones de viviendas localizadas en el entorno del área de estudio.

La localización exacta de estos receptores se presenta en la tabla de a continuación, donde se indican las coordenadas de cada punto considerado. Asimismo, en la Figura 14 se muestra su ubicación sobre el área de estudio.

ID	Ubicación	Entidad	X coord. (m)	Y coord. (m)	Elevación (m)
1	Titulcia	Municipio	451728,94	4443352,86	518,15

Tabla 3 . Receptores discretos en zonas pobladas



3.4.3. Receptores discretos en espacios protegidos

De forma complementaria, también se han incorporado receptores discretos en las áreas con protección de espacios naturales y especies protegidas, presentes dentro del dominio de modelización o en sus proximidades.

La inclusión de estos puntos permite evaluar específicamente las concentraciones de contaminantes en zonas de especial valor ecológico, analizando la posible afección de las emisiones de la instalación sobre estos espacios protegidos.

La relación de los receptores definidos en estas áreas se presenta en la siguiente tabla, mientras que su localización dentro del área de estudio se muestra en la Figura 15 correspondiente.

ID	Categoría	Denominación	X coord. (m)	Y coord. (m)	Elevación (m)
1	Espacios naturales protegido	Parque Regional del Sureste	452670,41	4444774,06	586,42
2	Red Natura 2000	LIC/ZEC – “Vegas, Cuestas y Páramos del Sureste de Madrid”	453169,40	4444263,66	542,35
		ZEPA – “Cortados y Cantiles de los ríos Jarama y Manzanares”			
3	Hábitat de Interés Comunitario	Hábitat 4090 Brezales oromediterráneos	454408,62	4443257,25	507,83
4		Hábitat 5210 Matorrales arborescentes	453883,09	4445095,87	546,43

Tabla 4. Receptores discretos en espacios protegidos

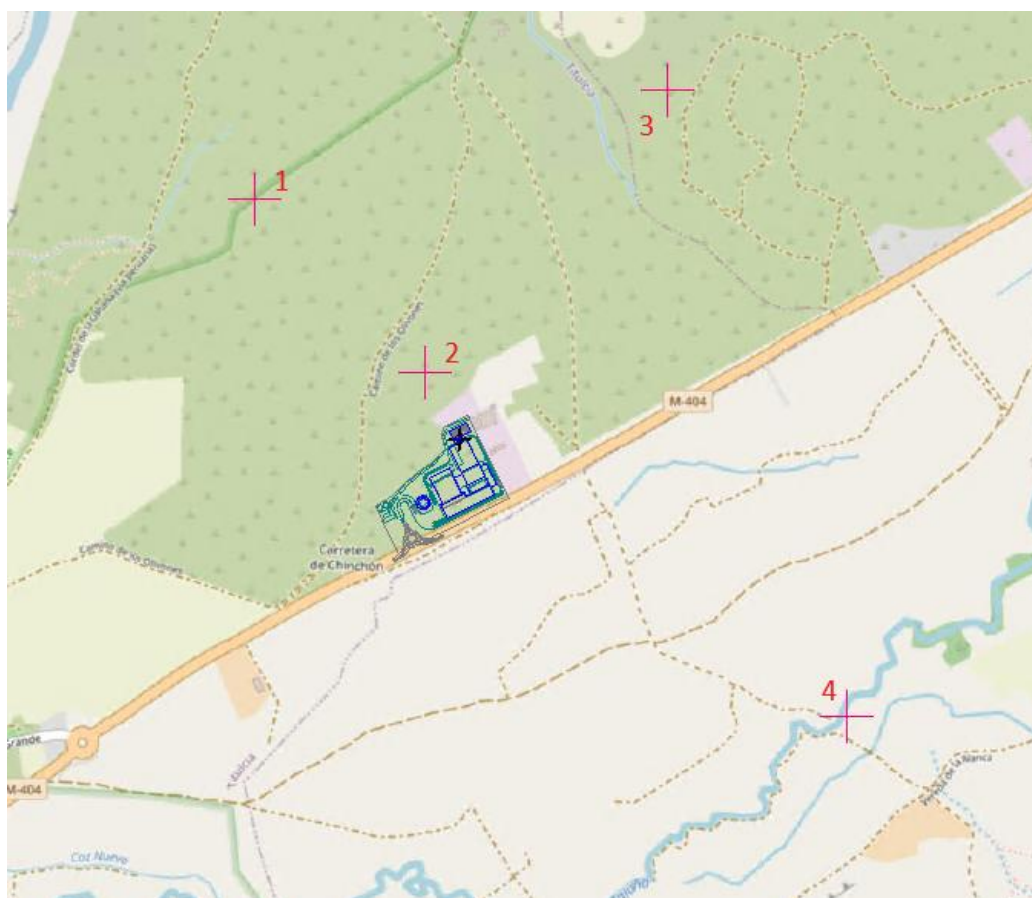


Figura 16. Localización de los receptores discretos en zonas protegidas

3.5. Datos del terreno

Para poder modelar la superficie del terreno ocupado e incorporar a los edificios y elementos reflejados en nuestro modelo su elevación, se han utilizado ficheros digitales del terreno correspondientes a la zona de estudio. Estos ficheros se han obtenido a través de la página web <http://www.webgis.com>.

Una representación tridimensional de la topografía obtenida de la zona de estudio y la ubicación prevista de la planta está recogida en la figura siguiente:

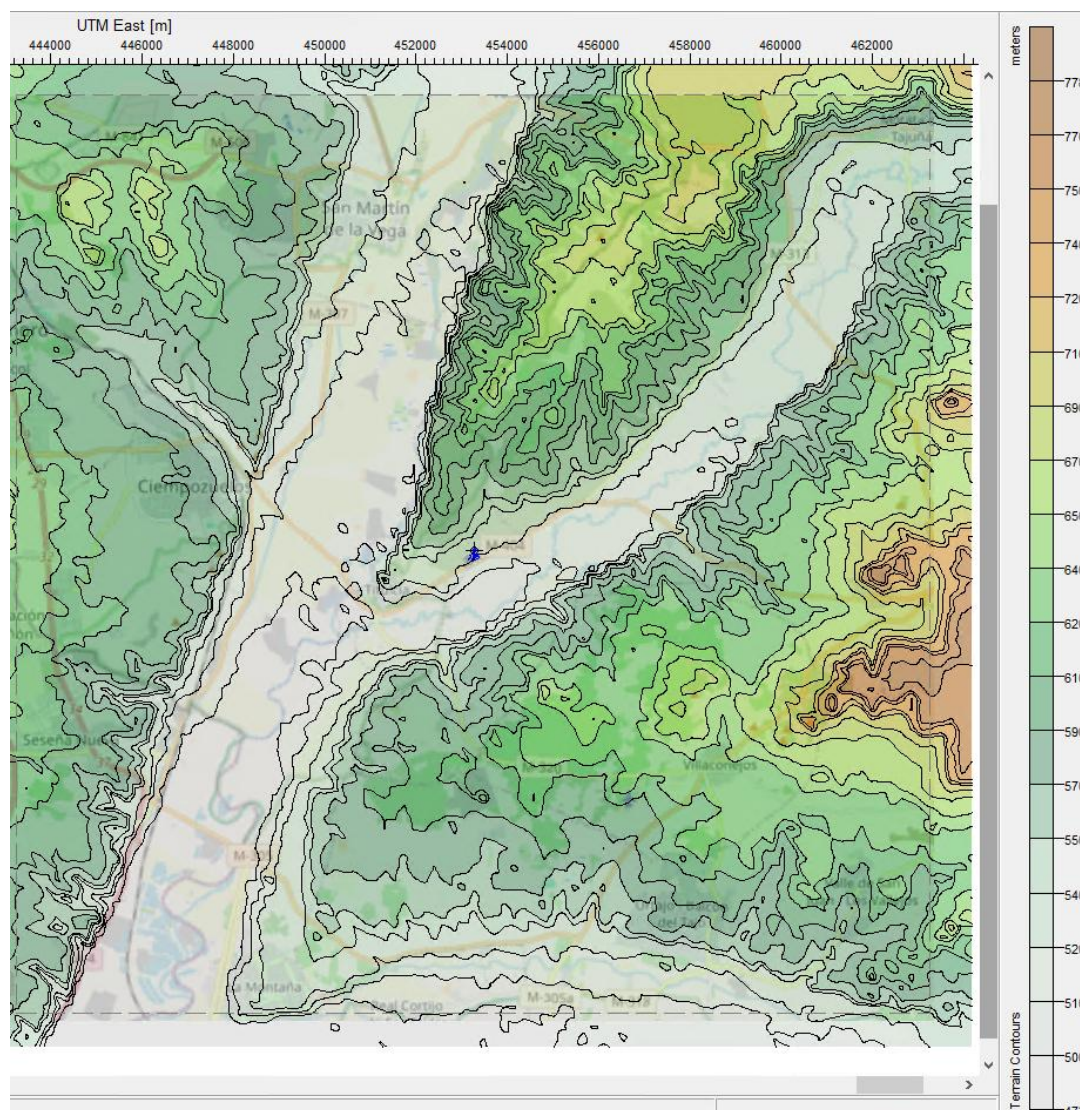


Figura 17. Representación de la topografía local

3.6. Efecto de los edificios

Antes de proceder con la ejecución del proyecto obtendremos primero el *building downwash* que producen los edificios descritos en la parcela. Este término se refiere al efecto que tienen los edificios o estructuras al flujo de aire alrededor de la fuente de emisión, en este caso, las chimeneas. Estos obstáculos pueden hacer que los contaminantes emitidos desde una altura superior sean forzados a descender más rápidamente hacia el suelo, aumentando las concentraciones a nivel del receptor cercano.

En el programa se pueden observar dos tipos de influencia que tienen los edificios en los flujos de aire de alrededor:

- Zona de Influencia de la Estructura (ZIE): Para análisis de la corriente descendente con dimensiones de edificios en direcciones específicas, se asume que se producen efectos de estela si la chimenea se encuentra dentro de un rectángulo como el siguiente:

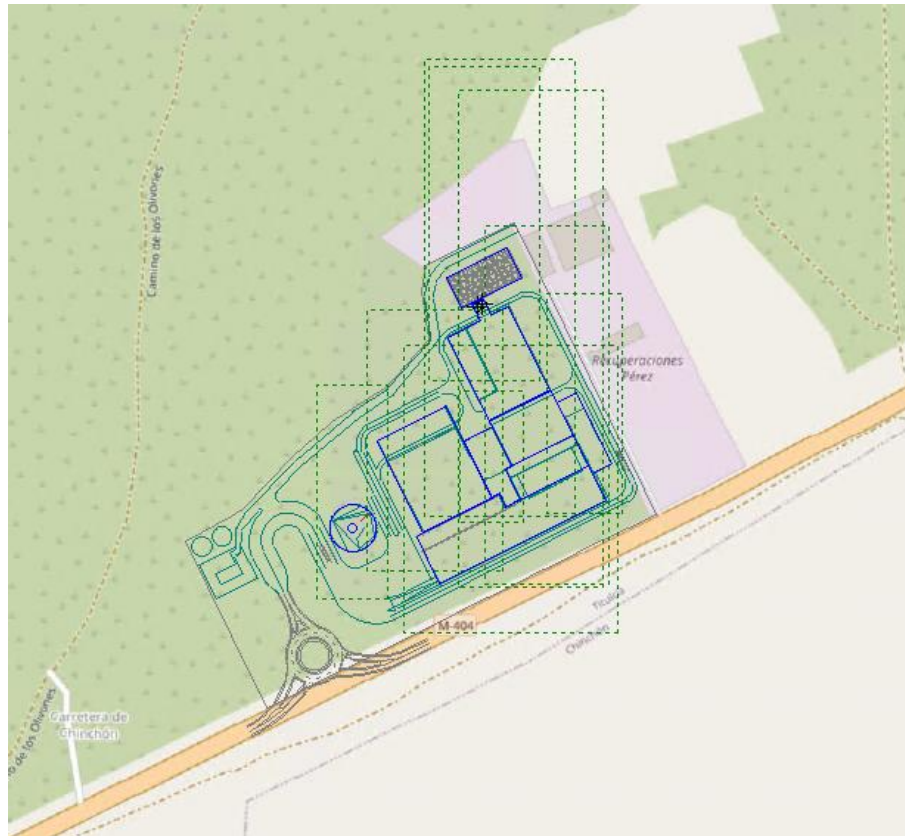


Figura 18. Zona de Influencia de las estructuras

- Área de Influencia GEP 5L: Cada estructura produce un área de influencia del efecto de estela que se extiende radialmente a su alrededor. Cualquier chimenea que se encuentre en o dentro de la línea límite se ve afectada por los efectos de estela GEP para alguna dirección o rango de direcciones del viento.

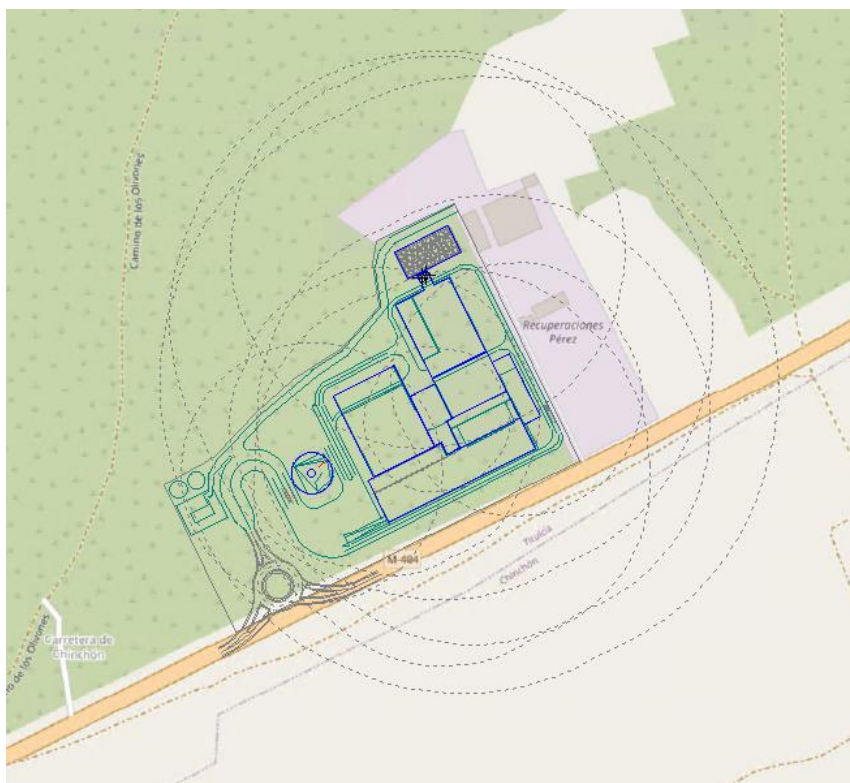


Figura 19. Área de Influencia GEP 5L de las estructuras

3.7. Determinación de las concentraciones de fondo

Con objeto de evaluar adecuadamente la afección potencial del Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama" sobre la calidad del aire, resulta necesario considerar no solo la contribución derivada de las emisiones modelizadas mediante AERMOD, sino también las concentraciones de contaminantes ya existentes en el entorno de implantación.

Las concentraciones de fondo representan la carga contaminante atribuible al conjunto de fuentes emisoras presentes en el área de estudio (tráfico rodado, actividad industrial, fuentes domésticas, etc.), excluyendo la contribución de la instalación proyectada. La consideración de este fondo permite estimar las concentraciones totales previsibles en inmisión, mediante la suma de la contribución modelizada y los niveles ambientales existentes, a efectos de verificar el cumplimiento de los valores límite de inmisión establecidos por la Directiva (UE) 2024/2881, que establece límites más estrictos que el vigente RD 102/2011, y que serán de obligado cumplimiento a partir de 2030.

La determinación de las concentraciones de fondo se ha realizado a partir de los datos registrados en la Red de Calidad del Aire de la Comunidad de Madrid por estaciones oficiales de medición de la calidad del aire ubicadas en el entorno del emplazamiento. Para ello, se han aplicado criterios de representatividad espacial y temporal, coherencia con el periodo meteorológico modelizado y

suficiencia estadística de los datos disponibles. En los apartados siguientes se describen las estaciones consideradas, los criterios de selección adoptados y el periodo temporal analizado.

3.7.1. Red de estaciones consideradas

Para la determinación de las concentraciones de fondo en el área de influencia de la instalación, se ha recurrido a la información proporcionada por la Red de Calidad del Aire de la Comunidad de Madrid (Red de Control y Vigilancia de la Calidad del Aire), conformada por un conjunto de estaciones automáticas fijas distribuidas territorialmente en la región y destinadas a la monitorización continua de los principales contaminantes atmosféricos.

La finalidad de esta Red es registrar y documentar de forma sistemática las concentraciones ambientales de contaminantes registradas en las estaciones más próximas al emplazamiento, que son los óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas en suspensión (PM10 y PM2,5).

Actualmente, la Red de la Comunidad de Madrid está compuesta por veintiocho (28) estaciones fijas de medida, distribuidas en diferentes zonas homogéneas del territorio (urbanas, rurales y de fondo regional), complementadas por una red propia adicional gestionada por el Ayuntamiento de Madrid. A continuación, se muestra el mapa de la ubicación de las estaciones fijas situadas en la proximidad de la parcela de estudio ubicada en el término municipal de Titulcia (señalada en rojo en la siguiente figura):

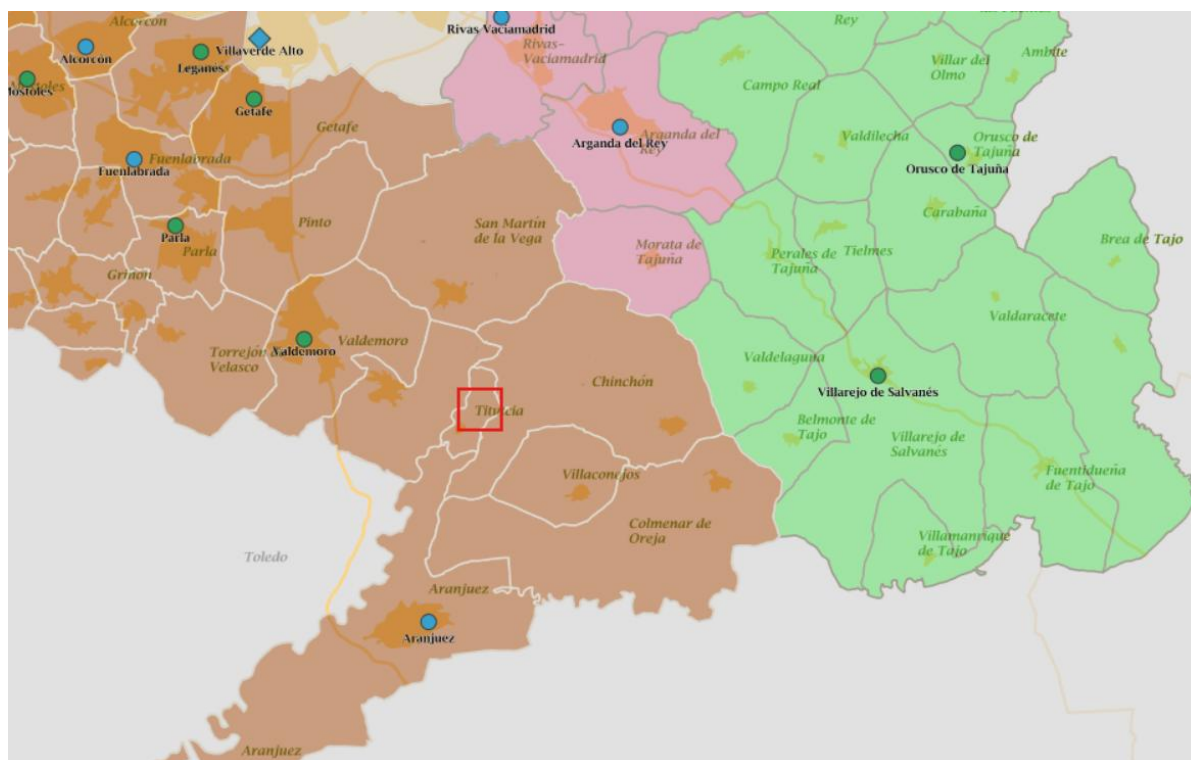


Figura 20. Red de estaciones fijas medidoras de la calidad del aire más próximas al Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama"

Con objeto de garantizar la representatividad espacial de las concentraciones de fondo consideradas en el presente estudio, se ha establecido como criterio general la selección de estaciones de calidad del aire situadas en un radio máximo aproximado de 25 km respecto al emplazamiento proyectado.

La adopción de dicho umbral responde a consideraciones técnicas relacionadas con la escala espacial de los procesos de dispersión atmosférica y con la homogeneidad meteorológica y orográfica del entorno. En ámbitos territoriales relativamente uniformes, como el sector sur de la Comunidad de Madrid, las concentraciones de contaminantes atmosféricos asociados a fuentes difusas (tráfico interurbano, actividad agrícola, emisiones urbanas de baja intensidad, etc.) presentan una variabilidad regional moderada dentro de escalas del orden de varias decenas de kilómetros. Un radio de 25 km permite:

- Cubrir adecuadamente los distintos sectores direccionales respecto al emplazamiento (N, S, E y O), garantizando la representatividad frente a los regímenes de viento dominantes.
- Incluir estaciones sometidas a condiciones meteorológicas comparables a las del área de estudio.
- Mantener coherencia con la escala territorial del análisis de dispersión realizado.

Por lo tanto, siguiendo este criterio, tendríamos las siguientes estaciones de medición:

Estación	Distancia a parcela de estudio (km)	Orientación	Contaminantes medidos
Valdemoro	12,5	Noroeste	NO _x PM _{2,5}
Aranjuez	13	Sur	NO _x PM ₁₀
Arganda del Rey	19	Noreste	NO _x PM ₁₀
Villarejo de Salvanés	23	Este	NO _x PM _{2,5}

Tabla 5. Resumen de las estaciones de control del aire seleccionadas

3.7.2. Criterio de selección

Una vez identificadas las estaciones de la Red de Calidad del Aire situadas en un radio inferior a 25 km del emplazamiento proyectado (Valdemoro, Aranjuez, Arganda del Rey y Villarejo de Salvanés), se ha procedido a definir los criterios técnicos para la determinación de los valores de fondo a incorporar en el análisis de dispersión de cada contaminante:

3.7.2.1. Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Para la determinación de la concentración de fondo de NO_x se han analizado las cuatro estaciones de calidad del aire más próximas al ámbito de estudio: Valdemoro, Aranjuez, Arganda del Rey y Villarejo de Salvanes. Todas ellas disponen de registros válidos para este contaminante.

Desde un punto de vista estrictamente geográfico, varias de estas estaciones presentan distancias similares al emplazamiento de la futura instalación. Sin embargo, se ha considerado que la proximidad no debe ser el único criterio de selección, dado que la representatividad del fondo ambiental depende en gran medida del contexto demográfico y del entorno en el que se ubica cada estación.

En este sentido, Valdemoro cuenta con aproximadamente 80.000 habitantes, mientras que Aranjuez y Arganda del Rey presentan poblaciones en torno a 60.000 habitantes. Además, las estaciones de medición en estos municipios se encuentran situadas en pleno casco urbano, lo que implica una influencia significativa de fuentes locales asociadas al tráfico rodado, calefacciones y actividad urbana. Estas condiciones generan un entorno de fondo característico de áreas urbanas consolidadas y densamente pobladas.

Por el contrario, la futura instalación se localizará en un entorno de carácter rural, próximo a Titulcia, municipio que cuenta con aproximadamente 1.000 habitantes y presenta una baja densidad poblacional y menor presión de tráfico. Desde esta perspectiva, el contexto urbano de las estaciones anteriormente citadas podría sobrerrepresentar las concentraciones de fondo reales del área de estudio.

En comparación, Villarejo de Salvanes presenta una población aproximada de 8.000 habitantes, notablemente inferior a la de los otros municipios considerados, y con un entorno territorial menos densamente urbanizado. Aunque se trata de la estación más alejada de las cuatro analizadas, sus características demográficas y su menor influencia urbana directa la convierten en una referencia más adecuada para estimar el fondo regional representativo del entorno rural donde se ubicará la instalación.

3.7.2.2. Partículas PM_{2,5}

En el caso de las partículas PM_{2,5}, únicamente las estaciones de Valdemoro y Villarejo de Salvanes disponen de registros válidos y continuados para este contaminante dentro del ámbito de estudio.

Si bien Valdemoro presenta una mayor proximidad relativa, se considera necesario analizar la representatividad real del entorno en el que se ubica la estación. Valdemoro cuenta con una población aproximada de 80.000 habitantes y se localiza dentro de un corredor metropolitano densamente urbanizado, próximo a municipios con elevada población como Pinto, Parla y Fuenlabrada. Esta configuración territorial implica una notable influencia de tráfico rodado y actividad urbana, factores que pueden incrementar las concentraciones registradas de partículas finas.

Adicionalmente, la estación de medición de Valdemoro se encuentra situada en el Colegio Público Pedro Antonio de Alarcón, emplazado en el núcleo urbano de la localidad, lo que refuerza su carácter representativo de un entorno eminentemente urbano.

Por el contrario, Villarejo de Salvanés presenta una población aproximada de 8.000 habitantes y un entorno menos densamente urbanizado, con características territoriales más similares a las del área donde se proyecta la instalación, próxima a Titulcia (municipio de aproximadamente 1.000 habitantes y carácter rural). En este contexto, la estación de Villarejo de Salvanés se considera más adecuada para estimar el fondo regional representativo del entorno rural del proyecto.

3.7.2.3. Partículas PM₁₀

En el caso de las partículas PM₁₀, únicamente las estaciones de Aranjuez y Arganda del Rey disponen de registros válidos para este contaminante dentro del ámbito de estudio.

Desde el punto de vista demográfico, ambos municipios presentan magnitudes poblacionales similares, en torno a 60.000 habitantes, por lo que este criterio no resulta determinante en la selección de la estación más representativa.

En consecuencia, el criterio principal adoptado ha sido la proximidad al emplazamiento de la futura instalación. En este sentido, Aranjuez se localiza aproximadamente a 13 km, mientras que Arganda del Rey se sitúa a unos 19 km de distancia. Dado que una menor distancia favorece una mayor representatividad espacial del fondo atmosférico regional, se considera técnicamente justificada la selección de la estación de Aranjuez para la determinación de la concentración de fondo de PM₁₀ en el presente estudio.

3.7.3. Coherencia temporal con el periodo meteorológico modelizado

Con el fin de garantizar la coherencia metodológica del estudio, los valores de fondo se han determinado a partir de los datos mensuales registrados en las estaciones de estudio durante los años 2023 y 2024, coincidentes con el periodo meteorológico empleado en la modelización de la dispersión atmosférica.

La utilización de un mismo intervalo temporal para los datos meteorológicos procesados para AERMOD, y las concentraciones ambientales observadas en las estaciones seleccionadas, permite mantener consistencia en las condiciones atmosféricas consideradas y reducir incertidumbres derivadas de posibles variaciones interanuales significativas.

De este modo, este planteamiento asegura una base técnica sólida, transparente y reproducible para la comparación de las concentraciones totales (contribución modelizada + fondo) con los valores límite aplicables.

4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez definido el modelo de dispersión atmosférica mediante AERMOD, se procede al análisis de los resultados obtenidos. Este análisis se organiza según los distintos contaminantes emitidos por la planta de valorización energética, incluyendo material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), metales pesados, compuestos orgánicos volátiles (benceno y Benzo(a)pireno), dioxinas y furanos, así como ácidos clorhídricos (HCl) y fluorhídrico (HF). En función de la naturaleza de cada contaminante y de la normativa aplicable, se han realizado simulaciones con distintas resoluciones temporales (horaria, diaria o anual), con el objetivo de evaluar los niveles de inmisión en el entorno y verificar el cumplimiento de los límites establecidos por la legislación vigente. Asimismo, se analiza la posible afección de estos contaminantes tanto en zonas habitadas como en áreas con algún grado de protección ambiental.

4.1. Corrección de emisiones según el contenido de oxígeno

Para la modelización de la dispersión atmosférica en AERMOD se emplearán diferentes valores de emisión en función del tipo de límite de calidad del aire evaluado. En concreto, para los límites anuales, los límites diarios y para el 97 % del tiempo en la evaluación de los límites horarios, se utilizará el valor inferior de los rangos de emisión establecidos por las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs 2019/2010).

Adicionalmente, para el 3 % restante asociado a los límites horarios, se aplicarán los valores de emisión semihorarios contemplados en la Directiva Europea 2010/75/UE, con el fin de representar adecuadamente los posibles episodios puntuales de emisiones más elevadas que la normativa permite de forma excepcional.

Estos niveles están calculados teniendo en cuenta que los valores están asociados a un Normo metro cúbico (273,15 K, 101,3 kPa, 11% de O₂ y 100% de gas seco), por lo que es necesario realizar una pequeña corrección, ya que en nuestro caso el % de O₂ pasa a ser un 9,42% y una humedad en los gases de combustión del 17,9%. Dicho esto, y partiendo de la fórmula para calcular la concentración corregida de emisiones de contaminantes en función del contenido de oxígeno, que se encuentra en el RD 815/2013, Anejo 2 parte 6:

$$Es = [(21 - Os) / (21 - Om)] \times Em$$

Figura 21. Fórmula para cálculo de concentración corregida según % de oxígeno

Donde:

Es = concentración de emisión referida a gas seco en condiciones normalizadas y corregida a la concentración de oxígeno de referencia (valor del límite alto).

Em = concentración de emisión medida, referida a gas seco en condiciones normalizadas.

Os = concentración de oxígeno de referencia (11 %).

Om = concentración de oxígeno medida, referida a gas seco en condiciones normalizadas, expresada en % en volumen (9,42 %).

Por eso, todos los valores de referencia con los que trabajaremos según las directivas, tendremos que aplicarle la fórmula anterior para corregirlo según nuestro % de oxígeno, haciendo incrementar los valores límites superiores.

4.2. Valores de emisión a salida de chimenea

Una vez aplicada la corrección de los valores de emisión al porcentaje real de oxígeno correspondiente a las condiciones de operación de la planta —de acuerdo con los criterios establecidos en el Real Decreto 815/2013 y las Mejores Técnicas Disponibles (MTD)—, se presenta a continuación una tabla resumen que recoge los valores finales de emisión diarios considerados para cada línea de combustión y contaminante. Esta tabla integra, para cada foco y sustancia, los límites asociados a las MTD, constituyendo la base de emisión utilizada posteriormente en el modelo de dispersión atmosférica AERMOD para comprobar los límites diarios y anuales, y como complementación para comprobar las superaciones horarias.

Contaminante	Umbral inferior de los NEAs MTDs (mg/Nm ³) normalizadas al 11% (por línea)	Emisiones por línea (mg/Nm ³) normalizadas al 11% de O ₂	Emisiones por línea (mg/m ³) corregidas al 9,54% de O ₂	Tasa de emisión (g/s) por línea	Emisiones totales (2 líneas) en masa anuales (kg/año)
Óxidos de Nitrógeno (NO _x)	50	50	57,9	1,463	92.281,7
Partículas PM ₁₀	1	1	1,158	0,029	1.845,6
Partículas PM _{2,5}	1	1	1,158	0,029	1.845,6
Dióxido de azufre (SO ₂)	5	5	5,79	0,146	9.228,2
Benceno (COV)	0,03	0,03	0,03474	0,001	55,4
Benzo(a)pireno (COV)	0,000003	0,000003	0,00165	0,000042	2,6
Plomo (Pb)	0,0068	0,0068	0,011361135	0,00029	18,1
Arsénico (As)	0,00068	0,00068	0,001214466	0,000031	1,9
Cadmio (Cd)	0,0016	0,0016	0,000901056	0,000023	1,4
Níquel (Ni)	0,0025	0,0025	0,004231043	0,000107	6,7

Mercurio (Hg)	0,005	0,005	0,00579	0,00015	9,2
Dioxinas y Furanos (PCDD/F)	0,00000001	0,00000001	1,158E-08	0,0000000003	0,00002
Monóxido de Carbono (CO)	10	10	11,58	0,293	18.456,3
Amoníaco (NH ₃)	2	2	2,316	0,059	3.691,3
Cloruro de Hidrógeno (HCl)	2	2	2,316	0,059	3.691,3
Fluoruro de Hidrógeno (HF)	1	1	1,158	0,029	1.845,6

Tabla 6. Valores de emisión diarios corregidos

Por otro lado, se han considerado también los valores de emisión semihorarios, que pueden aplicarse hasta en un 3% del total de horas anuales, de acuerdo con lo establecido en el Real Decreto 815/2013. Estos valores representan los picos máximos admisibles de emisión y son los que se emplean en el modelado para evaluar el número de posibles excedencias respecto a los valores límite horarios de inmisión establecidos en la normativa de calidad del aire.

Contaminante	VLE 3% semihorario RD 815/2013 (mg/Nm3) normalizadas al 11%	Emisiones mg/Nm3 corregidas al 9,54% de O ₂	Tasa de emisión (g/s)	Emisiones totales (2 líneas) en masa anuales (t/año)
Óxidos de Nitrógeno (NO _x)	400	463,2	11,705	738,3
Dióxido de azufre (SO ₂)	200	231,6	5,852	369,1
Monóxido de Carbono (CO)	100	115,8	2,926	184,6

Tabla 7. Valores de emisión semihorarios corregidos

4.3. Visualización de los resultados en inmisión

Para facilitar la interpretación espacial de las concentraciones modelizadas, los resultados se representan mediante una escala cromática continua de diez niveles, diseñada específicamente para reflejar la relación entre las concentraciones calculadas y los valores límite de inmisión aplicables.

El valor máximo de la escala corresponde siempre al límite de calidad del aire establecido en la Directiva (UE) 2024/2881, normativa que sustituirá al RD 102/2011 y será de obligado cumplimiento a partir de 2030. Esta directiva introduce umbrales sustancialmente más estrictos con el objetivo de reforzar la protección de la salud humana.

En aquellos contaminantes para los que la 2024/2881 no establece valores límite específicos —como el mercurio, el amoníaco, el cloruro de hidrógeno, el fluoruro de hidrógeno o las dioxinas y furanos— se emplean valores de referencia procedentes de organismos internacionales de máxima autoridad, como la Organización Mundial de la Salud (OMS) o la Agencia Federal Alemana de Medio Ambiente (UBA), garantizando así la aplicación de criterios conservadores y de elevada exigencia sanitaria.

Por su parte, el mínimo de la escala se fija, con carácter general, en el 5 % del valor límite correspondiente a cada contaminante. Este umbral permite visualizar en los mapas las zonas donde las concentraciones superan ese porcentaje y facilita la interpretación en escenarios de bajas inmisiones. No obstante, en aquellos contaminantes cuya contribución es extremadamente reducida, el límite inferior de la escala se ha ajustado aún más —hasta el 1 %, 0,5 % o incluso el 0,01 % del valor límite— con el fin de permitir la correcta visualización del alcance real, manteniendo siempre el valor límite completo como referencia en el extremo superior de la escala.

Con el fin de proporcionar una representación clara y homogénea, se ha optado por utilizar una paleta monocromática en tonos azules, variando únicamente la intensidad del color. Esta decisión facilita la identificación inmediata de las áreas de mayor impacto, evitando confusiones cromáticas entre contaminantes y permitiendo comparar visualmente, de forma intuitiva, la proporción que representan las concentraciones modelizadas respecto a sus respectivos límites legales o de referencia.

4.3.1. Representación de contaminantes con concentración de fondo

En el caso de los contaminantes que se puede insertar concentración de fondo, (concretamente NO_x, PM₁₀ y PM_{2,5}), la representación gráfica de los resultados se ha ajustado debido a la elevada contribución de la concentración de fondo existente en la zona de estudio. En estos casos, el fondo ambiental representa más del 95 % del valor total modelizado, siendo la contribución atribuible a la instalación relativamente reducida.

Para NO_x, el valor mínimo de la escala se ha definido como la concentración de fondo incrementada en un 10 % de la diferencia entre dicho fondo y el valor límite legal, manteniéndose como valor máximo el propio límite normativo.

En el caso de PM10 y PM2,5, dado que el fondo de inmisión representa prácticamente la totalidad del resultado y las diferencias modelizadas son muy pequeñas, se ha optado por definir una escala más estrecha, con un mínimo ligeramente superior al fondo de inmisión y un máximo próximo a este, con el fin de poder visualizar adecuadamente las curvas de isoconcentración generadas por la instalación.

Este criterio responde únicamente a fines de representación gráfica, sin afectar a la interpretación normativa de los resultados.

4.4. Óxidos de nitrógeno (modelados como NO₂)

El primer contaminante para modelar serán los óxidos de nitrógeno, ya que será uno de los principales compuestos emitidos por la instalación. En este caso, se considera la presencia de un sistema de reducción catalítica selectiva (SCR) para el control de los óxidos de nitrógeno (NO_x), mediante la inyección de amoníaco en los gases calientes antes de su paso por el catalizador, por lo que a la hora de indicar las emisiones, que es el límite inferior, ya que según indica las MTDs, el extremo superior del intervalo (50-120 µg/m³) no es aplicable el SCR, y el sistema inferior solo puede alcanzarse cuando se utiliza un sistema SCR.

4.4.1. Evaluación sin concentración de fondo (Contribución de proyecto)

En el presente apartado se analizan las concentraciones de óxidos de nitrógeno atribuibles exclusivamente al funcionamiento de la instalación proyectada, sin considerar la concentración de fondo existente en la zona de estudio. El objetivo de este análisis es evaluar la contribución incremental del proyecto y determinar si, por sí sola, puede generar superaciones de los valores límite de calidad del aire establecido en la Directiva (UE) 2024/2881, normativa que sustituirá al RD 102/2011 y será de obligado cumplimiento a partir de 2030.

Este enfoque permite aislar el impacto directamente imputable a la instalación, diferenciándolo de la situación ambiental preexistente. De este modo, se evalúa la magnitud real de la aportación del proyecto y su relevancia respecto a los estándares legales aplicables.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los distintos periodos de evaluación considerados (horario, diario y anual), comparando las concentraciones modelizadas con los correspondientes valores límite.

4.4.1.1. Límite horario

En este apartado se evalúa si la instalación cumple con el valor límite horario de dióxido de nitrógeno (NO₂), conforme a la Directiva (UE) 2024/2881, de obligado cumplimiento a partir de 2030. Esta establece un límite horario de 200 µg/m³, que no debe superarse más de 3 veces al año.

Para este análisis se ha partido de la base establecida en el Real Decreto 815/2013, cuyo Anejo 2 (parte 5) define los valores límite de emisión semihorarios aplicables a instalaciones de valorización energética de residuos, diferenciando entre los valores que deben cumplirse en el 97% de las horas anuales y los valores máximos admisibles en el 3% restante. No obstante, y con el fin de integrar las exigencias más recientes, el estudio incorpora asimismo los valores de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) de 2019, concretamente los incluidos en el Cuadro 6 relativos a los Niveles de Emisión Asociados a las MTD (NEA-MTD) para emisiones canalizadas de NO_x generadas por la combustión de residuos.

Dado que la planta proyectada incorpora un sistema catalítico SCR, se ha adoptado el límite inferior de las MTD, equivalente a 50 mg/Nm³, para representar el funcionamiento habitual de la instalación. Así, se ha considerado que en el 97% del tiempo las emisiones de NO_x se corresponden con este valor MTD. Para el 3% restante, y con el fin de mantener la coherencia regulatoria, se ha aplicado el valor máximo semihorario de 400 mg/Nm³ establecido en el Real Decreto 815/2013, al tratarse del límite permitido en episodios puntuales de funcionamiento. Esta configuración permite reflejar un escenario realista y conservador del comportamiento de las emisiones a lo largo del año.

Dado que el programa AERMOD aplica por defecto un caudal de emisión constante a lo largo del año, se ha habilitado la opción de utilizar un fichero de emisiones horarias. Este fichero se ha generado a partir de las 17.520 semihoras que contiene un año, asignando aleatoriamente las emisiones mencionadas de 50 mg/Nm³ y 400 mg/Nm³ en las proporciones del 97% y 3%, respectivamente. Posteriormente, los datos se han combinado en registros horarios (8.760 horas anuales), resultando en una distribución donde predominan los valores de 50 mg/Nm³, seguidos de un pequeño número de horas con valores superiores.

A continuación, el objetivo es comprobar si las concentraciones horarias derivadas de este escenario más extremo implican la superación del umbral horario más allá del número permitido de veces (3 excedencias por año). Para ello observaremos las 5 concentraciones horarias más elevadas en el año simulado por el programa, y ver cuantas horas superan los 200 µg/m³.

Una vez programado vemos que, con 70 metros de chimenea, no hay ninguna franja horaria que supere el límite establecido, siendo la concentración horaria más elevada de 72,33 µg/m³, muy lejos del límite legal.

Por otro lado, las concentraciones horarias más altas de NO₂ en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración (µg/m ³)	Receptor	Concentración (µg/m ³)
Titulcia	28,73	Nuevo Chinchón	18,25
Morata de Tajuña	3,68	San Martín de la Vega	3,86
Ciempozuelos	5,33	Seseña Nuevo	7,10
La Montaña	3,45	Urtajo	8,31
Villaconejos	14,73	Los Vallejos	5,96

Parque regional del Sureste	62,38	Red Natura 2000	37,25
HIC 4090	30,42	HIC 5210	51,60

Tabla 8. Concentración horaria de NO2 más elevada en los receptores singulares

Como podemos ver en la tabla anterior, las concentraciones más altas se dan en los receptores más cercanos a la planta, que son los espacios naturales protegidos y Titulcia. Aun así, están muy lejos de sobrepasar el límite legal.

A continuación, vemos el mapa de concentraciones de la franja con la concentración más elevada:

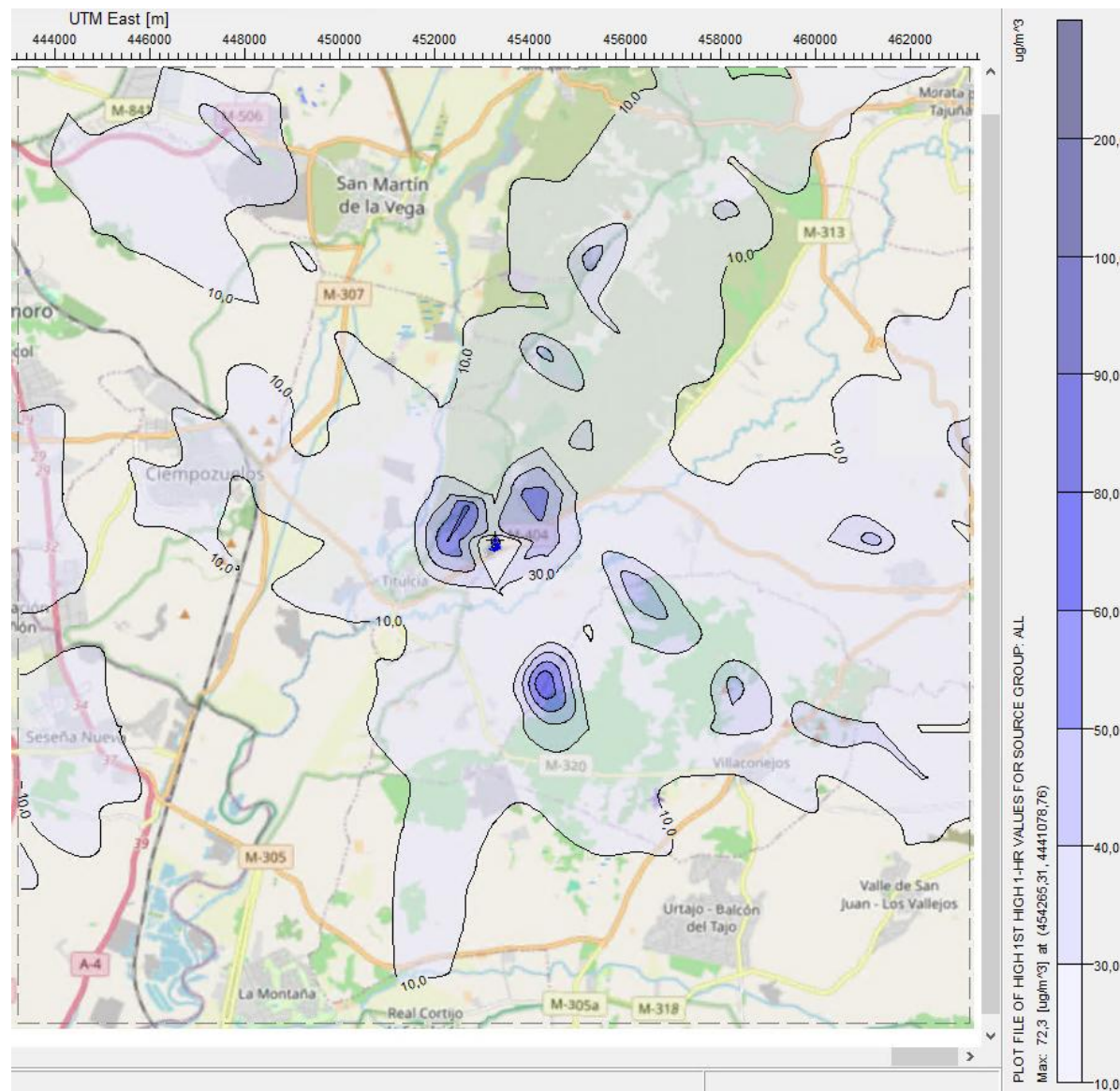


Figura 22. Concentración horaria más elevada de NO₂

4.4.1.2. Límite diario

El siguiente paso, es comprobar que se cumplen los límites de valor diario, que en este caso son de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual solo puede ser superado un máximo de 18 veces al año.

Para este análisis se ha considerado una emisión media ponderada de NO_x (expresado como NO_2) de 50 mg/Nm^3 (57,9 con el factor de corrección), según se observa en los niveles de emisión asociados con la MDT (NEA-MDT) para instalaciones nuevas de valorización energética de residuos.

Como observaremos más adelante, la modelización del día con más concentración de óxidos de nitrógeno, la cual llega a un límite de 3,72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, quedando muy lejos del límite fijado.

Por otro lado, las concentraciones diarias de NO_2 más altas en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Titulcia	1,25	Nuevo Chinchón	0,64
Morata de Tajuña	0,24	San Martín de la Vega	0,13
Ciempozuelos	0,25	Seseña Nuevo	0,18
La Montaña	0,21	Urtajo	0,30
Villaconejos	0,34	Los Vallejos	0,13
Parque regional del Sureste	3,41	Red Natura 2000	1,99
HIC 4090	0,91	HIC 5210	3,66

Tabla 9. Concentración diaria de NO_2 más elevada en los receptores singulares

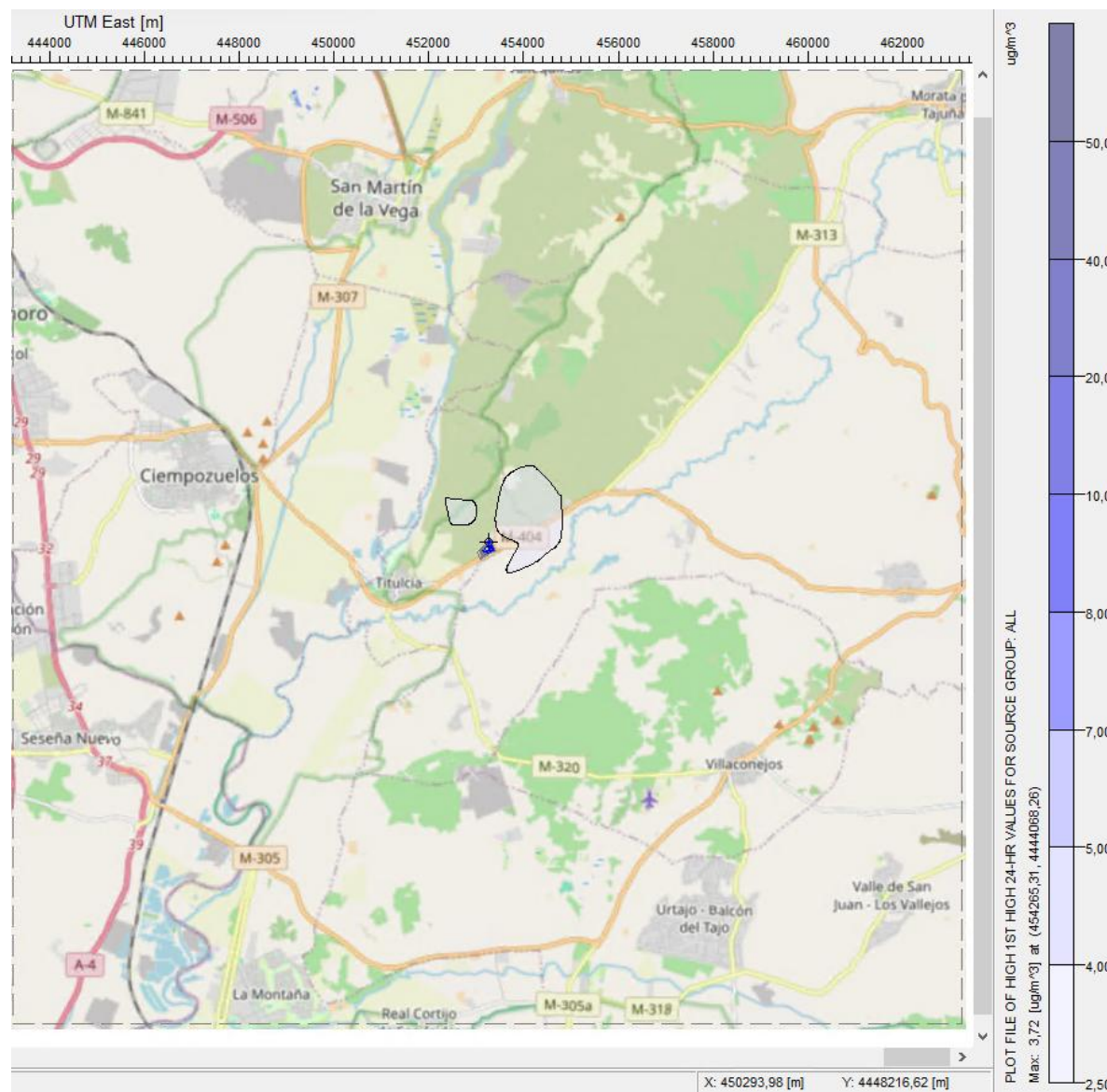


Figura 23. Concentración diaria más elevada de NO2

4.4.1.3. Límite anual

En este apartado se analiza el cumplimiento del valor límite de concentración anual de dióxido de nitrógeno (NO₂) establecido en la legislación vigente. Según la Directiva (UE) 2024/2881, de obligado cumplimiento a partir de 2030, sobre la mejora de la calidad del aire, el valor límite anual para la protección de la salud humana es de 20 µg/m³ como concentración media anual.

Para este análisis se ha considerado una emisión media ponderada de NO_x (expresado como NO₂) de 50 mg/Nm³ (57,9 con el factor de corrección), según se observa en los niveles de emisión asociados con la MDT (NEA-MDT) para instalaciones nuevas de valorización energética de residuos.

A partir de esta emisión media, se han modelizado las concentraciones anuales esperadas mediante el modelo AERMOD. Como podemos ver a continuación, incluso poniéndonos en el caso más exagerado de emisiones, la concentración anual más elevada es de 0,35 µg/m³, muy por debajo de los 20 que establece la Unión Europea. Incluso en la gráfica el mínimo de la escala que se representa es el 1% del límite máximo de inmisión, ya que el 5% no se podía representar. Por lo tanto, podemos concluir que la instalación cumplirá con los límites establecidos para las emisiones de dióxido de nitrógeno, y que la ciudad de Titulcia se encuentra por debajo del 1% sobre el límite máximo permitido por la directiva (UE) 2024/2881.

Por otro lado, las concentraciones anuales de NO₂ más altas en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración (µg/m ³)	Receptor	Concentración (µg/m ³)
Titulcia	0,11	Nuevo Chinchón	0,04
Morata de Tajuña	0,01	San Martín de la Vega	0,01
Ciempozuelos	0,02	Seseña Nuevo	0,02
La Montaña	0,02	Urtajo	0,01
Villaconejos	0,02	Los Vallejos	0,01
Parque regional del Sureste	0,33	Red Natura 2000	0,31
HIC 4090	0,08	HIC 5210	0,21

Tabla 10. Concentración anual de NO₂ más elevada en los receptores singulares

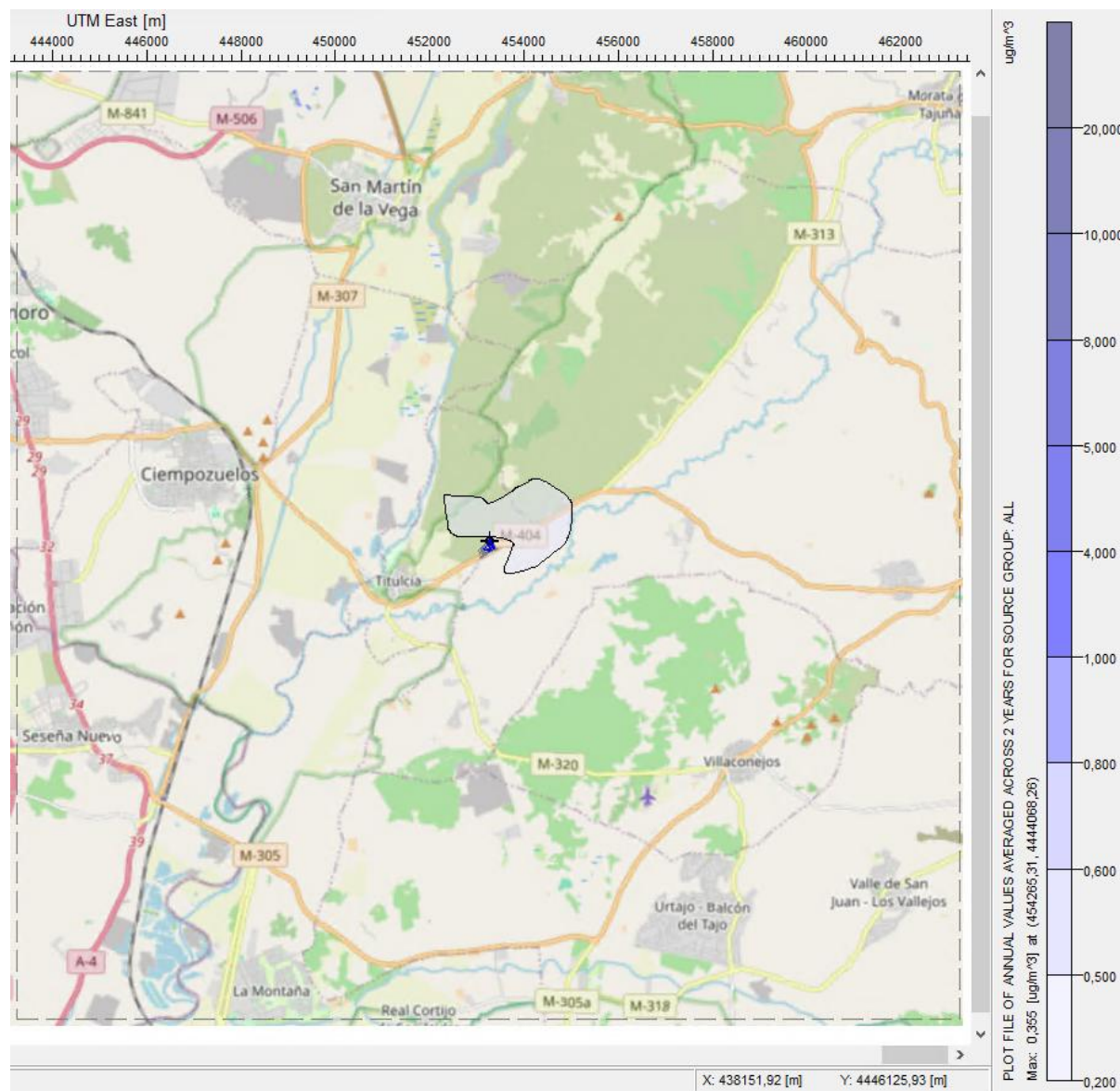


Figura 24. Concentración anual promedio de NO2

4.4.2. Evaluación con concentración de fondo (Escenario acumulado)

Una vez verificado que la contribución aislada de la instalación no genera superaciones de los valores límite establecidos en la futura Directiva (UE) 2024/2881, de obligado cumplimiento a partir de 2030, se analiza a continuación el escenario acumulado, incorporando las concentraciones de fondo de óxidos de nitrógeno.

Los valores de fondo se han obtenido a partir de los registros de la estación de vigilancia de calidad del aire ubicada en Villarejo de Salvanés, situada aproximadamente a 23 km de la futura instalación, al considerarse la estación representativa del entorno atmosférico de la zona de estudio. Los datos han sido descargados del portal oficial de la Comunidad de Madrid, donde se encuentra disponible el histórico validado de concentraciones.

Para la incorporación de fondo en el modelo AERMOD, se han descargado los valores mensuales de los dos años de estudio (2023 y 2024) de la web de la Comunidad de Madrid. A partir de aquí, se ha realizado una media de los dos valores para cada mes del año, que finalmente han sido los valores incorporados en la modelización. El resultado es el siguiente:

Mes	Año	Emisión ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Emisión media modelizada ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Enero	2023	21	24,5
	2024	28	
Febrero	2023	20	20
	2024	20	
Marzo	2023	16	15,5
	2024	15	
Abril	2023	13	12
	2024	11	
Mayo	2023	10	10,5
	2024	11	
Junio	2023	11	10
	2024	9	
Julio	2023	10	11
	2024	12	
Agosto	2023	12	12
	2024	12	
Septiembre	2023	15	14

	2024	13	
Octubre	2023	16	14,5
	2024	13	
Noviembre	2023	24	23
	2024	22	
Diciembre	2023	39	35
	2024	31	

Tabla 11. Concentración de fondo de NOx incorporada a la modelización

Una vez definido el procedimiento de incorporación de la concentración de fondo, se presentan a continuación los resultados correspondientes al escenario acumulado (contribución del proyecto + fondo ambiental).

4.4.2.1. Límite diario

En este primer paso, es comprobar que se cumplen los límites de valor diario, que en este caso son de 50 µg/m³, el cual solo puede ser superado un máximo de 18 veces al año.

Para este análisis también se ha considerado una emisión media ponderada de NOx (expresado como NO₂) de 50 mg/Nm³ (57,9 con el factor de corrección), según se observa en los niveles de emisión asociados con la MDT (NEA-MDT) para instalaciones nuevas de valorización energética de residuos.

Como observamos a continuación, la modelización del día con más concentración de óxidos de nitrógeno incorporando los valores de inmisión de fondo, llega a un límite de 36,8 µg/m³ (de los cuales 35 µg/m³ corresponden al propio fonde inmisión, es decir un 95%), quedando, todavía, por debajo del límite fijado.

Por otro lado, las concentraciones diarias de NO₂ (teniendo en cuenta la concentración de fondo) más altas en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración (µg/m ³)	Receptor	Concentración (µg/m ³)
Titulcia	35,40	Nuevo Chinchón	35,64
Morata de Tajuña	35,24	San Martín de la Vega	35,12
Ciempozuelos	35,14	Seseña Nuevo	35,09
La Montaña	35,10	Urtajo	35,27
Villaconejos	35,21	Los Vallejos	35,11

Parque regional del Sureste	36,46	Red Natura 2000	36,32
HIC 4090	35,64	HIC 5210	35,79

Tabla 12. Concentración diaria de NO₂ más elevada en los receptores singulares con contaminación de fondo

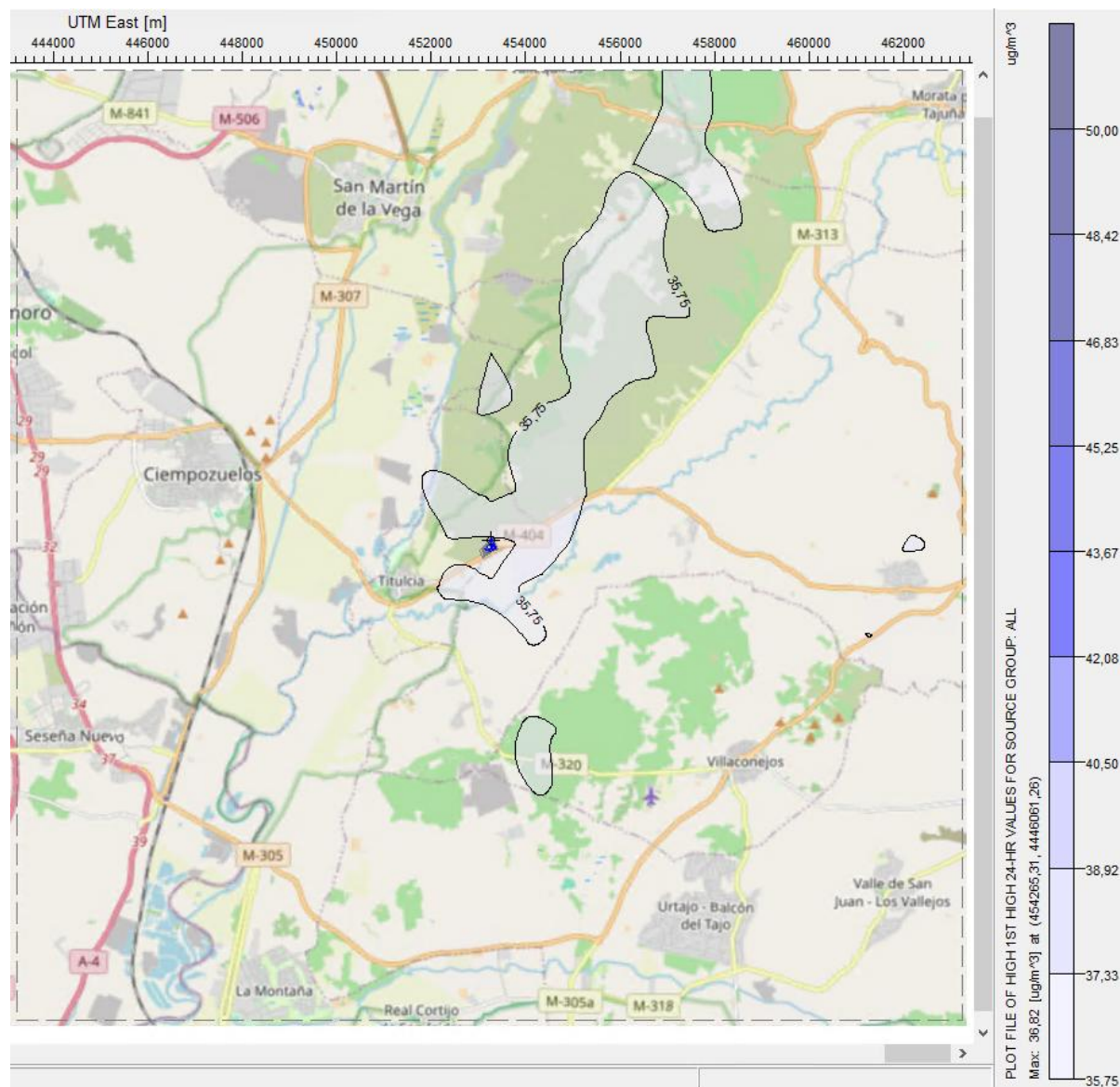


Figura 25. Concentración diaria más elevada de NO2 (con concentración de fondo)

4.4.2.2. Límite anual

En este último apartado se analiza el cumplimiento del valor límite de concentración anual de dióxido de nitrógeno (NO₂) establecido en la legislación vigente. Según la Directiva (UE) 2024/2881, de obligado cumplimiento a partir de 2030, sobre la mejora de la calidad del aire, el valor límite anual para la protección de la salud humana es de 20 µg/m³ como concentración media anual.

Para este análisis también se ha considerado una emisión media ponderada de NO_x (expresado como NO₂) de 50 mg/Nm³ (57,9 con el factor de corrección), según se observa en los niveles de emisión asociados con la MDT (NEA-MDT) para instalaciones nuevas de valorización energética de residuos.

Como podemos ver a continuación, incluso incorporando las concentraciones de fondo, la concentración anual más elevada es de 17,19 µg/m³, aún por debajo de los 20 que establece la Unión Europea. Aun así, hay que considerar que de este valor, 16,85 µg/m³ corresponden al propio fonde inmisión, es decir un 98%),

Por otro lado, las concentraciones anuales de NO₂ (teniendo en cuenta la concentración de fondo) más altas en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración (µg/m ³)	Receptor	Concentración (µg/m ³)
Titulcia	16,95	Nuevo Chinchón	16,87
Morata de Tajuña	16,85	San Martín de la Vega	16,85
Ciempozuelos	16,85	Seseña Nuevo	16,85
La Montaña	16,85	Urtajo	16,84
Villaconejos	16,85	Los Vallejos	16,84
Parque regional del Sureste	17,16	Red Natura 2000	17,15
HIC 4090	16,92	HIC 5210	17,04

Tabla 13. Concentración anual de NO₂ más elevada en los receptores singulares con contaminación de fondo

Por lo tanto, se concluye que la instalación cumple con los valores límite de calidad del aire establecidos para el dióxido de nitrógeno, tanto en el escenario de contribución aislada del proyecto como en el escenario acumulado que incorpora las concentraciones de fondo registradas en la estación de Villarejo de Salvanés.

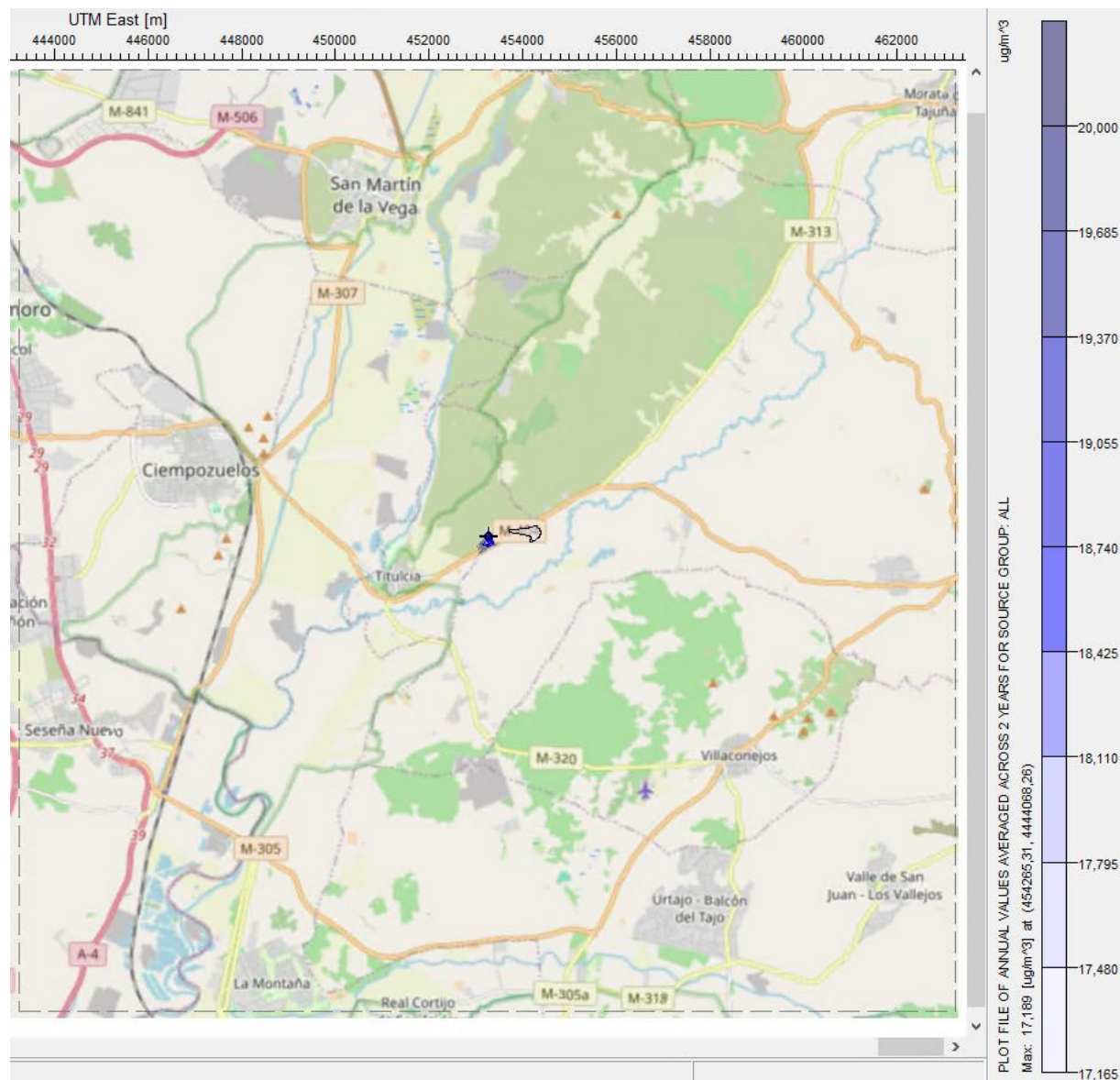


Figura 26. Concentración anual de NO2 (con concentración de fondo)

4.5. Partículas totales

Para el caso de las partículas, el planteamiento es ligeramente distinto, ya que las directivas europeas establecen un único límite para partículas totales, mientras que AERMOD permite diferenciar entre fracciones según tamaño ($PM_{2,5}$ y PM_{10}), las cuales presentan valores límite de inmisión distintos debido a su diferente comportamiento atmosférico y mayor o menor impacto en la salud humana. Con el fin de evitar solapamientos y representar correctamente la distribución granulométrica típica de una instalación de valorización energética con filtración avanzada, se ha optado por dividir las partículas totales en dos fracciones no superpuestas, asignando el 50% a $PM_{2,5}$ y el 50% a $PM_{2,5-10}$, de modo que la suma represente el 100% del límite de partículas totales establecido por las MTD.

En consecuencia, se realizan dos modelizaciones independientes:

- 50% de las emisiones consideradas como $PM_{2,5}$
- 50% de las emisiones consideradas como PM_{10} (equivalentes a $PM_{2,5} + PM_{2,5-10}$)

4.5.1. Partículas $PM_{2,5}$

El siguiente contaminante analizado corresponde a las partículas finas $PM_{2,5}$, emitidas principalmente por el proceso de combustión y las operaciones asociadas a la valorización energética de residuos. Este contaminante resulta especialmente relevante por su capacidad de penetración en el sistema respiratorio y su impacto en la calidad del aire a nivel local.

4.5.1.1. Evaluación sin concentración de fondo (Contribución de proyecto)

En el presente apartado se analizan las concentraciones de partículas $PM_{2,5}$ atribuibles exclusivamente al funcionamiento de la instalación proyectada, sin considerar la concentración de fondo existente en la zona de estudio. El objetivo de este análisis es evaluar la contribución incremental del Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama" y determinar si, por sí sola, puede generar superaciones de los valores límite de calidad del aire establecido en la Directiva (UE) 2024/2881, normativa que sustituirá al RD 102/2011 y será de obligado cumplimiento a partir de 2030.

Este enfoque permite aislar el impacto directamente imputable a la instalación, diferenciándolo de la situación ambiental preexistente. De este modo, se evalúa la magnitud real de la aportación del proyecto y su relevancia respecto a los estándares legales aplicables.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los distintos periodos de evaluación considerados (diario y anual), comparando las concentraciones modelizadas con los correspondientes valores límite.

4.5.1.1.1. Límite diario

Para la evaluación diaria se han tomado como referencia los valores límite establecidos en la normativa de calidad del aire, en concreto la Directiva (UE) 2024/2881, de obligado cumplimiento a partir de 2030, relativo a la mejora de la calidad del aire. Dicha Directiva Europea establece un valor límite diario de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la fracción $\text{PM}_{2,5}$, pudiéndose superar un máximo de 18 veces por año.

Para ello se ha considerado que el 50% de las emisiones de partículas corresponden a $\text{PM}_{2,5}$, fijando una concentración de emisión constante de $1 \text{ mg}/\text{Nm}^3$, que representa la mitad del valor mínimo permitido según las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs) para instalaciones de valorización energética.

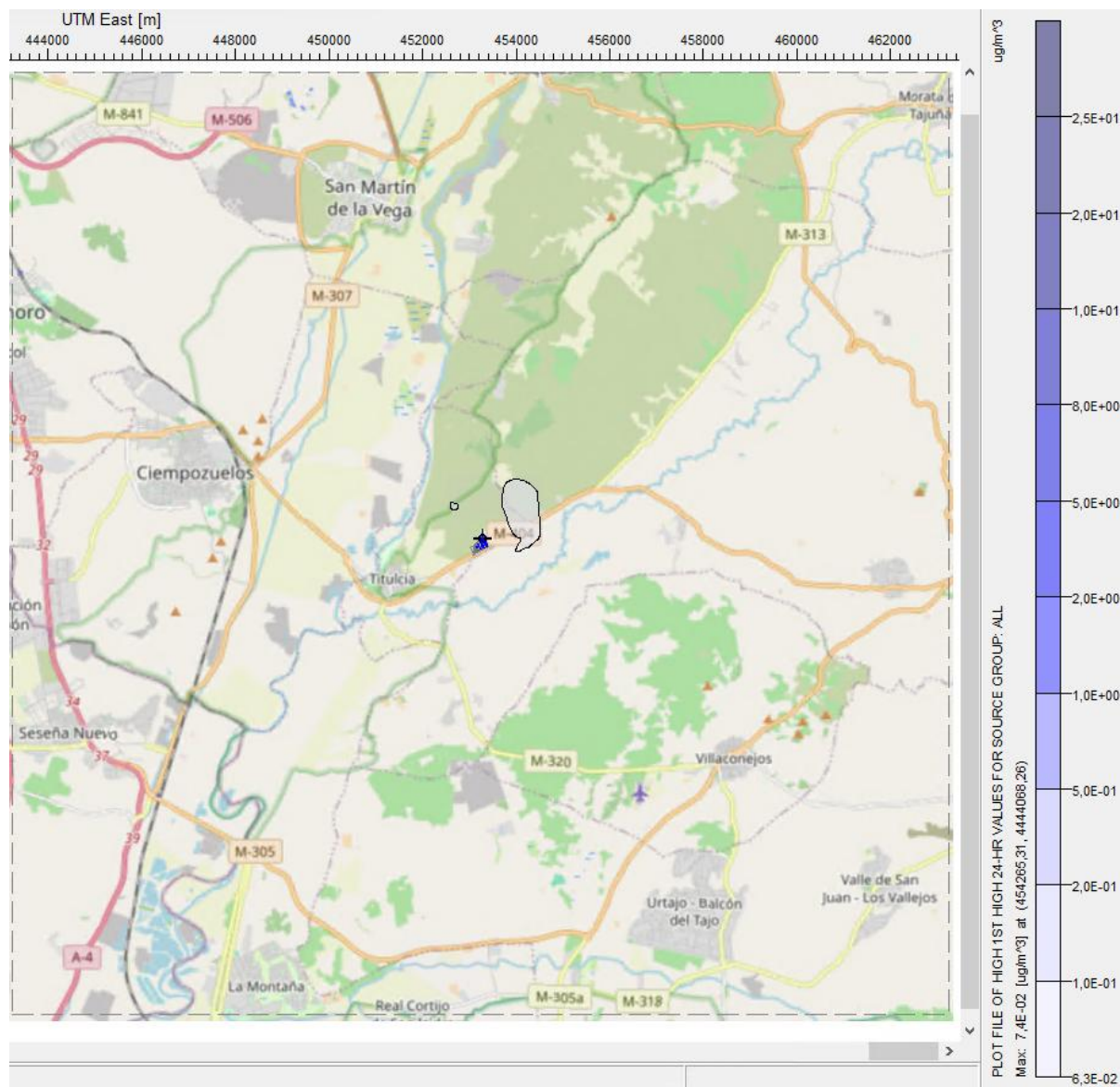


Figura 27. Concentración diaria más elevada de partículas PM2,5

Como podemos ver, la modelización del día con más concentración de partículas $PM_{2,5}$, la cual llega a un límite de $0,074 \mu g/m^3$, quedando muy lejos del límite fijado.

Además, para facilitar la visualización de los resultados, se ha ajustado el límite inferior de la escala, fijándolo en un valor de 0,25% respecto al máximo permitido por la directiva UE 2024/2881. Este ajuste no modifica los resultados del modelo; únicamente permite distinguir mejor las zonas de mayor impacto, evidenciando que incluso así las concentraciones son muy reducidas y no alcanzan el municipio de Titulcia.

Por otro lado, las concentraciones diarias de $PM_{2,5}$ más altas en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración ($\mu g/m^3$)	Receptor	Concentración ($\mu g/m^3$)
Titulcia	0,024	Nuevo Chinchón	0,012
Morata de Tajuña	0,004	San Martín de la Vega	0,002
Ciempozuelos	0,004	Seseña Nuevo	0,003
La Montaña	0,004	Urtajo	0,006
Villaconejos	0,006	Los Vallejos	0,002
Parque regional del Sureste	0,067	Red Natura 2000	0,039
HIC 4090	0,018	HIC 5210	0,072

Tabla 14. Concentración diaria de $PM_{2,5}$ más elevada en los receptores singulares

4.5.1.1.2. Límite anual

En este apartado se evaluará el cumplimiento del valor límite de concentración media anual para partículas $PM_{2,5}$, establecido en $10 \mu g/m^3$ según Directiva (UE) 2024/2881, de obligado cumplimiento a partir de 2030. Para ello se ha considerado que la mitad de la totalidad de las emisiones de partículas corresponden a $PM_{2,5}$, fijando una concentración de emisión constante de $1 mg/Nm^3$, que representa la mitad del valor mínimo permitido según las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs) para instalaciones de valorización energética.

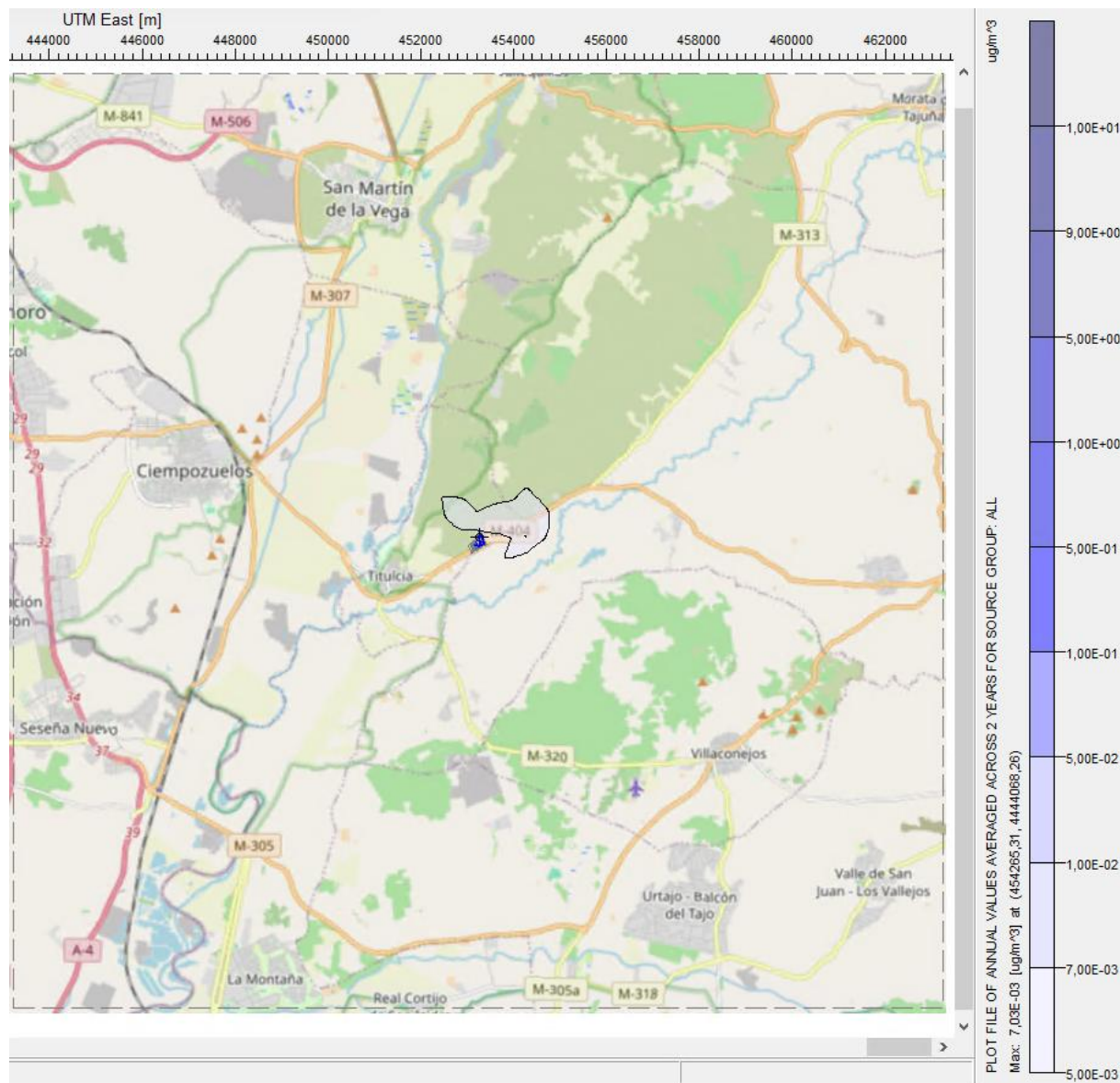


Figura 28. Concentración anual promedio de partículas PM2,5

Como se puede comprobar el límite de concentración máximo anual es de 0,00703 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, muy lejos del límite marcado. Además, su principal zona de inmisión se concentra en los alrededores de la instalación, alejándolo del municipio de Titulcia.

En este caso, el límite inferior de la escala se ha fijado en un valor de 0,05% respecto al máximo permitido por la directiva UE 2024/2881. Este ajuste no modifica los resultados del modelo; únicamente permite distinguir mejor las zonas de mayor impacto, evidenciando que incluso así las concentraciones son muy reducidas y no alcanzan el municipio de Titulcia.

Por otro lado, las concentraciones anuales de $\text{PM}_{2,5}$ más altas en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Titulcia	0,0023	Nuevo Chinchón	0,0008
Morata de Tajuña	0,0003	San Martín de la Vega	0,0003
Ciempozuelos	0,0004	Seseña Nuevo	0,0004
La Montaña	0,0004	Urtajo	0,0002
Villaconejos	0,0004	Los Vallejos	0,0002
Parque regional del Sureste	0,0065	Red Natura 2000	0,0063
HIC 4090	0,0017	HIC 5210	0,0042

Tabla 15. Concentración anual de $\text{PM}_{2,5}$ más elevada en los receptores singulares

4.5.1.2. Evaluación con concentración de fondo (Escenario acumulado)

Una vez verificado que la contribución aislada de la instalación no genera superaciones de los valores límite establecidos en la futura Directiva (UE) 2024/2881, de obligado cumplimiento a partir de 2030, se analiza a continuación el escenario acumulado, incorporando las concentraciones de fondo de partículas $\text{PM}_{2,5}$.

Los valores de fondo se han obtenido a partir de los registros de la estación de vigilancia de calidad del aire ubicada en Villarejo de Salvanés, situada aproximadamente a 23 km de la futura instalación, al considerarse la estación representativa del entorno atmosférico de la zona de estudio. Los datos han sido descargados del portal oficial de la Comunidad de Madrid, donde se encuentra disponible el histórico validado de concentraciones.

Para la incorporación de fondo en el modelo AERMOD, se han descargado los valores mensuales de los dos años de estudio (2023 y 2024) de la web de la Comunidad de Madrid. A partir de aquí, se ha

realizado una media de los dos valores para cada mes del año, que finalmente han sido los valores incorporados en la modelización El resultado es el siguiente:

Mes	Año	Emisión ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Emisión media modelizada ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Enero	2023	9	9,5
	2024	10	
Febrero	2023	13	11
	2024	9	
Marzo	2023	8	8,5
	2024	9	
Abril	2023	8	8
	2024	8	
Mayo	2023	8	7,5
	2024	7	
Junio	2023	11	8,5
	2024	6	
Julio	2023	12	11
	2024	10	
Agosto	2023	9	11,5
	2024	14	
Septiembre	2023	10	9
	2024	8	
Octubre	2023	8	8,5
	2024	9	
Noviembre	2023	9	10
	2024	11	
Diciembre	2023	14	12,5
	2024	11	

Tabla 16. Concentración de fondo de $\text{PM}_{2,5}$ incorporada a la modelización

Una vez definido el procedimiento de incorporación de la concentración de fondo, se presentan a continuación los resultados correspondientes al escenario acumulado (contribución del proyecto + fondo ambiental).

4.5.1.2.1. Límite diario

En este primer paso, es comprobar que se cumplen los límites de valor diario, que en este caso son de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual solo puede ser superado un máximo de 18 veces al año.

Como observamos a continuación, la modelización del día con más concentración de partículas $\text{PM}_{2,5}$ incorporando los valores de inmisión de fondo, llega a un límite de 12,53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (de los cuales 12,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ corresponden al propio fonde inmisión, es decir un 99,7%), quedando, todavía, por debajo del límite fijado.

Por otro lado, las concentraciones diarias de $\text{PM}_{2,5}$ (teniendo en cuenta la concentración de fondo) más altas en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Titulcia	12,507	Nuevo Chinchón	12,512
Morata de Tajuña	12,504	San Martín de la Vega	12,502
Ciempozuelos	12,502	Seseña Nuevo	12,501
La Montaña	12,502	Urtajo	12,505
Villaconejos	12,504	Los Vallejos	12,502
Parque regional del Sureste	12,529	Red Natura 2000	12,526
HIC 4090	12,512	HIC 5210	12,515

Tabla 17. Concentración diaria de $\text{PM}_{2,5}$ más elevada en los receptores singulares con contaminación de fondo

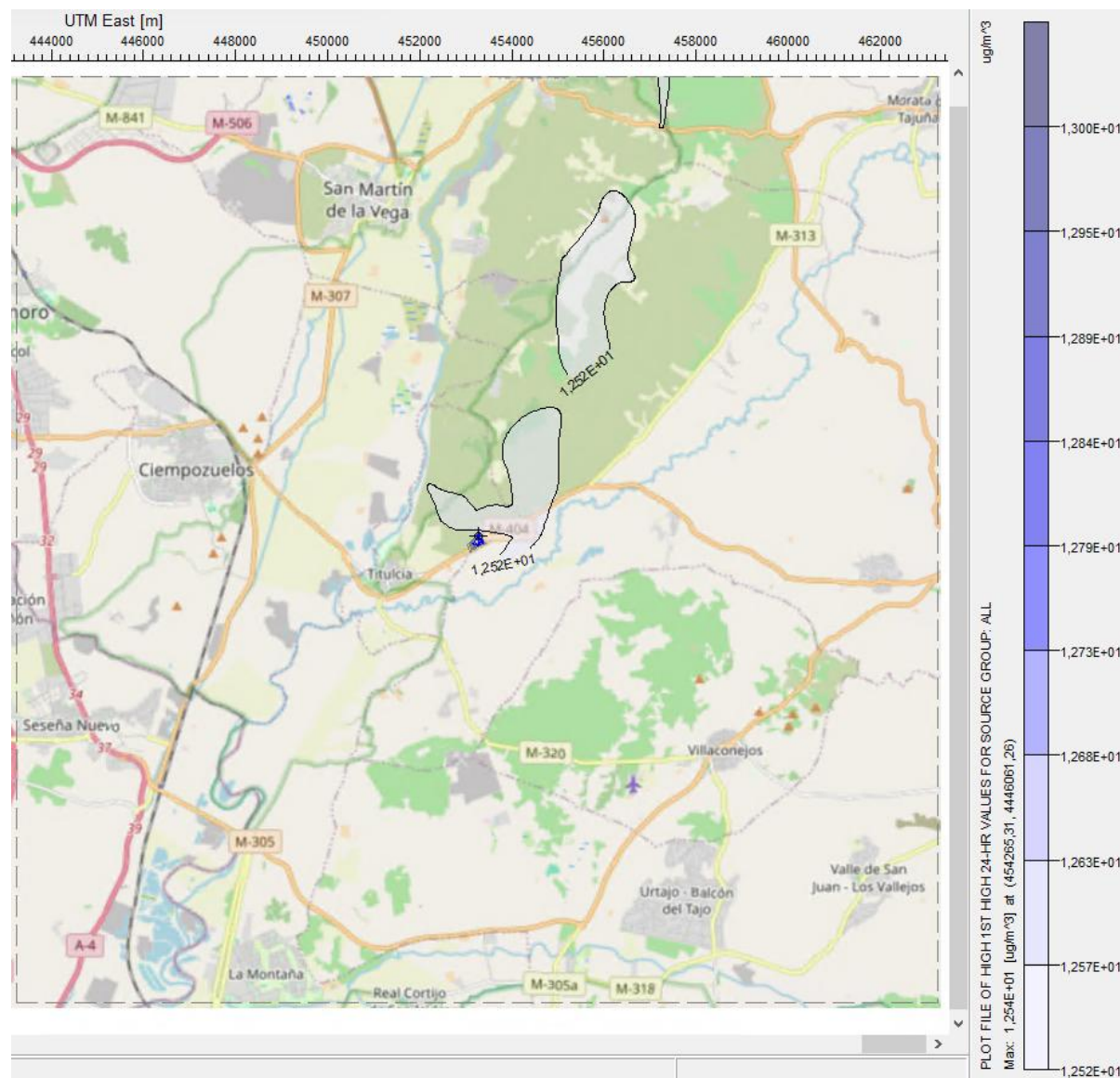


Figura 29. Concentración diaria más elevada de PM_{2.5} (con concentración de fondo)

4.5.1.3. Límite anual

En este último apartado se analiza el cumplimiento del valor límite de concentración anual de partículas PM_{2,5} establecido en la legislación vigente. Según la Directiva (UE) 2024/2881, de obligado cumplimiento a partir de 2030, sobre la mejora de la calidad del aire, el valor límite anual para la protección de la salud humana es de 10 µg/m³ como concentración media anual.

Como podemos ver a continuación, incluso incorporando las concentraciones de fondo, la concentración anual más elevada es de 9,63 µg/m³, aún por debajo de los 10 que establece la Unión Europea. Aun así, hay que considerar que de este valor, 9,62 µg/m³ corresponden al propio fonde inmisión, es decir un 99,9%).

Por otro lado, las concentraciones anuales de PM_{2,5} (teniendo en cuenta la concentración de fondo) más altas en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración (µg/m ³)	Receptor	Concentración (µg/m ³)
Titulcia	9,626	Nuevo Chinchón	9,624
Morata de Tajuña	9,624	San Martín de la Vega	9,624
Ciempozuelos	9,624	Seseña Nuevo	9,624
La Montaña	9,624	Urtajo	9,624
Villaconejos	9,624	Los Vallejos	9,624
Parque regional del Sureste	9,630	Red Natura 2000	9,630
HIC 4090	9,625	HIC 5210	9,628

Tabla 18. Concentración anual de PM_{2,5} más elevada en los receptores singulares con contaminación de fondo

Por lo tanto, se concluye que la instalación cumple con los valores límite de calidad del aire establecidos para las partículas PM_{2,5}, tanto en el escenario de contribución aislada del proyecto como en el escenario acumulado que incorpora las concentraciones de fondo registradas en la estación de Villarejo de Salvanés.

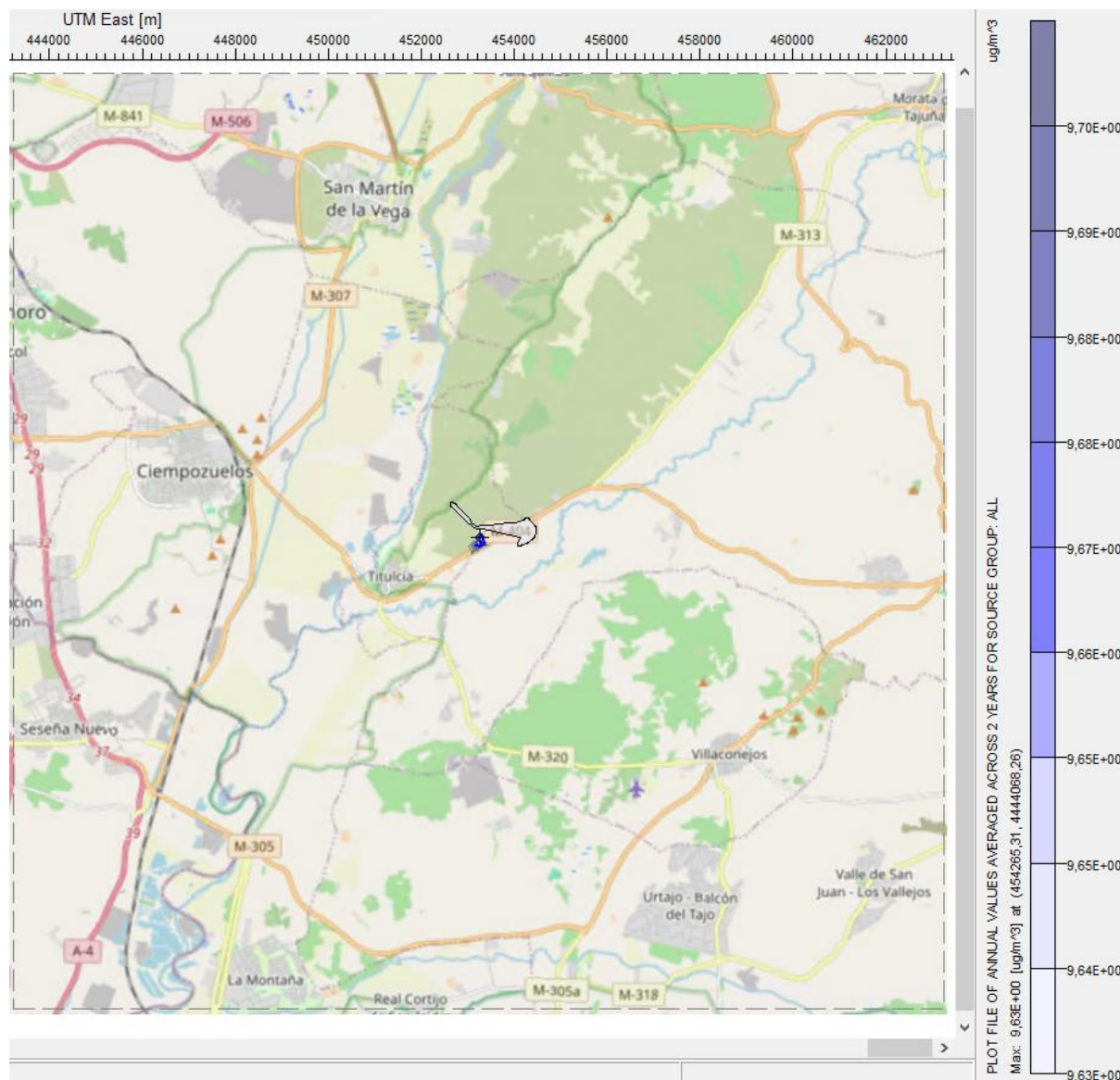


Figura 30. Concentración anual más elevada de PM_{2.5} (con concentración de fondo)

4.5.2. Partículas PM10

El siguiente contaminante analizado corresponde a las partículas en suspensión PM₁₀, generadas principalmente por el proceso de combustión y las operaciones asociadas a la valorización energética de residuos. Este contaminante resulta de especial importancia debido a su contribución a la contaminación atmosférica local y su potencial impacto sobre la salud humana, al poder permanecer en suspensión y ser inhalado con facilidad.

4.5.2.1. Evaluación sin concentración de fondo (Contribución de proyecto)

En el presente apartado se analizan las concentraciones de partículas PM₁₀ atribuibles exclusivamente al funcionamiento de la instalación proyectada, sin considerar la concentración de fondo existente en la zona de estudio. El objetivo de este análisis es evaluar la contribución incremental del proyecto y determinar si, por sí sola, puede generar superaciones de los valores límite de calidad del aire establecido en la Directiva (UE) 2024/2881, normativa que sustituirá al RD 102/2011 y será de obligado cumplimiento a partir de 2030.

Este enfoque permite aislar el impacto directamente imputable a la instalación, diferenciándolo de la situación ambiental preexistente. De este modo, se evalúa la magnitud real de la aportación del proyecto y su relevancia respecto a los estándares legales aplicables.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los distintos periodos de evaluación considerados (diario y anual), comparando las concentraciones modelizadas con los correspondientes valores límite.

4.5.2.1.1. Límite diario

En este caso el límite diario es de 45 µg/m³, el cual solo puede ser superado un máximo de 18 veces al año. Para ello, se realizará la misma metodología que en el caso anterior, considerando que la mitad de la totalidad de las emisiones de partículas corresponden a PM₁₀, fijando una concentración de emisión constante de 1 mg/Nm³, (ya que en las MTDs se engloban en partículas sin distinguirse una de la otra), y solo cambiaremos en el AERMOD el tipo de contaminante, ya que en el modelo si que se consideran dos distintos.

En este caso, el resultado a salido igual que en el realizado para el otro tipo de partículas, siendo la concentración más alta diaria de 0,074 µg/m³, quedando todavía más lejos del límite fijado, y por lo tanto, no teniendo ninguna superación horaria.

Además, para facilitar la visualización de los resultados, se ha ajustado el límite inferior de la escala, fijándolo en un valor de 0,25% respecto al máximo permitido por la directiva UE 2024/2881. Este ajuste no modifica los resultados del modelo; únicamente permite distinguir mejor las zonas de mayor

impacto, evidenciando que incluso así las concentraciones son muy reducidas y no alcanzan el municipio de Titulcia.

Por otro lado, las concentraciones diarias de PM₁₀ más altas en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración (µg/m ³)	Receptor	Concentración (µg/m ³)
Titulcia	0,024	Nuevo Chinchón	0,012
Morata de Tajuña	0,004	San Martín de la Vega	0,002
Ciempozuelos	0,004	Seseña Nuevo	0,003
La Montaña	0,004	Urtajo	0,006
Villaconejos	0,006	Los Vallejos	0,002
Parque regional del Sureste	0,067	Red Natura 2000	0,039
HIC 4090	0,018	HIC 5210	0,072

Tabla 19. Concentración diaria de PM₁₀ más elevada en los receptores singulares

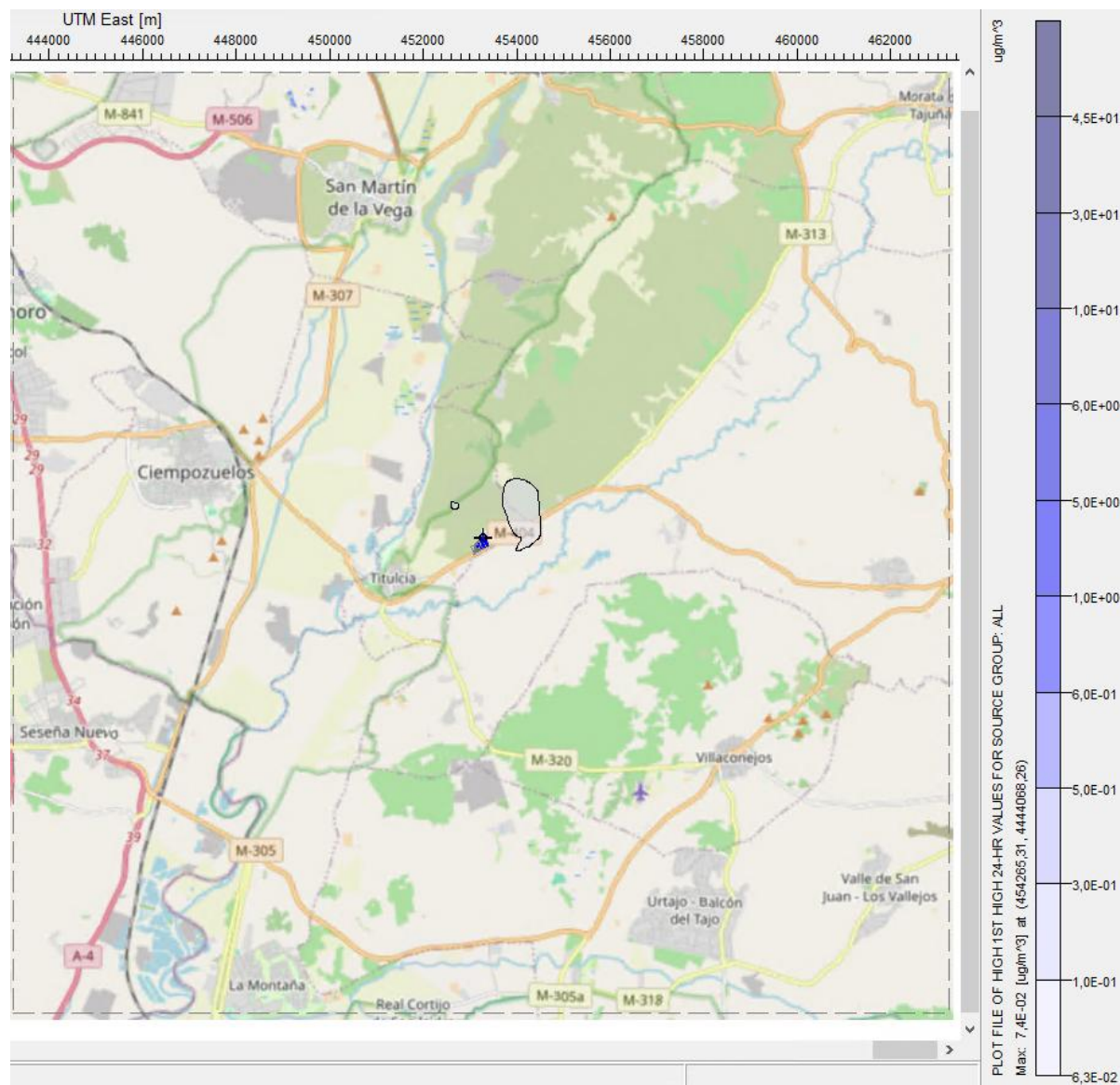


Figura 31. Concentración diaria más elevada de partículas PM10

4.5.2.1.2. Límite anual

Por último paso, comprobaremos la concentración de las partículas PM_{10} , las cuales no pueden superar una concentración máxima anual de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este límite es más alto que el anterior debido a un menor potencial daño a la salud humana, ya que al tener un menor tamaño se pueden adentrar dentro del sistema respiratorio con mayor facilidad.

Como podemos apreciar en este caso el valor máximo de emisión también se sitúa en $0,00703 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quedando muy lejos de los valores máximos de control. La distribución se asimila a la observada con las partículas $PM_{2,5}$, y por lo tanto no afecta a los principales municipios más cercanos a la futura instalación.

En este caso, el límite inferior de la escala se ha fijado en un valor de 0,025% respecto al máximo permitido por la directiva UE 2024/2881. Este ajuste no modifica los resultados del modelo; únicamente permite distinguir mejor las zonas de mayor impacto, evidenciando que incluso así las concentraciones son muy reducidas y no alcanzan el municipio de Titulcia.

Por otro lado, las concentraciones anuales de PM_{10} más altas en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Titulcia	0,0023	Nuevo Chinchón	0,0008
Morata de Tajuña	0,0003	San Martín de la Vega	0,0003
Ciempozuelos	0,0004	Seseña Nuevo	0,0004
La Montaña	0,0004	Urtajo	0,0002
Villaconejos	0,0004	Los Vallejos	0,0002
Parque regional del Sureste	0,0065	Red Natura 2000	0,0063
HIC 4090	0,0017	HIC 5210	0,0042

Tabla 20. Concentración anual de PM_{10} más elevada en los receptores singulares

Finalmente concluimos que a nivel de concentraciones de partículas PM_{10} se cumplirán con los límites diarios y anuales establecidos por la Directiva Europea, ya que las modelaciones se han realizado con los valores máximos de emisión que se permiten, poniéndonos así en la peor situación posible.

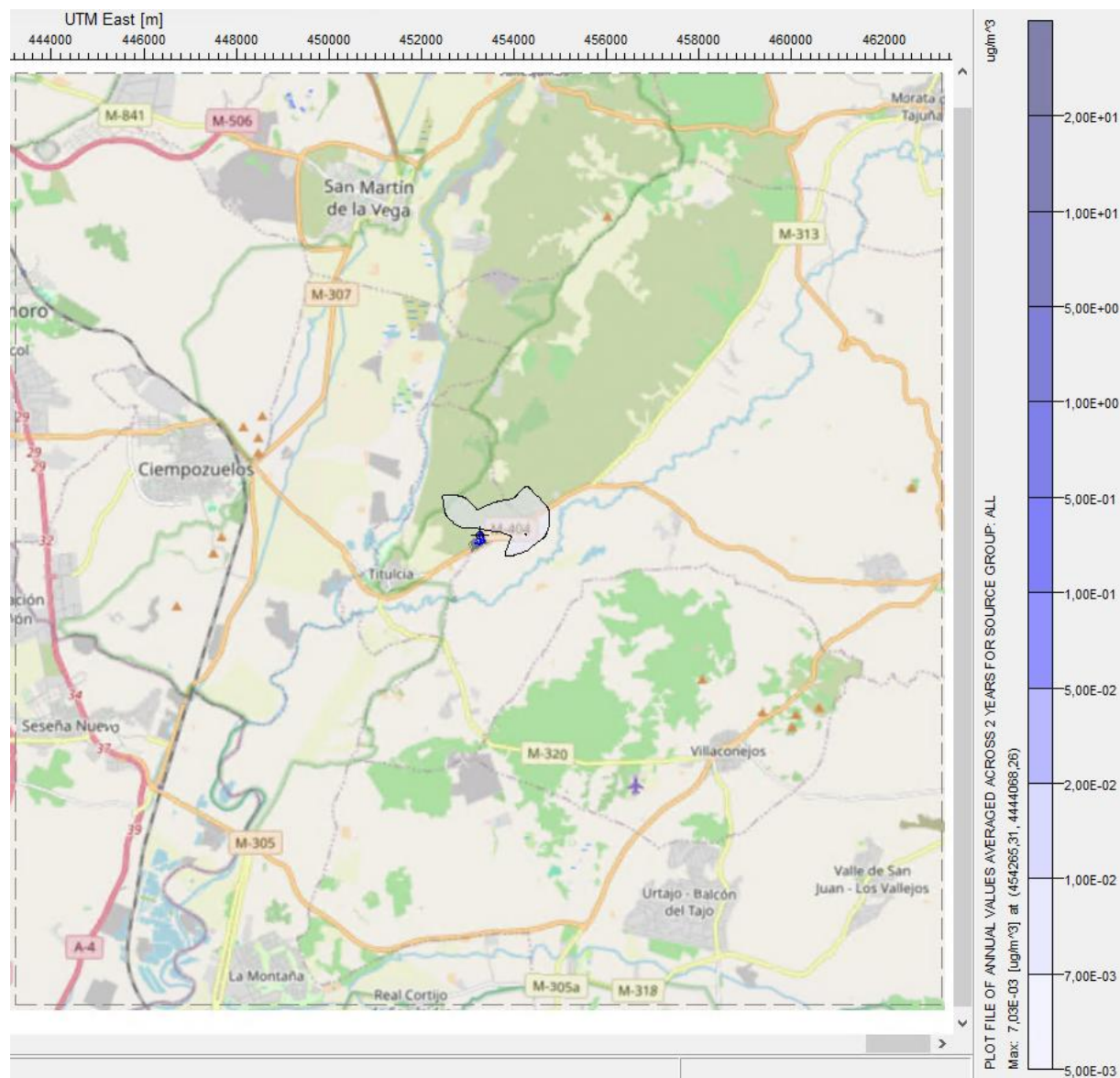


Figura 32. Concentración anual promedio de partículas PM10

4.5.2.2. Evaluación con concentración de fondo (Escenario acumulado)

Una vez verificado que la contribución aislada de la instalación no genera superaciones de los valores límite establecidos en la futura Directiva (UE) 2024/2881, de obligado cumplimiento a partir de 2030, se analiza a continuación el escenario acumulado, incorporando las concentraciones de fondo de partículas PM₁₀.

Los valores de fondo se han obtenido a partir de los registros de la estación de vigilancia de calidad del aire ubicada en Aranjuez, situada aproximadamente a 13 km de la futura instalación, al considerarse la estación representativa del entorno atmosférico de la zona de estudio. Los datos han sido descargados del portal oficial de la Comunidad de Madrid, donde se encuentra disponible el histórico validado de concentraciones.

Para la incorporación de fondo en el modelo AERMOD, se han descargado los valores mensuales de los dos años de estudio (2023 y 2024) de la web de la Comunidad de Madrid. A partir de aquí, se ha realizado una media de los dos valores para cada mes del año, que finalmente han sido los valores incorporados en la modelización. El resultado es el siguiente:

Mes	Año	Emisión (µg/m³)	Emisión media modelizada (µg/m³)
Enero	2023	12	12,5
	2024	13	
Febrero	2023	21	18
	2024	15	
Marzo	2023	13	14,5
	2024	16	
Abril	2023	16	15
	2024	14	
Mayo	2023	11	11
	2024	11	
Junio	2023	14	14,5
	2024	15	
Julio	2023	23	22
	2024	21	
Agosto	2023	24	24,5
	2024	25	
Septiembre	2023	18	16,5

	2024	15	
Octubre	2023	17	17
	2024	17	
Noviembre	2023	13	16
	2024	19	
Diciembre	2023	16	16,5
	2024	17	

Tabla 21. Concentración de fondo de PM₁₀ incorporada a la modelización

Una vez definido el procedimiento de incorporación de la concentración de fondo, se presentan a continuación los resultados correspondientes al escenario acumulado (contribución del proyecto + fondo ambiental).

4.5.2.2.1. Límite diario

En este primer paso, es comprobar que se cumplen los límites de valor diario, que en este caso son de 45 µg/m³, el cual solo puede ser superado un máximo de 18 veces al año.

Como observamos a continuación, la modelización del día con más concentración de partículas PM₁₀ incorporando los valores de inmisión de fondo, llega a un límite de 24,56 µg/m³ (de los cuales 24,5 µg/m³ corresponden al propio fondo inmisión, es decir un 99,7%), quedando, todavía, por debajo del límite fijado.

Por otro lado, las concentraciones diarias de PM₁₀ (teniendo en cuenta la concentración de fondo) más altas en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración (µg/m ³)	Receptor	Concentración (µg/m ³)
Titulcia	24,511	Nuevo Chinchón	24,507
Morata de Tajuña	24,500	San Martín de la Vega	24,502
Ciempozuelos	24,502	Seseña Nuevo	24,501
La Montaña	24,502	Urtajo	24,501
Villaconejos	24,503	Los Vallejos	24,501
Parque regional del Sureste	24,563	Red Natura 2000	24,526
HIC 4090	24,507	HIC 5210	24,522

Tabla 22. Concentración diaria de PM₁₀ más elevada en los receptores singulares con contaminación de fondo

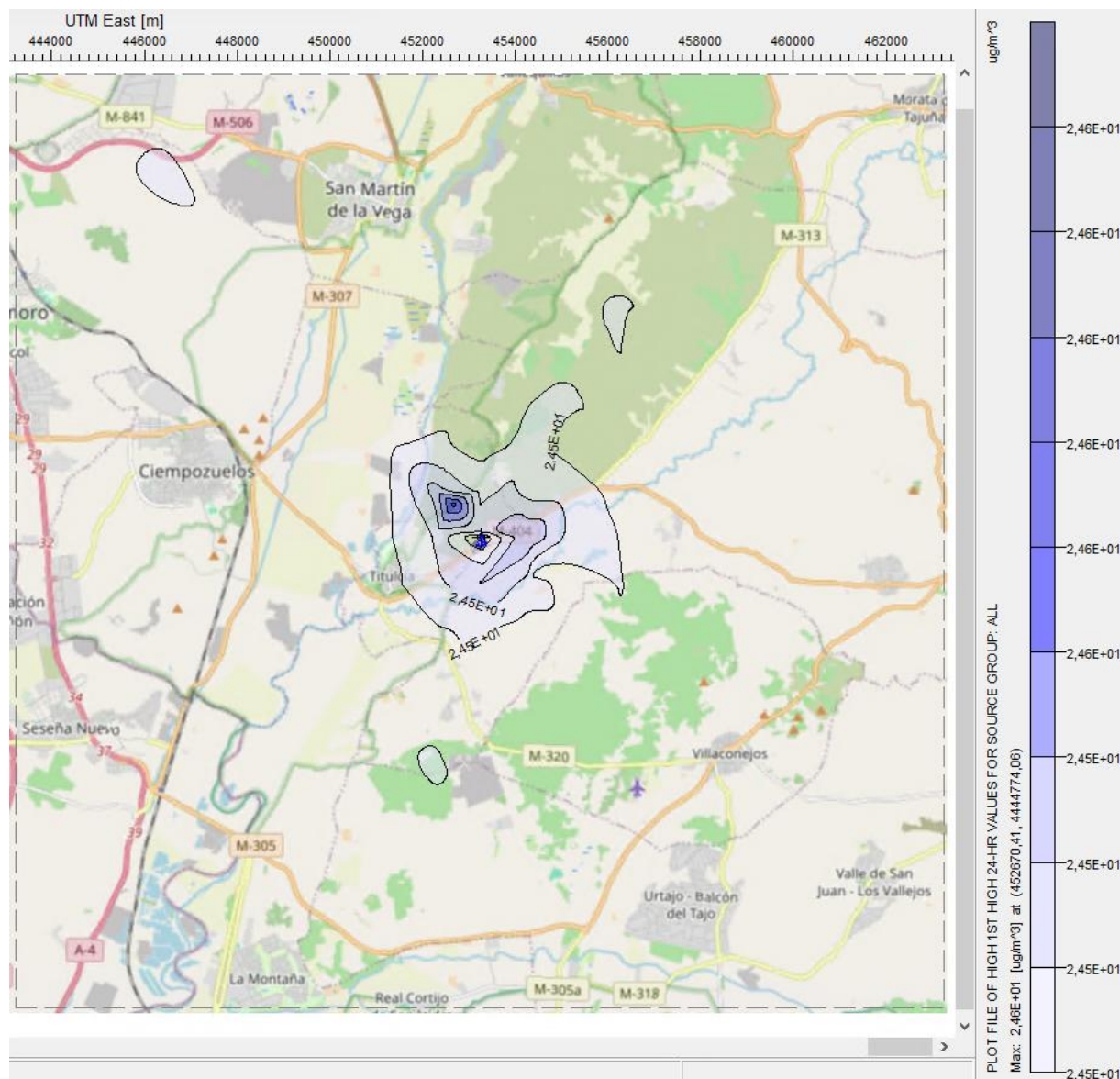


Figura 33. Concentración diaria más elevada de PM10 (con concentración de fondo)

4.5.2.3. Límite anual

En este último apartado se analiza el cumplimiento del valor límite de concentración anual de partículas PM₁₀ establecido en la legislación vigente. Según la Directiva (UE) 2024/2881, de obligado cumplimiento a partir de 2030, sobre la mejora de la calidad del aire, el valor límite anual para la protección de la salud humana es de 20 µg/m³ como concentración media anual.

Como podemos ver a continuación, incluso incorporando las concentraciones de fondo, la concentración anual más elevada es de 16,51 µg/m³, aún por debajo de los 20 que establece la Unión Europea. Aun así, hay que considerar que de este valor, 16,5 µg/m³ corresponden al propio fonde inmisión, es decir un 99,9%).

Por otro lado, las concentraciones anuales de PM₁₀ (teniendo en cuenta la concentración de fondo) más altas en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración (µg/m ³)	Receptor	Concentración (µg/m ³)
Titulcia	16,503	Nuevo Chinchón	16,501
Morata de Tajuña	16,501	San Martín de la Vega	16,501
Ciempozuelos	16,501	Seseña Nuevo	16,501
La Montaña	16,501	Urtajo	16,500
Villaconejos	16,501	Los Vallejos	16,500
Parque regional del Sureste	16,507	Red Natura 2000	16,506
HIC 4090	16,502	HIC 5210	16,504

Tabla 23. Concentración anual de PM₁₀ más elevada en los receptores singulares con contaminación de fondo

Por lo tanto, se concluye que la instalación cumple con los valores límite de calidad del aire establecidos para las partículas PM₁₀, tanto en el escenario de contribución aislada del proyecto como en el escenario acumulado que incorpora las concentraciones de fondo registradas en la estación de Aranjuez.

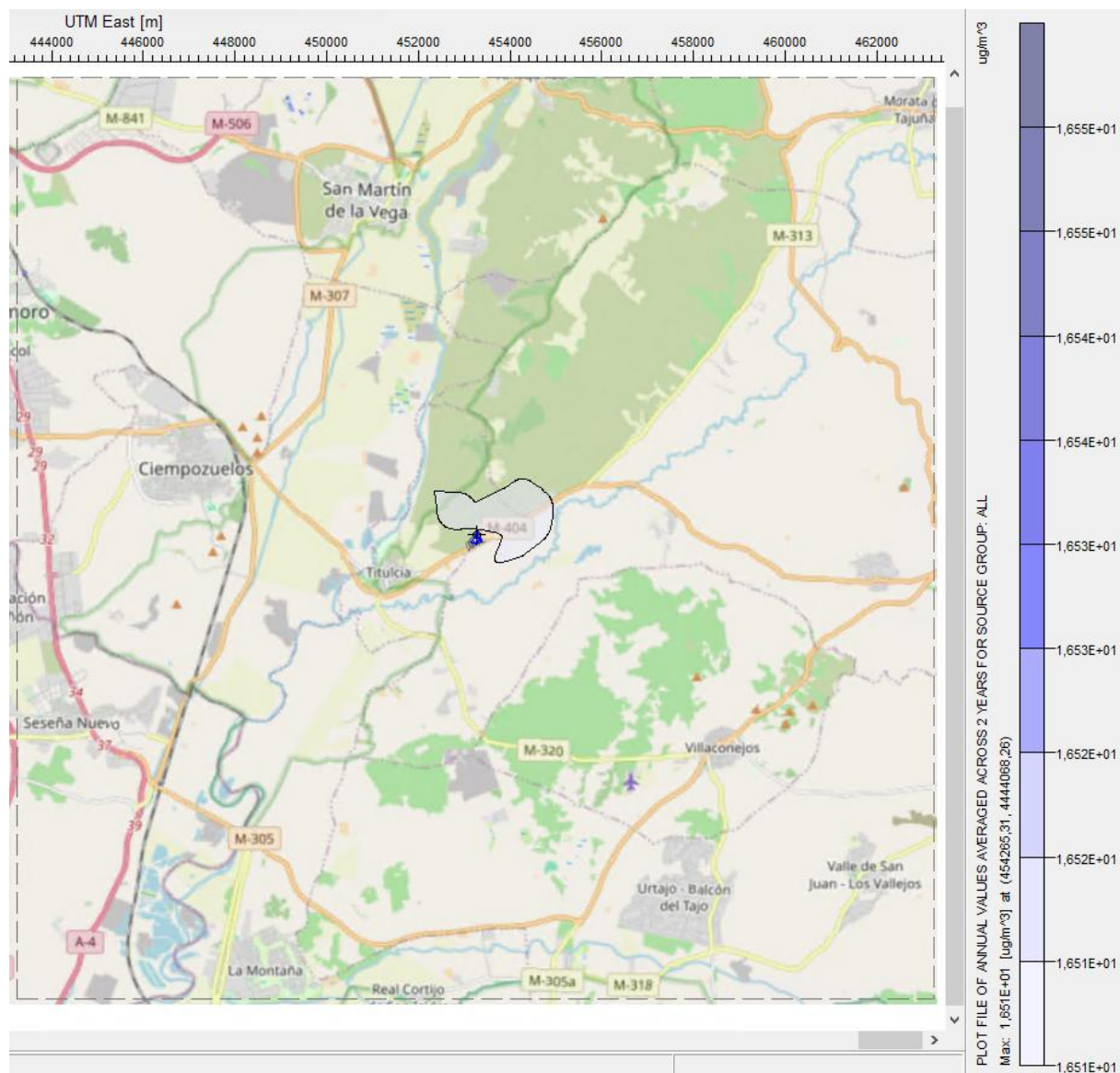


Figura 34. Concentración anual más elevada de PM₁₀ (con concentración de fondo)

4.6. Dióxido de azufre

El dióxido de azufre (SO₂) es un contaminante atmosférico que, en el caso de instalaciones de valorización energética, se emite debido a su presencia en los residuos tratados. Aunque las tecnologías actuales de tratamiento de gases (como los sistemas de desulfuración) permiten reducir significativamente las emisiones de SO₂, es necesario evaluar su dispersión en el entorno y comprobar el cumplimiento de los valores límite establecidos en la normativa vigente para proteger la salud humana.

En los siguientes apartados se procederá a modelizar la concentración de SO₂ en aire ambiente, tanto en su media horaria como en su media diaria y anual, de acuerdo con los valores límite establecidos en la Directiva (UE) 2024/2881, de obligado cumplimiento a partir de 2030, con el objetivo de verificar que la instalación cumple con los requisitos de calidad del aire aplicables.

4.6.1. Límite horario

Para la evaluación horaria se han tomado como referencia los valores límite establecidos en la normativa de calidad del aire, concretamente la Directiva (UE) 2024/2881, de obligado cumplimiento a partir de 2030, relativa a la mejora de la calidad del aire ambiente. Esta Directiva establece un valor límite horario para el SO₂ de 350 µg/m³, que puede superarse un máximo de tres veces por año.

Para este análisis se ha seguido el mismo enfoque empleado en los casos horarios anteriores, combinando las exigencias de las MTD de 2019 con la estructura temporal definida en el Real Decreto 815/2013. En el caso del SO₂, se ha considerado que durante el 97% del tiempo las emisiones corresponden al valor inferior del rango MTD (5 mg/Nm³), adoptando así un escenario conservador. Para el 3% restante, y con el fin de mantener la coherencia con los valores máximos semihorarios establecidos por el Real Decreto 815/2013, se ha aplicado un valor de 200 mg/Nm³, que representa el límite máximo permitido para episodios puntuales. De este modo, se reproduce adecuadamente la variabilidad regulatoria entre funcionamiento normal y situaciones excepcionales.

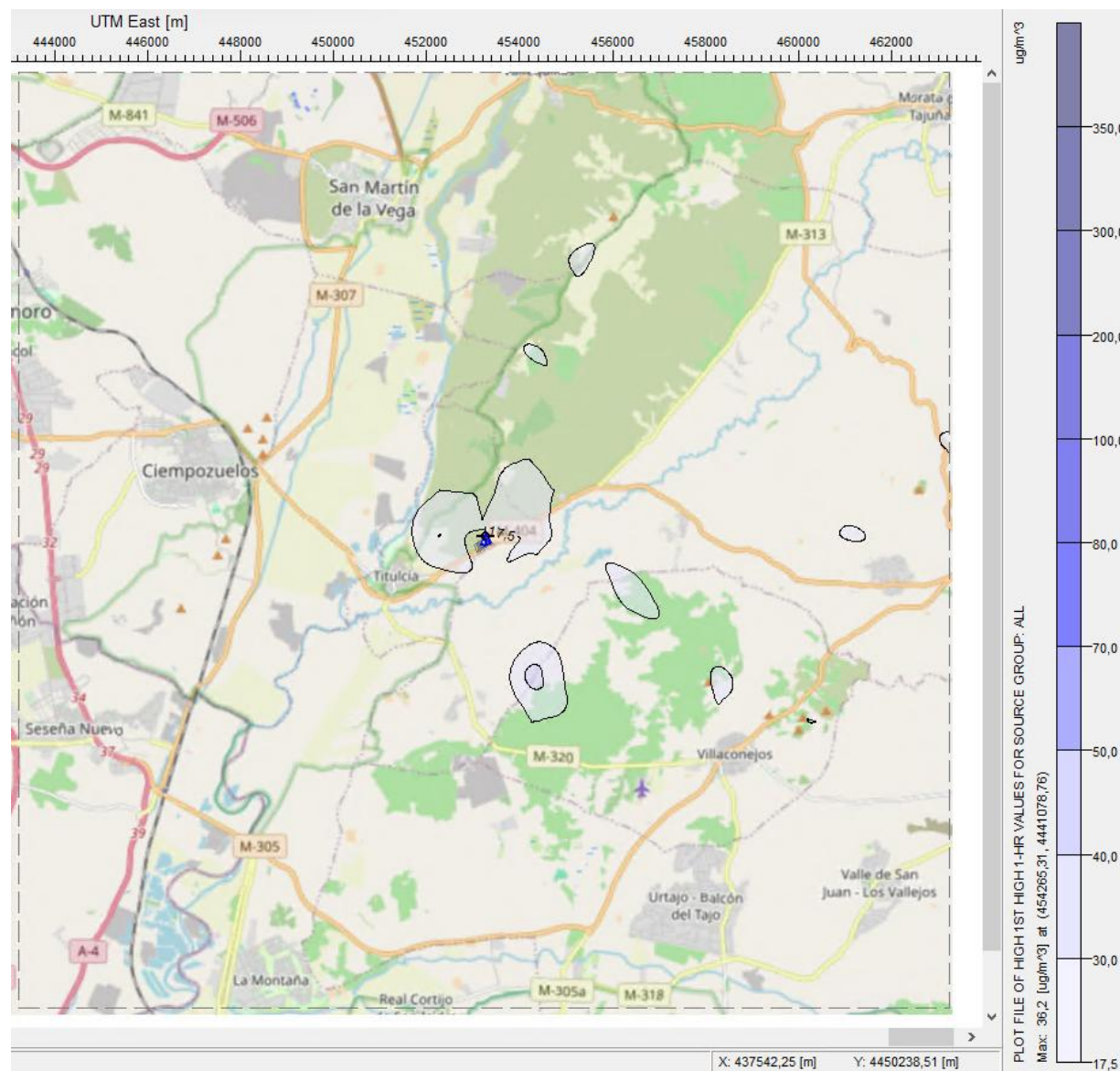


Figura 35. Concentración horaria más elevada de SO₂

Como podemos observar el valor máximo horario de inmisión es de 36,16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, quedando muy por debajo del límite fijado. A demás su distribución, parecida al dióxido de nitrógeno, hace que las zonas de máxima concentración eviten las zonas más pobladas de su entorno.

Por otro lado, las concentraciones horarias de SO_2 más altas en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Titulcia	13,09	Nuevo Chinchón	8,31
Morata de Tajuña	1,67	San Martín de la Vega	1,76
Ciempozuelos	2,08	Seseña Nuevo	3,23
La Montaña	1,57	Urtajo	3,78
Villaconejos	6,71	Los Vallejos	2,71
Parque regional del Sureste	28,41	Red Natura 2000	18,63
HIC 4090	13,85	HIC 5210	25,8

Tabla 24. Concentración horaria de SO_2 más elevada en los receptores singulares

4.6.2. Límite diario

Por otro lado, se debe comprobar si excede el valor límite diario de inmisión. En este caso, la Directiva establece que el valor máximo es de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y no puede ser superado más de 18 veces por año. Para ello se ha considerado una emisión media ponderada de NO_x (expresado como NO_2) de 5 mg/Nm^3 (5,79 con el factor de corrección), según se observa en los niveles de emisión asociados con la MDT (NEA-MDT) para instalaciones nuevas de valorización energética de residuos.

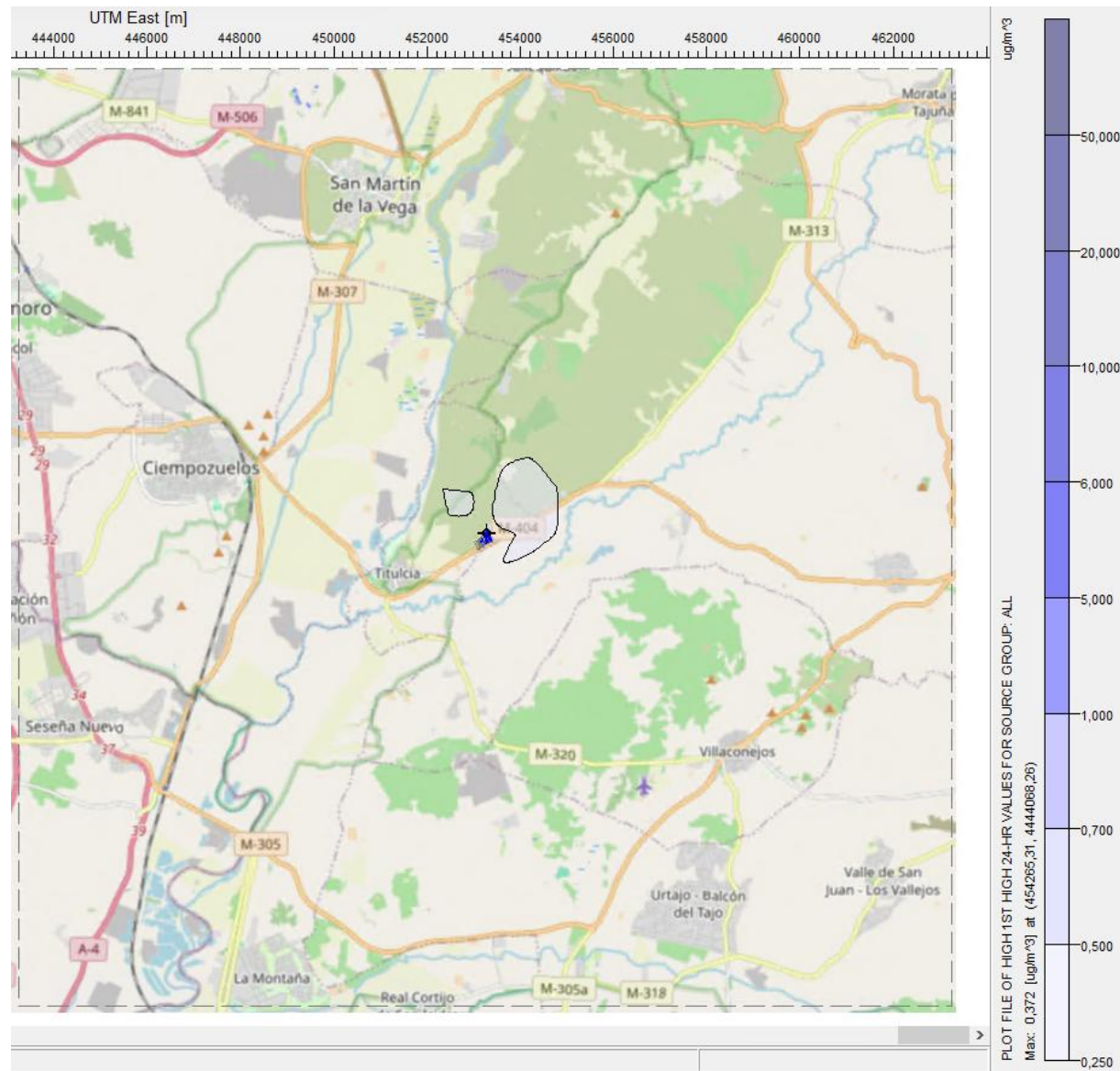


Figura 36. Concentración diaria más elevada de SO

Como podemos observar el día con más concentración en el aire de dióxidos de azufre es 0,371 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y por lo tanto queda muy lejos del límite establecido.

En este caso, el límite inferior de la escala se ha fijado en un valor de 0,5% respecto al máximo permitido por la directiva UE 2024/2881. Este ajuste no modifica los resultados del modelo; únicamente permite distinguir mejor las zonas de mayor impacto, evidenciando que incluso así las concentraciones son muy reducidas y no alcanzan el municipio de Titulcia.

Por otro lado, las concentraciones diarias de SO_2 más altas en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Titulcia	0,125	Nuevo Chinchón	0,064
Morata de Tajuña	0,024	San Martín de la Vega	0,013
Ciempozuelos	0,025	Seseña Nuevo	0,018
La Montaña	0,021	Urtajo	0,031
Villaconejos	0,035	Los Vallejos	0,013
Parque regional del Sureste	0,34	Red Natura 2000	0,198
HIC 4090	0,091	HIC 5210	0,365

Tabla 25. Concentración diaria de SO_2 en los receptores singulares

4.6.3. Límite anual

En este apartado se analiza el cumplimiento del valor límite de concentración anual de dióxido de azufre (SO_2) establecido en la legislación vigente. Según la Directiva (UE) 2024/2881, de obligado cumplimiento a partir de 2030, sobre la mejora de la calidad del aire, el valor límite anual para la protección de la salud humana es de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como concentración media anual.

Para este análisis se ha considerado una emisión media ponderada de NO_x (expresado como NO_2) de 5 mg/Nm^3 (5,79 con el factor de corrección), según se observa en los niveles de emisión asociados con la MDT (NEA-MDT) para instalaciones nuevas de valorización energética de residuos.

A partir de esta emisión media, se han modelizado las concentraciones anuales esperadas mediante el modelo AERMOD. Como podemos ver a continuación, incluso poniéndonos en el caso más exagerado de emisiones, la concentración anual más elevada es de 0,0354 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, muy por debajo de los 20 que establece la Unión Europea.

En este caso, el límite inferior de la escala vuelve a ser del 1% respecto al máximo permitido por la directiva UE 2024/2881. Este ajuste no modifica los resultados del modelo; únicamente permite distinguir mejor las zonas de mayor impacto, evidenciando que incluso así las concentraciones son muy reducidas y no alcanzan el municipio de Titulcia.

Por otro lado, las concentraciones diarias de SO₂ más altas en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración (µg/m ³)	Receptor	Concentración (µg/m ³)
Titulcia	0,011	Nuevo Chinchón	0,004
Morata de Tajuña	0,001	San Martín de la Vega	0,0019
Ciempozuelos	0,0021	Seseña Nuevo	0,002
La Montaña	0,002	Urtajo	0,001
Villacanejos	0,0023	Los Vallejos	0,0011
Parque regional del Sureste	0,033	Red Natura 2000	0,031
HIC 4090	0,009	HIC 5210	0,021

Tabla 26. Concentración anual de SO₂ en los receptores singulares

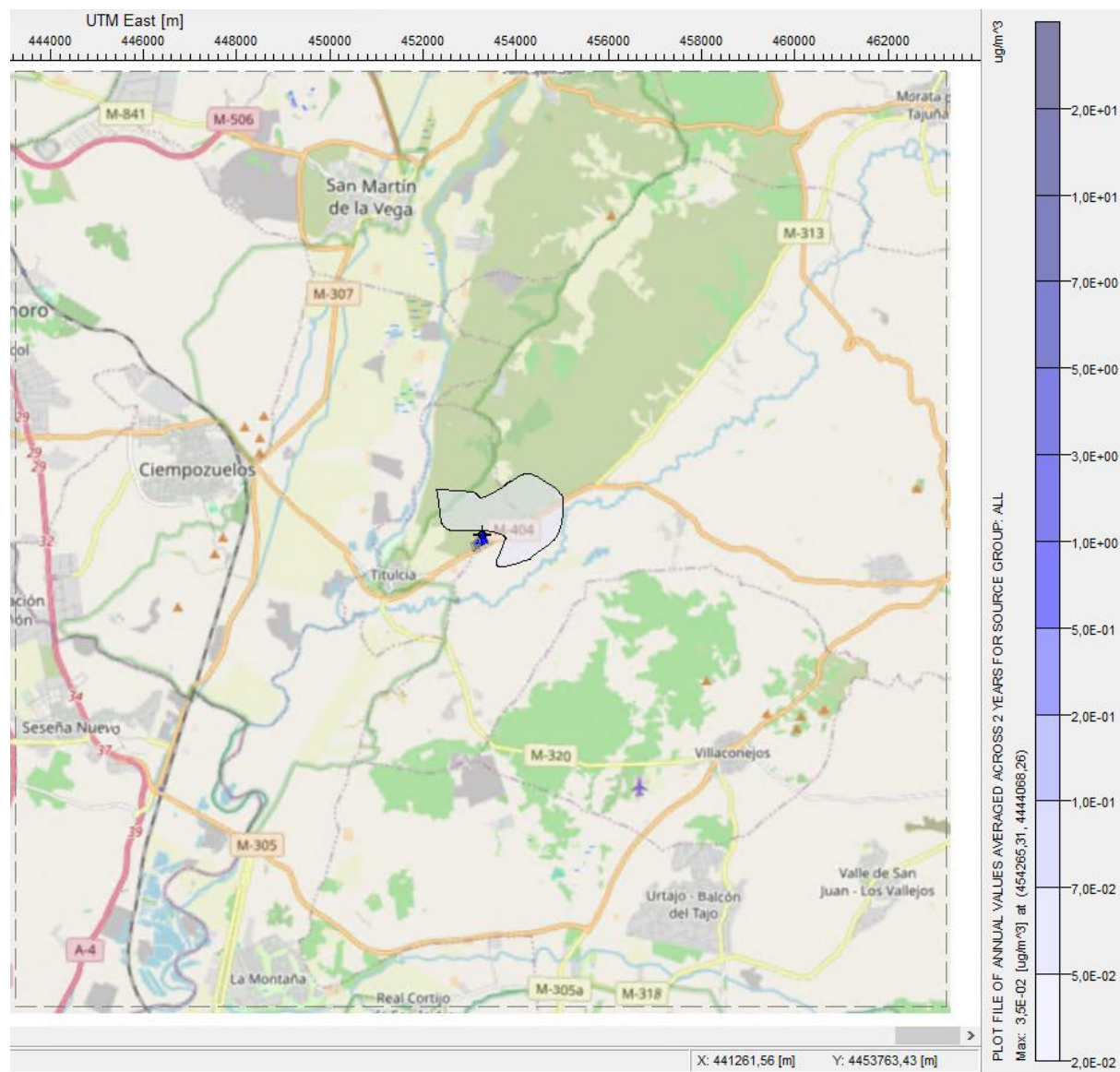


Figura 37. Concentración anual promedio de SO2

Por lo tanto, podemos concluir que la instalación planteada, con una altura de chimenea de 70 metros, cumplirá con los requisitos en materia de concentración en el aire de dióxido de azufre.

4.7. Compuestos orgánicos volátiles (COVT)

Bajo este epígrafe se analizan los resultados de dispersión de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV). Los compuestos orgánicos volátiles son todos aquellos compuestos orgánicos que a 20°C tengan una presión de vapor de 0,01 kPa o más, o una volatilidad equivalente en las condiciones particulares de uso. Su número supera el millar, y dado el elevado número de sustancias englobadas en este grupo, el análisis se centra en los dos compuestos regulados por la Directiva (UE) 2024/2881, de obligado cumplimiento a partir de 2030, que son el benceno y el benzo(a)pireno.

4.7.1. Benceno

Según las determinaciones de la Directiva (UE) 2024/2881, de obligado cumplimiento a partir de 2030, debe presentar una concentración media anual inferior a 3,4 µg/m³ para garantizar la protección de la salud humana.

Para la estimación de las emisiones de benceno, se ha tomado como referencia el rango establecido en las Mejores Técnicas Disponibles (MTD), que fijan valores de emisión de entre 3 y 10 mg/Nm³ para el conjunto de Compuestos Orgánicos Volátiles Totales (COVT). No obstante, dado que la normativa y la documentación técnica disponible no proporcionan un desglose específico que permita cuantificar de forma directa la contribución individual del benceno dentro de los COVT, se ha adoptado un criterio conservador de estimación.

En este sentido, se ha considerado que el benceno representa un 1 % del total de los COVT emitidos, permitiendo así obtener una aproximación razonable de su emisión individual a partir de los valores globales. Este enfoque es coherente con la práctica habitual en estudios de dispersión cuando no se dispone de factores de emisión específicos desagregados, garantizando en todo caso una estimación prudente desde el punto de vista ambiental.

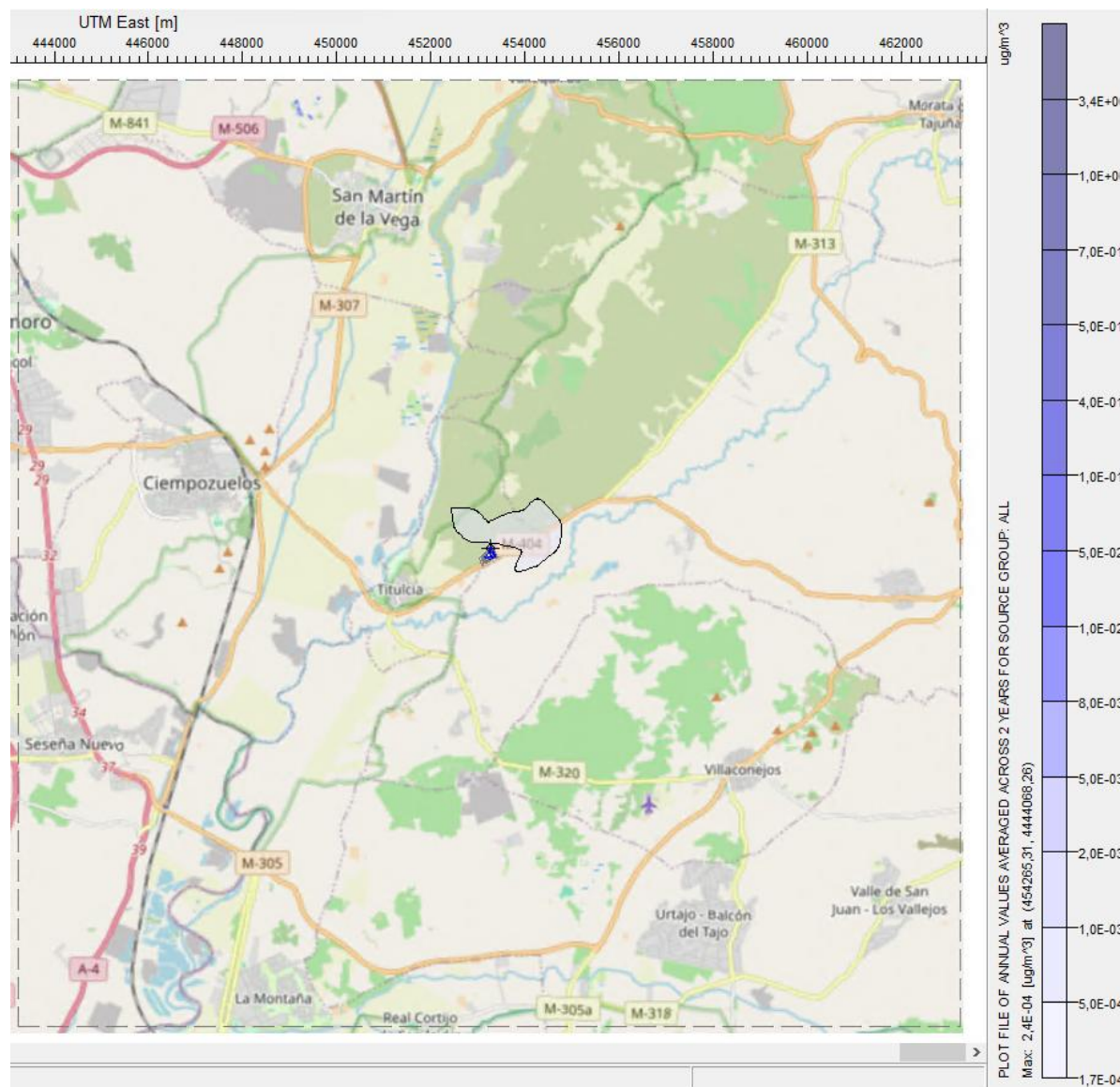


Figura 38. Concentración anual promedio de Benceno

Según los resultados de la simulación (Figura anterior), se alcanzarían concentraciones máximas absolutas de 0,00024 µg/m³ de benceno, que es un valor mucho menor que el límite legal fijado para el benceno. Por tanto, se puede descartar cualquier efecto en salud por la exposición a las emisiones de benceno, así como de otros compuestos orgánicos volátiles.

En este caso, el límite inferior de la escala es del 0,005% respecto al máximo permitido por la directiva UE 2024/2881. Este ajuste no modifica los resultados del modelo; únicamente permite distinguir mejor las zonas de mayor impacto, evidenciando que incluso así las concentraciones son muy reducidas y no alcanzan el municipio de Titulcia.

Por otro lado, las concentraciones anuales de benceno en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración (µg/m ³)	Receptor	Concentración (µg/m ³)
Titulcia	0,0008	Nuevo Chinchón	0,0003
Morata de Tajuña	0,0001	San Martín de la Vega	0,0001
Ciempozuelos	0,0001	Seseña Nuevo	0,0001
La Montaña	0,0001	Urtajo	0,0001
Villaconejos	0,0002	Los Vallejos	0,0001
Parque regional del Sureste	0,00023	Red Natura 2000	0,00022
HIC 4090	0,0006	HIC 5210	0,00015

Tabla 27. Concentración anual de benceno en los receptores singulares

4.7.2. Benzo(a)pireno

En relación con el benzo(a)pireno, este compuesto se encuentra regulado en la Directiva (UE) 2024/2881, la cual establece un valor objetivo de concentración media anual de 1 ng/m³, dada su elevada toxicidad y su carácter representativo de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP).

Al igual que ocurre con el benceno, no se dispone de información específica en las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) que permita desagregar su contribución individual a partir de los Compuestos Orgánicos Volátiles Totales (COVT). Por ello, se ha recurrido a fuentes técnicas de reconocido prestigio, como el EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2023 de la Agencia Europea de Medio Ambiente.

En concreto, en el capítulo 5.C.1 relativo a la combustión de residuos municipales, se establecen factores de emisión de nivel Tier 1, donde se indica una emisión de 8,4 µg de benzo(a)pireno por tonelada de residuo incinerado. A partir de este valor, y considerando una capacidad de tratamiento

de 18,75 t/h por línea y un caudal de gases de 110.836 Nm³/h, se obtiene una concentración de emisión estimada de 0,00142 µg/Nm³.

A partir de esta emisión media, se han modelizado las concentraciones anuales esperadas mediante el modelo AERMOD. En el caso del benzo(a)pireno, las emisiones modeladas presentan concentraciones extremadamente bajas, resultado de la escasa presencia de este elemento en los gases emitidos por la instalación. Debido a estos valores tan reducidos, el programa AERMOD no permite generar un mapa de concentraciones, al encontrarse todas las concentraciones calculadas por debajo del umbral mínimo de representación gráfica.

Aun así, el modelo indica que la concentración máxima anual en el punto más desfavorable es de 0,00001 ng/m³, valor que representa el 0,001% del límite legal establecido para la protección de la salud humana, lo que confirma que el impacto del benzo(a)pireno en la calidad del aire es prácticamente insignificante y no supone riesgo alguno para el entorno.

Por otro lado, las concentraciones anuales de benzo(a)pireno en los receptores singulares también tendrían el mismo valor (0,00001 ng/m³) para cada receptor situado en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos.

4.8. Metales pesados

Dentro de los contaminantes regulados por la Directiva (UE) 2024/2881, de obligado cumplimiento a partir de 2030, los metales pesados constituyen un grupo de especial interés debido a su toxicidad y persistencia en el medio ambiente. En el presente estudio se han considerado cuatro de los elementos regulados por la presente Directiva, y a la vez, más relevantes: plomo (Pb), arsénico (As), cadmio (Cd) y níquel (Ni). Estos metales aparecen de forma conjunta en las tablas de emisiones asociadas a las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs), si bien los valores límite de concentración en el aire ambiente son distintos para cada uno de ellos.

4.8.1. Estimación de las emisiones individuales

En relación con los metales pesados, las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) establecen valores de emisión de forma conjunta para determinados grupos de metales, sin desagregar su contribución individual. Por ello, y con el objetivo de obtener valores representativos para su modelización, se ha recurrido nuevamente a fuentes técnicas de referencia, en particular al EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2023 de la Agencia Europea de Medio Ambiente.

En el capítulo 5.C.1 relativo a la combustión de residuos municipales, se recogen factores de emisión de nivel Tier 1 para distintos metales pesados, expresados en función de la cantidad de residuo tratado. En concreto, se han considerado los siguientes valores:

- Plomo (Pb): 58 mg/t de residuo
- Cadmio (Cd): 4,6 mg/t de residuo

- Arsénico (As): 6,2 mg/t de residuo
- Níquel (Ni): 21,6 mg/t de residuo

A partir de estos factores de emisión, y considerando las condiciones de operación de la instalación (capacidad de tratamiento por línea y caudal de gases), se han obtenido las concentraciones de emisión a introducir en el modelo de dispersión. Los valores resultantes son:

- Plomo (Pb): 0,0098 mg/Nm³
- Cadmio (Cd): 0,00078 mg/Nm
- Arsénico (As): 0,00105 mg/Nm³
- Níquel (Ni): 0,0037 mg/Nm³

Este enfoque permite disponer de una estimación desagregada de las emisiones de metales pesados, basada en metodologías reconocidas a nivel europeo y adecuada para su utilización en el modelo de dispersión atmosférica.

4.8.2. Plomo (Pb)

El plomo es uno de los metales pesados más relevantes desde el punto de vista ambiental y sanitario, motivo por el cual cuenta con un valor límite anual de concentración en aire de 0,5 µg/m³. A partir de la composición de residuos indicada en el documento BREF y aplicando los factores de retención correspondientes en escorias y cenizas volantes, se ha podido estimar la emisión individual de plomo asociada al proceso de combustión.

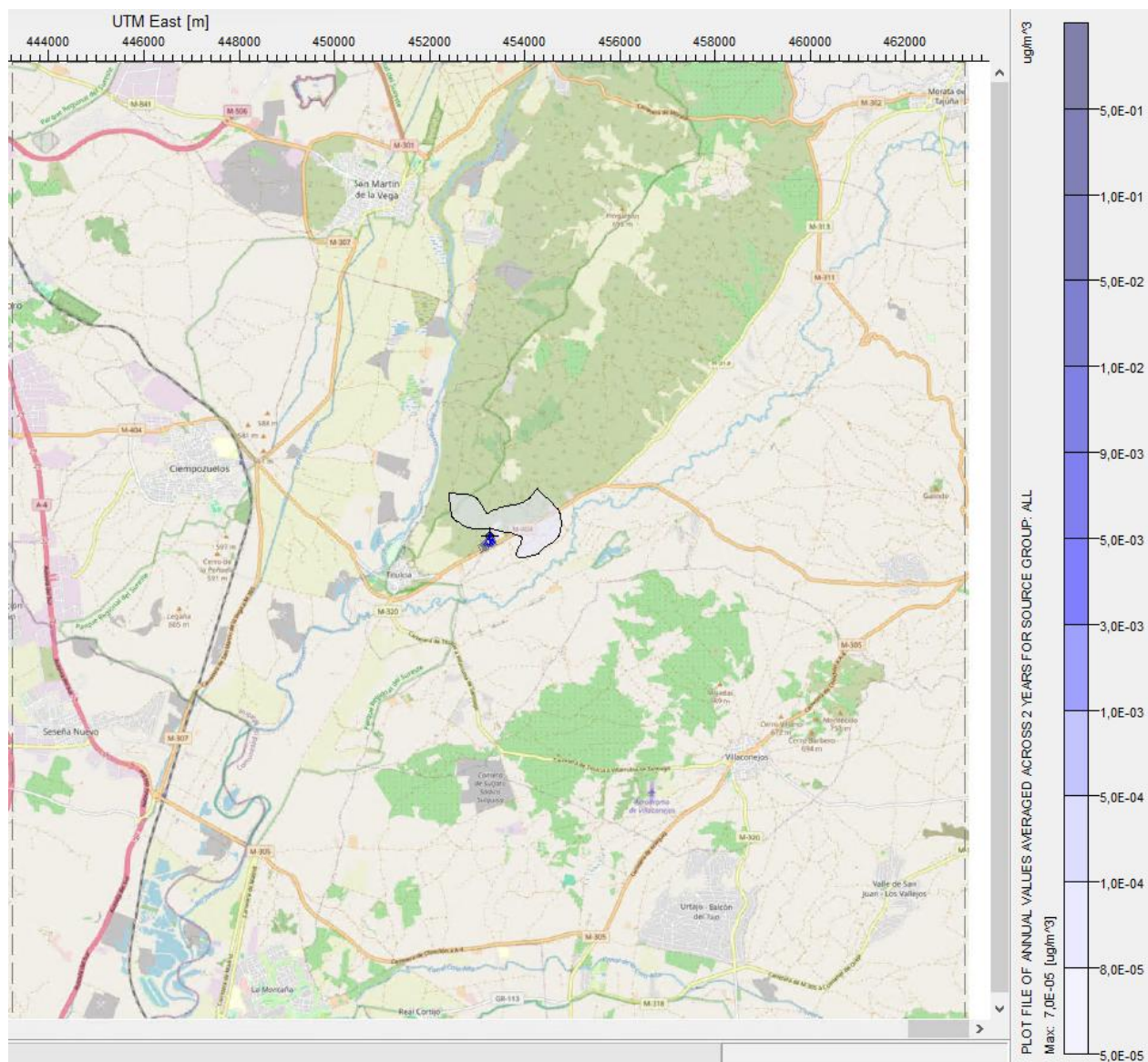


Figura 39. Concentración anual promedio de Plomo (Pb)

Según los resultados de la simulación (Figura anterior), se alcanzarían concentraciones máximas absolutas anuales de 0,00007 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de plomo, que es un valor mucho menor que el límite legal fijado. Por lo tanto, se puede descartar cualquier efecto negativo en la salud por parte del plomo (Pb).

En este caso, el límite inferior de la escala vuelve a ser del 0,01% respecto al máximo permitido por la directiva UE 2024/2881. Este ajuste no modifica los resultados del modelo; únicamente permite distinguir mejor las zonas de mayor impacto, evidenciando que incluso así las concentraciones son muy reducidas y no alcanzan el municipio de Titulcia.

Por otro lado, las concentraciones anuales de Plomo en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Titulcia	0,00002	Nuevo Chinchón	0,00001
Morata de Tajuña	0,00000	San Martín de la Vega	0,00000
Ciempozuelos	0,00000	Seseña Nuevo	0,00000
La Montaña	0,00000	Urtajo	0,00000
Villaconejos	0,00000	Los Vallejos	0,00000
Parque regional del Sureste	0,00007	Red Natura 2000	0,00006
HIC 4090	0,00002	HIC 5210	0,00004

Tabla 28. Concentración anual de Plomo en los receptores singulares

4.8.3. Arsénico (As)

El arsénico es un metal pesado de elevada toxicidad y clasificado como carcinógeno, motivo por el cual la legislación europea establece un valor objetivo anual en aire de 0,006 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para la protección de la salud humana. En el presente estudio, a partir de la composición de residuos descrita en el BREF y considerando los porcentajes de retención en escorias y cenizas volantes, se ha procedido a estimar la emisión individual de arsénico asociada a la operación de la planta.

La emisión resultante se verá incrementada, como ha sucedido con todos los contaminantes de este estudio, ya que los valores expresados son para metros cúbicos normalizados, y en nuestro caso el % de O₂ es inferior y no es un gas totalmente seco.

En el caso del arsénico, las emisiones modeladas presentan concentraciones extremadamente bajas, resultado de la escasa presencia de este elemento en los gases emitidos por la instalación. Debido a estos valores tan reducidos, el programa AERMOD no permite generar un mapa de concentraciones,

al encontrarse todas las concentraciones calculadas por debajo del umbral mínimo de representación gráfica.

Aun así, el modelo indica que la concentración máxima anual en el punto más desfavorable es de $0,00001 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor muy inferior al límite legal establecido para la protección de la salud humana, lo que confirma que el impacto del arsénico en la calidad del aire es prácticamente insignificante y no supone riesgo alguno para el entorno.

Por otro lado, las concentraciones anuales en los receptores singulares también tendrían el mismo valor ($0,00001 \text{ ng}/\text{m}^3$) para cada receptor situado en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos.

4.8.4. Cadmio (Cd)

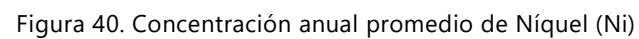
El cadmio es un metal pesado con una elevada peligrosidad para la salud humana, especialmente por sus efectos acumulativos en el organismo. Por este motivo, la normativa europea establece un valor objetivo anual en aire de $0,005 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En este estudio, partiendo de los datos de composición de residuos indicados en el BREF y aplicando los factores de retención correspondientes en escorias y cenizas volantes, se ha procedido a calcular la emisión individual de cadmio derivada del proceso de valorización energética.

En el caso del cadmio, las emisiones modeladas presentan concentraciones extremadamente bajas, resultado de la escasa presencia de este elemento en los gases emitidos por la instalación. Debido a estos valores tan reducidos, el programa AERMOD no permite generar un mapa de concentraciones, al encontrarse todas las concentraciones calculadas por debajo del umbral mínimo de representación gráfica.

Aun así, el modelo indica que la concentración máxima anual en el punto más desfavorable es de $0,00001 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor muy inferior al límite legal establecido para la protección de la salud humana, lo que confirma que el impacto del arsénico en la calidad del aire es prácticamente insignificante y no supone riesgo alguno para el entorno. Por otro lado, las concentraciones anuales en los receptores singulares también tendrían el mismo valor ($0,00001 \text{ ng}/\text{m}^3$) para cada receptor situado en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos.

4.8.5. Níquel (Ni)

El níquel es un metal pesado regulado debido a sus efectos adversos sobre la salud humana, principalmente por su potencial carcinogénico en exposiciones prolongadas. La normativa europea establece un valor objetivo anual en aire de $20 \text{ ng}/\text{m}^3$. En este estudio, a partir de la composición de residuos obtenida del BREF y aplicando los porcentajes de retención estimados en escorias y cenizas volantes, se ha realizado la estimación de la emisión individual de níquel generada en el proceso de combustión.



Según los resultados de la simulación (Figura anterior), se alcanzarían concentraciones máximas absolutas anuales de 0,00003 µg/m³ de níquel, que es un valor mucho menor que el límite legal fijado. Por lo tanto, se puede descartar cualquier efecto negativo en la salud por parte del níquel (Ni).

En este caso, el límite inferior de la escala vuelve a ser del 0,1% respecto al máximo permitido por la directiva UE 2024/2881. Este ajuste no modifica los resultados del modelo; únicamente permite distinguir mejor las zonas de mayor impacto, evidenciando que incluso así las concentraciones son muy reducidas y no alcanzan el municipio de Titulcia.

Por otro lado, las concentraciones anuales de Níquel en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración (µg/m ³)	Receptor	Concentración (µg/m ³)
Titulcia	0,00001	Nuevo Chinchón	0,00000
Morata de Tajuña	0,00000	San Martín de la Vega	0,00000
Ciempozuelos	0,00000	Seseña Nuevo	0,00000
La Montaña	0,00000	Urtajo	0,00000
Villaconejos	0,00000	Los Vallejos	0,00000
Parque regional del Sureste	0,00002	Red Natura 2000	0,00002
HIC 4090	0,00001	HIC 5210	0,00002

Tabla 29. Concentración anual de Níquel en los receptores singulares

4.9. Mercurio (Hg)

El mercurio es un metal pesado altamente tóxico que puede estar presente en forma gaseosa en las emisiones de procesos de combustión o valorización de residuos. Su peligrosidad radica en su capacidad para bioacumularse en organismos vivos y provocar efectos adversos en el sistema nervioso, especialmente en exposiciones prolongadas.

Aunque el mercurio (Hg) se considera un metal pesado, en este estudio se analiza de manera independiente del resto de metales (plomo, cadmio, níquel y arsénico). Esta separación se justifica porque, a diferencia de estos últimos, el mercurio no se encuentra actualmente regulado en cuanto a valores límite de calidad del aire ni en la normativa nacional ni en la europea.

En concreto, la Directiva (UE) 2024/2881, de obligado cumplimiento a partir de 2030, que actualiza y sustituye a la anterior Directiva 2004/107/CE sobre contaminantes atmosféricos, ha eliminado la referencia al mercurio dentro del grupo de metales regulados en el aire ambiente. Por tanto, no

existen valores límite legales ni objetivos de calidad específicos para este elemento en España ni a nivel de la Unión Europea.

Sin embargo, en este estudio se adopta, con carácter conservador, el valor guía de $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($200 \text{ ng}/\text{m}^3$) establecido por la Agencia Federal Alemana de Medio Ambiente (UBA) como umbral de exposición prolongada en aire exterior (anual).

Para ello introduciremos un nivel de emisión de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo este el límite inferior de la media diaria del nivel de emisión asociados a MTD para emisiones de mercurio canalizadas a la atmósfera procedentes de la valorización energética de residuos.

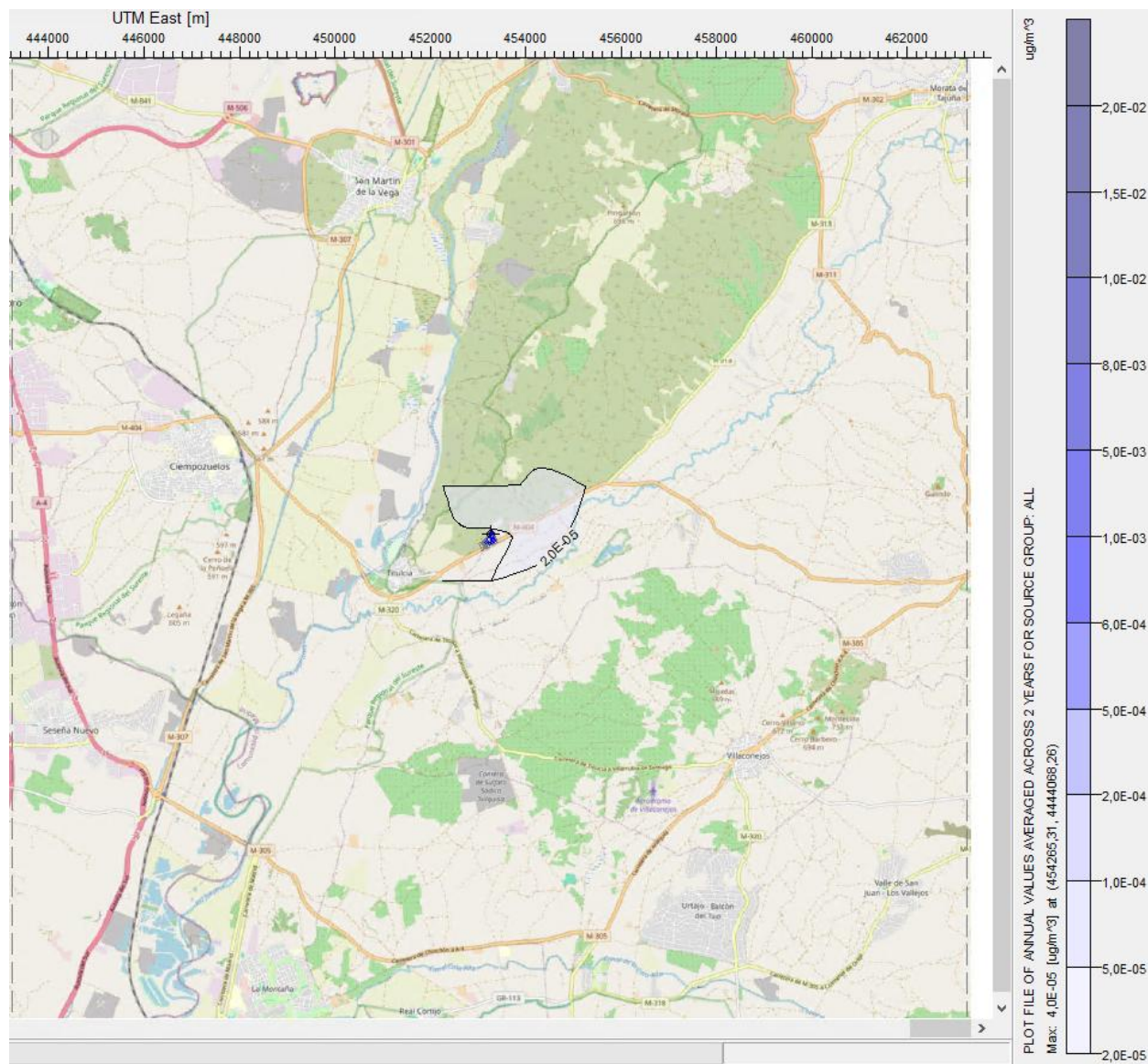


Figura 41. Concentración anual promedio de Mercurio (Hg)

Los resultados obtenidos para la concentración media anual de Mercurio se muestran en la Figura anterior. La concentración máxima obtenida en todo el dominio es de 0,00004 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que el valor objetivo está establecido en 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, por lo que las concentraciones resultantes de la simulación de la calidad del aire son totalmente irrelevantes.

En este caso, el límite inferior de la escala vuelve a ser del 0,01% respecto al máximo permitido por la directiva UE 2024/2881. Este ajuste no modifica los resultados del modelo; únicamente permite distinguir mejor las zonas de mayor impacto, evidenciando que incluso así las concentraciones son muy reducidas y no alcanzan el municipio de Titulcia.

Por otro lado, las concentraciones anuales de mercurio en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Titulcia	0,00001	Nuevo Chinchón	0,00000
Morata de Tajuña	0,00000	San Martín de la Vega	0,00000
Ciempozuelos	0,00000	Seseña Nuevo	0,00000
La Montaña	0,00000	Urtajo	0,00000
Villaconejos	0,00000	Los Vallejos	0,00000
Parque regional del Sureste	0,00003	Red Natura 2000	0,00003
HIC 4090	0,00001	HIC 5210	0,00002

Tabla 30. Concentración anual de Mercurio en los receptores singulares

4.10. Dioxinas y furanos

Las policloro-dibenzo dioxinas y policloro-dibenzo furanos (PCDD y PCDF) constituyen un conjunto de más de 200 especies químicas que incluye compuestos de elevada toxicidad con efectos negativos reproductivos, inmunotoxicológicos y carcinogénicos. Se trata de un conjunto de compuestos orgánicos aromáticos clorados semivolátiles que pueden emitirse en cualquier proceso de combustión en los que el combustible o materias incineradas contengan trazas de cloro. La exposición excesiva a las dioxinas y furanos puede causar efectos significativos sobre la salud humana, afectando a órganos importantes como el corazón, sistema inmune, hígado, piel y la glándula de tiroides.

La exposición a PCDD y PCDF en el aire no es en principio demasiado relevante. De hecho, la organización mundial de la salud no ha recomendado ningún valor guía o recomendación ya que la inhalación de dioxinas y furanos constituye en general, menos de un 5% de la ingesta que se produce fundamentalmente por los alimentos. Dada la escasa incidencia de estas especies en el aire, también son muy escasas las referencias legales a nivel internacional, incluso en la Directiva (UE) 2024/2881,

de obligado cumplimiento a partir de 2030, que no se encuentra referenciada. Sin embargo, en Japón el estándar de calidad del aire para dioxinas y furanos es de 0,6 pg/m³ (600 fg/m³) como media anual, mientras que en Ontario se establece que no deben superarse los 5 pg/m³ como media en 24 horas.

Para comprobar ambos casos, se utilizará la mínima emisión que se recoge dentro de los niveles de emisión asociados a MTD para emisiones canalizadas a la atmósfera de PCDD/F (0,01 ng/m³).

4.10.1. Límite diario

Dado que las concentraciones esperadas para dioxinas y furanos se encuentran en el rango de los nanogramos por metro cúbico (ng/m³), y el modelo AERMOD trabaja con unidades de microgramos por metro cúbico (µg/m³), se ha aplicado un factor de escala (1.000.000) sobre las emisiones para evitar que los resultados se redondeen a cero por debajo del umbral de resolución del modelo. Las concentraciones obtenidas han sido posteriormente reajustadas dividiendo por el mismo factor, de forma que los resultados reflejan con precisión las concentraciones reales en unidades de ng/m³.

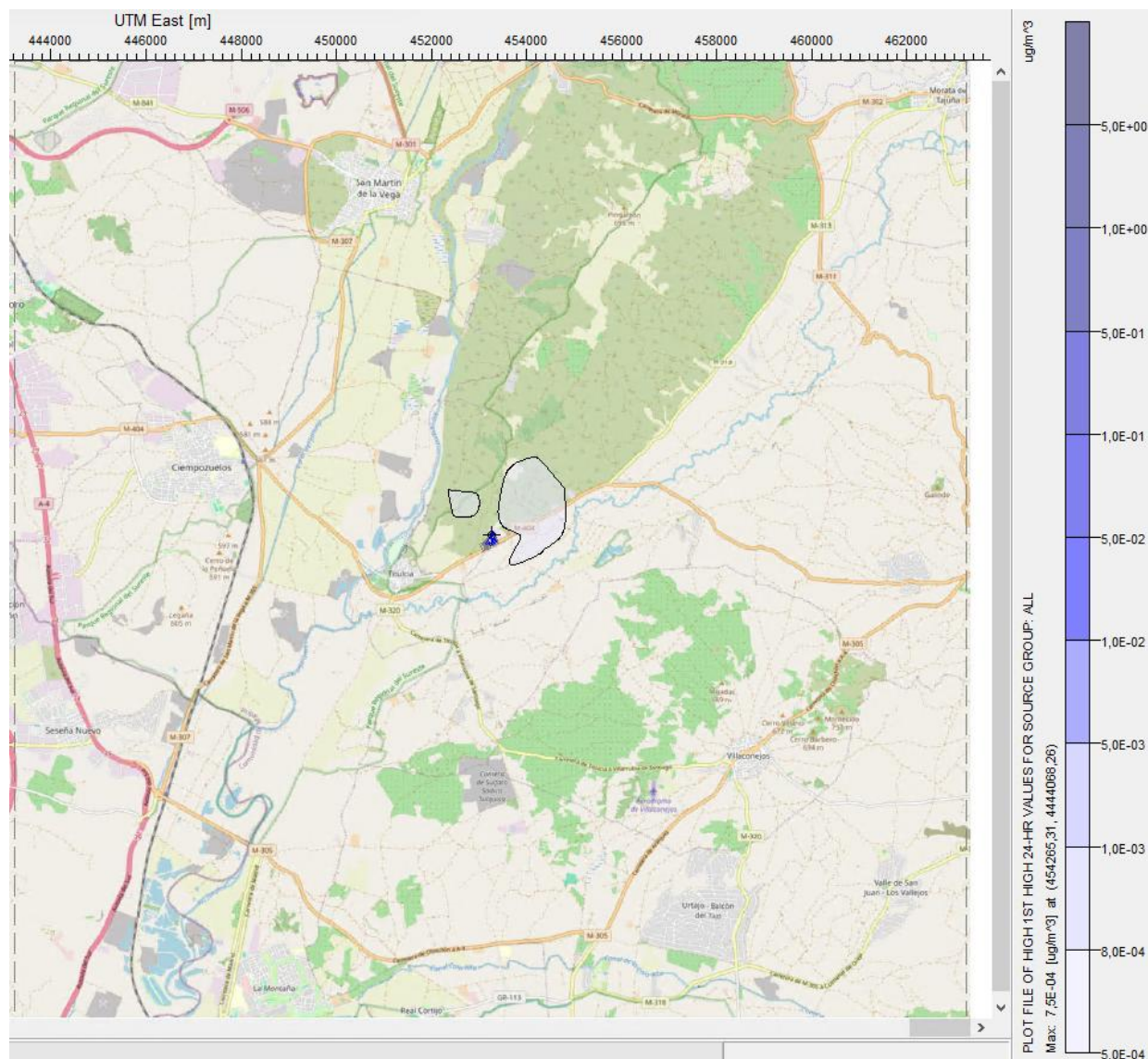


Figura 42. Concentración diaria más elevada de Dioxinas y furanos

En la figura anterior, que representa la mayor concentración que se puede dar pasadas 24 horas, la máxima inmisión es de 0,00075 pg/m³, muy por debajo del límite que se propone en Ontario.

En este caso, el límite inferior de la escala vuelve a ser del 0,01% respecto al máximo permitido por la directiva UE 2024/2881. Este ajuste no modifica los resultados del modelo; únicamente permite distinguir mejor las zonas de mayor impacto, evidenciando que incluso así las concentraciones son muy reducidas y no alcanzan el municipio de Titulcia.

Por otro lado, las concentraciones diarias de dioxinas y furanos en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración (pg/m ³)	Receptor	Concentración (pg/m ³)
Titulcia	0,00025	Nuevo Chinchón	0,00013
Morata de Tajuña	0,00005	San Martín de la Vega	0,00003
Ciempozuelos	0,00005	Seseña Nuevo	0,00004
La Montaña	0,00004	Urtajo	0,00006
Villaconejos	0,00007	Los Vallejos	0,00003
Parque regional del Sureste	0,00068	Red Natura 2000	0,00040
HIC 4090	0,00018	HIC 5210	0,00073

Tabla 31. Concentración diaria de dioxinas y furanos en los receptores singulares

4.10.2. Límite anual

En este caso, la máxima concentración anual en la zona de estudio es de 0,00007 pg/m³, siendo una concentración totalmente irrisoria comparada con el límite anual establecido por las autoridades japonesas.

En este caso, el límite inferior de la escala vuelve a ser del 0,01% respecto al máximo permitido por la directiva UE 2024/2881. Este ajuste no modifica los resultados del modelo; únicamente permite distinguir mejor las zonas de mayor impacto, evidenciando que incluso así las concentraciones son muy reducidas y no alcanzan el municipio de Titulcia.

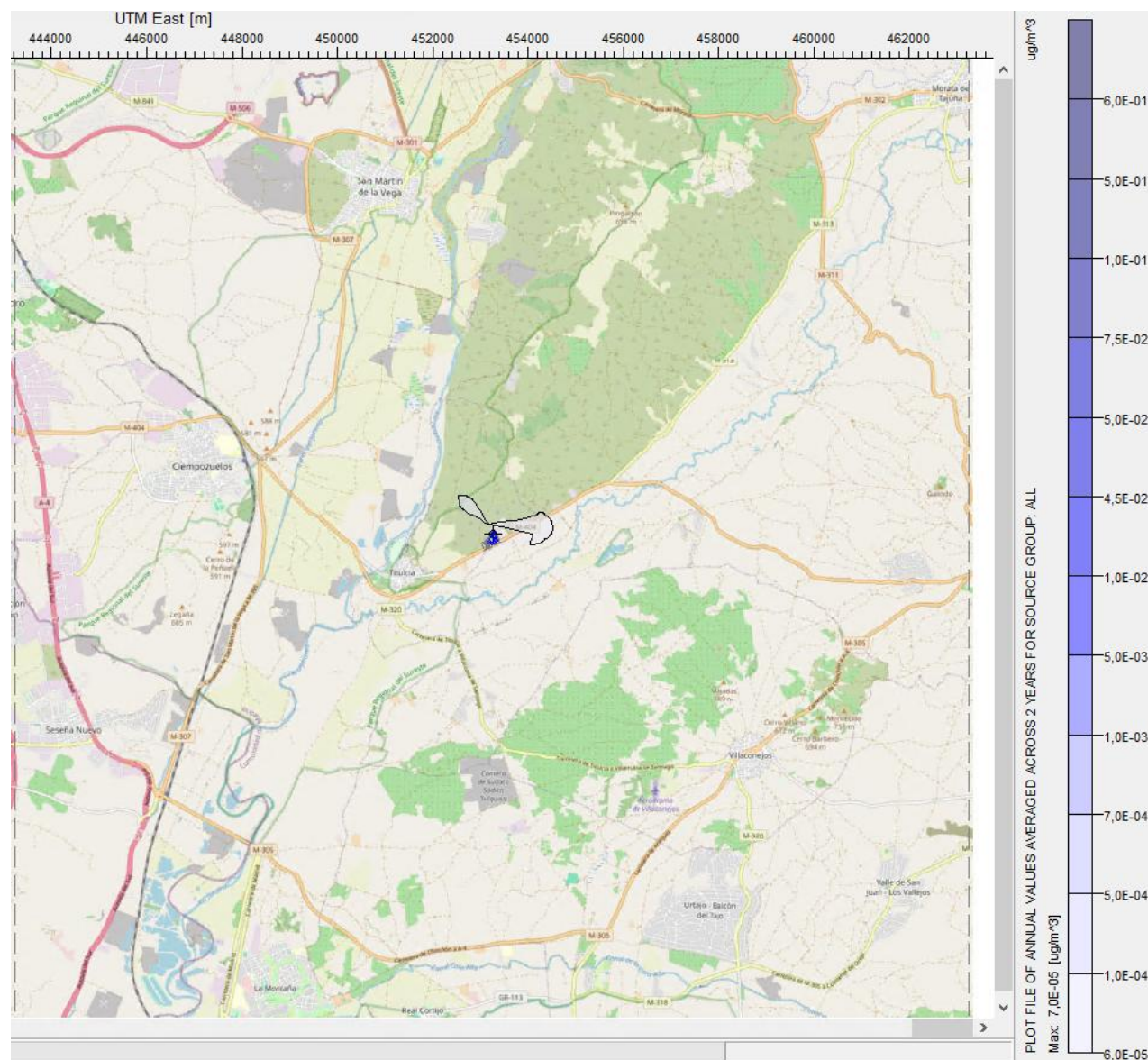


Figura 43. Concentración anual promedio de Dioxinas y furanos

Por otro lado, las concentraciones anuales de dioxinas y furanos en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración (pg/m ³)	Receptor	Concentración (pg/m ³)
Titulcia	0,00002	Nuevo Chinchón	0,00001
Morata de Tajuña	0,00000	San Martín de la Vega	0,00000
Ciempozuelos	0,00000	Seseña Nuevo	0,00000
La Montaña	0,00000	Urtajo	0,00000
Villaconejos	0,00000	Los Vallejos	0,00000
Parque regional del Sureste	0,00007	Red Natura 2000	0,00006
HIC 4090	0,00002	HIC 5210	0,00004

Tabla 32. Concentración anual de dioxinas y furanos en los receptores singulares

4.11. Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono (CO) es un contaminante gaseoso que se forma principalmente como resultado de la combustión incompleta de materiales orgánicos, siendo por tanto una emisión habitual en plantas de valorización energética de residuos. Su peligrosidad se debe a su capacidad para unirse a la hemoglobina, reduciendo el transporte de oxígeno en sangre, especialmente en exposiciones elevadas o prolongadas.

4.11.1. Límite octohorario

En materia de calidad del aire, la Directiva (UE) 2024/288, de obligado cumplimiento a partir de 2030, establece un valor límite de inmisión para el CO de 10000 µg /m³, determinado como máxima diaria de las medias octohorarias. Este valor no debe superarse en ningún momento del año.

Para la evaluación horaria del monóxido de carbono (CO) se ha seguido el mismo procedimiento aplicado al resto de contaminantes regulados. La normativa de referencia en materia de emisiones para instalaciones de valorización energética es el Real Decreto 815/2013, el cual establece valores límite semihorarios y determina que estos deben cumplirse en el 97% de las horas anuales, permitiendo que en el 3% restante puedan alcanzarse valores superiores en situaciones puntuales.

En coherencia con ello, y tomando como base las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) de 2019, se ha considerado que en el 97% del tiempo las emisiones de CO corresponden al valor inferior del rango NEA-MTD, 10 mg/Nm³, representando el escenario más desfavorable dentro del funcionamiento normal de la instalación. Para el 3% restante, y siguiendo la estructura regulatoria del Real Decreto

815/2013, se ha aplicado un valor de 100 mg/Nm³, que constituye el límite máximo semihorario permitido para la valorización energética de residuos. Este planteamiento permite reflejar adecuadamente tanto el cumplimiento habitual como los posibles episodios de emisiones elevadas previstos por la normativa.

Como se puede apreciar en la figura de a continuación, la inmisión más alta percibida en 8 horas de media es de 3,79 µg/m³, muy lejos por lo tanto del límite de 10.000 µg/m³ que se marca como límite según la legislación española.

En este caso, el límite inferior de la escala vuelve a ser del 0,01% respecto al máximo permitido por la directiva UE 2024/2881. Este ajuste no modifica los resultados del modelo; únicamente permite distinguir mejor las zonas de mayor impacto, evidenciando que incluso así las concentraciones son muy reducidas y no alcanzan el municipio de Titulcia.

Por otro lado, las concentraciones octohorarias más elevadas de monóxido de carbono en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración (µg/m ³)	Receptor	Concentración (µg/m ³)
Titulcia	0,89	Nuevo Chinchón	0,55
Morata de Tajuña	0,15	San Martín de la Vega	0,13
Ciempozuelos	0,14	Seseña Nuevo	0,25
La Montaña	0,12	Urtajo	0,36
Villaconejos	0,45	Los Vallejos	0,18
Parque regional del Sureste	3,79	Red Natura 2000	1,82
HIC 4090	1,18	HIC 5210	2,11

Tabla 33. Concentración octohoraria más elevada de CO en los receptores singulares

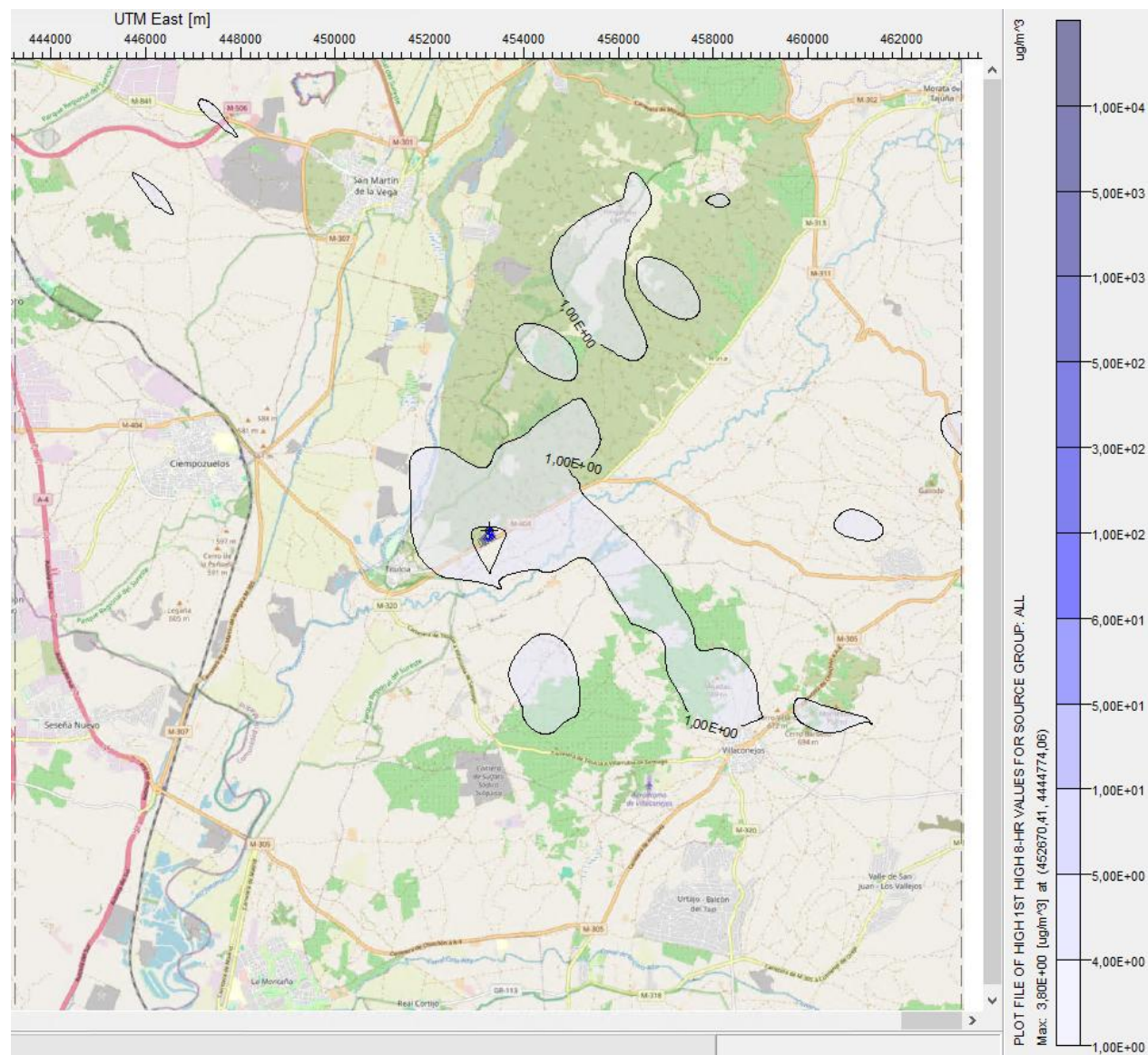


Figura 44. Concentración octohoraria más elevada de CO

4.11.2. Límite diario

En materia de calidad del aire, la Directiva (UE) 2024/288, de obligado cumplimiento a partir de 2030, establece un valor límite de inmisión para el CO de 4000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, determinado como media diaria, el cual puede verse superado un máximo de 18 veces por año.

A efectos de este estudio, se ha modelizado la dispersión del CO según la emisión más baja posible recogida en la Decisión de Ejecución (UE) 2019/2010 sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) sobre la combustión de residuos, donde recoge una emisión media diaria entre 10 y 50 mg/Nm^3 , situándonos en el extremo inferior del intervalo.

Como se puede apreciar en la figura de a continuación, la inmisión más alta percibida en 24 h de media es de 0,75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, muy lejos por lo tanto del límite de 4.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que se marca como límite según la legislación española.

En este caso, el límite inferior de la escala vuelve a ser del 0,01% respecto al máximo permitido por la directiva UE 2024/2881. Este ajuste no modifica los resultados del modelo; únicamente permite distinguir mejor las zonas de mayor impacto, evidenciando que incluso así las concentraciones son muy reducidas y no alcanzan el municipio de Titulcia.

Por otro lado, las concentraciones diarias más elevadas de monóxido de carbono en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Titulcia	0,25	Nuevo Chinchón	0,13
Morata de Tajuña	0,04	San Martín de la Vega	0,02
Ciempozuelos	0,05	Seseña Nuevo	0,03
La Montaña	0,04	Urtajo	0,06
Villaconejos	0,07	Los Vallejos	0,02
Parque regional del Sureste	0,68	Red Natura 2000	0,40
HIC 4090	0,18	HIC 5210	0,73

Tabla 34. Concentración diaria más elevada de CO en los receptores singulares

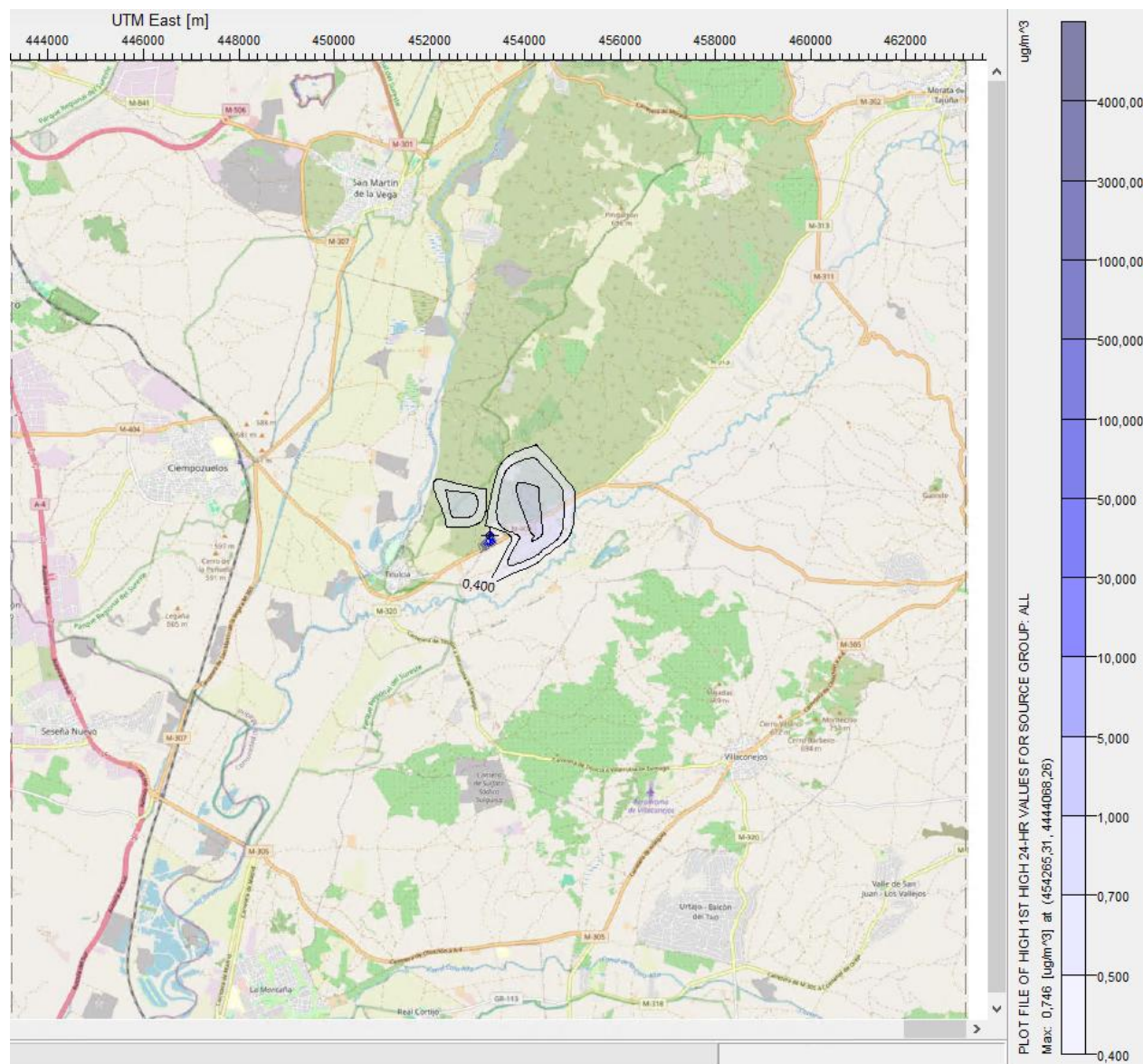


Figura 45. Concentración diaria promedio de CO

4.12. Amoníaco (NH₃)

El amoníaco es un gas alcalino que puede estar presente en las emisiones de plantas de valorización energética como resultado de la utilización de tecnologías de reducción de NO_x basadas en la inyección de amoníaco o urea (SCR).

Aunque el amoníaco no dispone actualmente de un valor límite legal de inmisión en la Directiva (UE) 2024/288, de obligado cumplimiento a partir de 2030, distintos organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) han establecido valores guía para la protección de la salud humana. En este estudio se adopta, con carácter orientativo y conservador, el valor de 50 µg/m³ como media anual, utilizado habitualmente en evaluaciones de impacto ambiental para exposición prolongada.

Para ello se establece el mínimo nivel de emisión permitido según las MTDs, el cual es de 2 mg/m³ de media diaria.

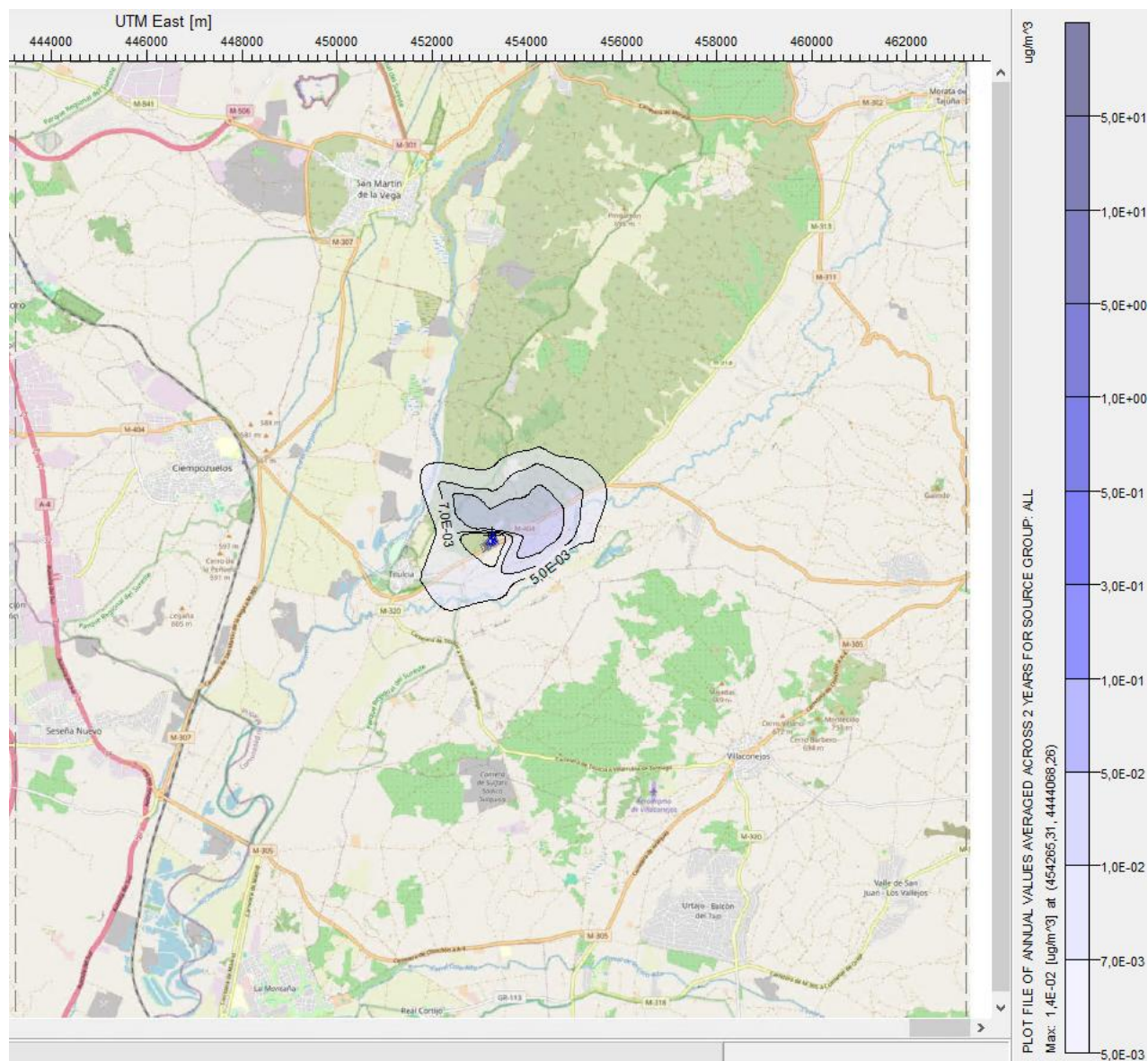


Figura 46. Concentración anual promedio de amoníaco

En la figura de arriba se muestra la concentración media anual máxima en el entorno de la planta ($0,014 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Este valor está muy por debajo del valor guía de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como umbral de referencia para la protección de la salud humana frente a exposiciones prolongadas. El resultado obtenido indica que las emisiones previstas de NH_3 , asociadas al posible amoníaco slip derivado del sistema de reducción de NO_x , no representan un riesgo significativo para la calidad del aire, ni suponen superación alguna de los valores comúnmente aceptados en estudios ambientales.

En este caso, el límite inferior de la escala vuelve a ser del 0,01% respecto al máximo permitido por la directiva UE 2024/2881. Este ajuste no modifica los resultados del modelo; únicamente permite distinguir mejor las zonas de mayor impacto, evidenciando que incluso así las concentraciones son muy reducidas y no alcanzan el municipio de Titulcia.

Por otro lado, las concentraciones anuales más elevadas de amoníaco en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

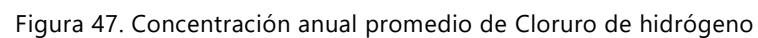
Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Titulcia	0,0047	Nuevo Chinchón	0,0017
Morata de Tajuña	0,0007	San Martín de la Vega	0,0007
Ciempozuelos	0,0008	Seseña Nuevo	0,0008
La Montaña	0,0008	Urtajo	0,0005
Villaconejos	0,0009	Los Vallejos	0,0004
Parque regional del Sureste	0,0133	Red Natura 2000	0,0128
HIC 4090	0,0036	HIC 5210	0,0086

Tabla 35. Concentración anual de amoníaco en los receptores singulares

4.13. Cloruro de hidrógeno (HCl)

El cloruro de hidrógeno (HCl) es un gas ácido y corrosivo que puede generarse durante la combustión de residuos que contienen compuestos clorados, siendo por tanto una de las emisiones típicas de las plantas de valorización energética. En contacto con la humedad ambiental, el HCl puede formar ácido clorhídrico, con efectos irritantes sobre las vías respiratorias, ojos y mucosas.

Actualmente, el cloruro de hidrógeno no dispone de un valor límite legal de inmisión en la Directiva (UE) 2024/288, de obligado cumplimiento a partir de 2030, aunque distintos organismos internacionales han establecido valores guía para exposiciones prolongadas. En este estudio se ha adoptado, con carácter conservador, el valor de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como media anual, basado en criterios de referencia europeos y ampliamente utilizado en estudios de evaluación ambiental. Los resultados de modelización se realizan teniendo en cuenta la emisión más baja permitida según las MTDs, siendo para instalaciones nuevas de $2 \text{ mg}/\text{m}^3$.



La concentración media anual máxima de HCl obtenida mediante modelización es de $0,014 \mu\text{g}/\text{m}^3$, un valor muy inferior a los principales valores de referencia establecidos para exposición prolongada. En concreto, se sitúa muy por debajo del umbral de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), así como del valor guía más utilizado en Europa de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, propuesto por la Agencia Federal Alemana de Medio Ambiente (UBA). Estos resultados confirman que las emisiones previstas de HCl no suponen un impacto relevante sobre la calidad del aire ni un riesgo para la salud humana.

En este caso, el límite inferior es de 0,05% respecto al máximo permitido por la directiva UE 2024/2881. Este ajuste no modifica los resultados del modelo; únicamente permite distinguir mejor las zonas de mayor impacto, evidenciando que incluso así las concentraciones son muy reducidas y no alcanzan el municipio de Titulcia.

Por otro lado, las concentraciones anuales más elevadas de cloruro de hidrogeno en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Titulcia	0,0047	Nuevo Chinchón	0,0017
Morata de Tajuña	0,0007	San Martín de la Vega	0,0007
Ciempozuelos	0,0008	Seseña Nuevo	0,0008
La Montaña	0,0008	Urtajo	0,0005
Villaconejos	0,0009	Los Vallejos	0,0004
Parque regional del Sureste	0,0133	Red Natura 2000	0,0128
HIC 4090	0,0036	HIC 5210	0,0086

Tabla 36. Concentración anual de cloruro de hidrogeno en los receptores singulares

4.14. Fluoruro de hidrógeno (HF)

El fluoruro de hidrógeno (HF) es un gas corrosivo y tóxico que puede generarse en procesos de combustión cuando los residuos contienen compuestos fluorados, aunque normalmente en proporciones reducidas. A pesar de su potencial impacto sobre la salud humana, especialmente por vía respiratoria, la Directiva (UE) 2024/288, de obligado cumplimiento a partir de 2030, no establece un valor límite legal de inmisión para el HF en aire ambiente.

Sin embargo, distintos organismos internacionales han definido valores guía orientativos para exposición prolongada. En este estudio se adopta, con carácter conservador y en línea con buenas prácticas técnicas, el umbral de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como media anual, propuesto por la Agencia Federal Alemana de Medio Ambiente (UBA). Este valor se considera adecuado para proteger a la población frente a efectos crónicos derivados de la exposición a bajas concentraciones de HF en el aire. Para ello modelizaremos la inmisión del contaminante teniendo en cuenta que la emisión es de $1 \text{ mg}/\text{m}^3$.



La concentración media anual máxima de HF obtenida mediante modelización es de $0,007 \mu\text{g}/\text{m}^3$, un valor muy por debajo del umbral conservador de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido por la Agencia Federal Alemana de Medio Ambiente (UBA). Este resultado confirma que las emisiones previstas de HF no suponen un riesgo significativo para la calidad del aire ni para la salud humana en condiciones de exposición prolongada.

En este caso, el límite inferior es de 1% respecto al máximo permitido por la directiva UE 2024/2881. Este ajuste no modifica los resultados del modelo; únicamente permite distinguir mejor las zonas de mayor impacto, evidenciando que incluso así las concentraciones son muy reducidas y no alcanzan el municipio de Titulcia.

Por último, las concentraciones anuales más elevadas de fluoruro de hidrogeno en los receptores singulares colocados en las zonas pobladas y espacios naturales protegidos se recogen en la siguiente tabla:

Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Receptor	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Titulcia	0,0023	Nuevo Chinchón	0,0008
Morata de Tajuña	0,0003	San Martín de la Vega	0,0003
Ciempozuelos	0,0004	Seseña Nuevo	0,0004
La Montaña	0,0004	Urtajo	0,0002
Villacanejos	0,0004	Los Vallejos	0,0002
Parque regional del Sureste	0,0065	Red Natura 2000	0,0063
HIC 4090	0,0018	HIC 5210	0,0043

Tabla 37. Concentración anual de fluoruro de hidrogeno en los receptores singulares

5. COMPARACIÓN CON LA NORMATIVA APLICABLE

5.1. Evaluación del cumplimiento normativo (contribución de la instalación)

El siguiente apartado presenta los resultados de la evaluación del cumplimiento normativo de las concentraciones de inmisión modelizadas para los distintos contaminantes atmosféricos. La gráfica compara dos valores clave para cada contaminante:

- el Valor Límite Anual (100%), representado por la barra azul oscura, que indica el máximo legal permitido por la normativa de referencia.
- el Valor de Inmisión Modelizada, representado por la barra naranja pequeña, que muestra la concentración predicha por el modelo AERMOD, calculada según las emisiones mínimas permitidas por las MTDs (Mejores Técnicas Disponibles) y atribuida exclusivamente a la contribución de la instalación.

Para la mayoría de los contaminantes evaluados, se ha optado por utilizar como referencia la Directiva (UE) 2024/2881, cuyo cumplimiento será obligatorio a partir de 2030. Esta directiva establece valores límite notablemente más restrictivos que los vigentes en la normativa actual. Como se observa en el gráfico, los resultados de la modelización son claramente favorables, situándose la mayoría de los contaminantes por debajo del 1% respecto al valor límite de inmisión, exceptuando el NO₂ y el HF que no superan ni el 2,5%.

Esto demuestra que se cumple holgadamente con la normativa. El cumplimiento frente a los límites actuales (menos restrictivos) sería, por tanto, todavía más holgado, reforzando así la protección de la salud humana.

En el caso de aquellos contaminantes que no están regulados por la nueva Directiva —como el mercurio (Hg), las dioxinas y furanos (PCDD/F), el amoníaco (NHD), el cloruro de hidrógeno (HCl) o el fluoruro de hidrógeno (HF)— se han empleado valores guía procedentes de instituciones de reconocido prestigio internacional, como la Organización Mundial de la Salud (OMS) o la Agencia Federal Alemana de Medio Ambiente (UBA), garantizando así criterios de referencia sólidos y conservadores para la evaluación.

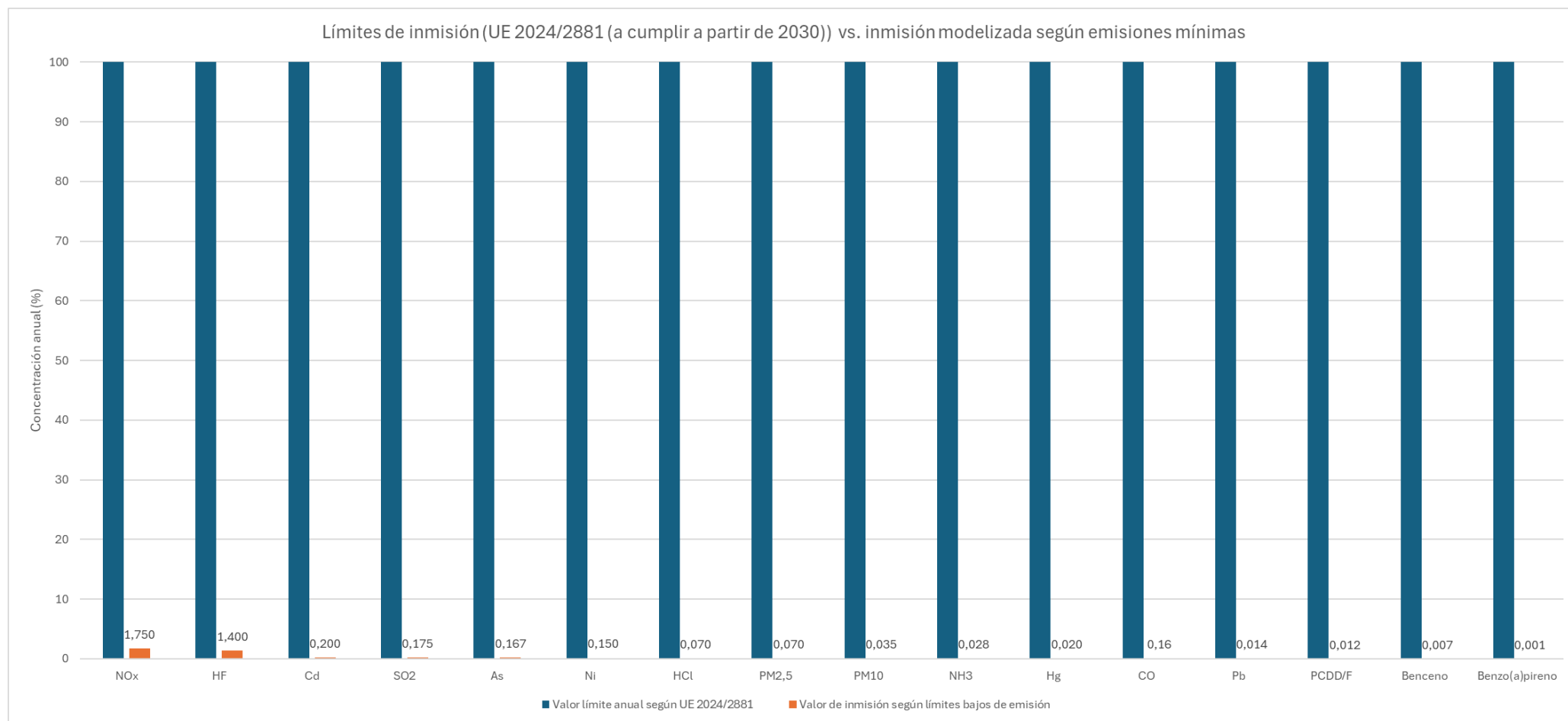


Figura 49. Comparación entre límites de calidad del aire y concentraciones modelizadas (% respecto al límite)

5.2. Evaluación del cumplimiento normativo con concentraciones de fondo

Con el fin de realizar una evaluación más representativa de la calidad del aire en el entorno de la instalación, en este apartado se analiza el cumplimiento normativo considerando la contribución conjunta de la planta y las concentraciones de fondo existentes en la zona de estudio.

Para ello, a las concentraciones de inmisión modelizadas mediante AERMOD se les han sumado los niveles de fondo correspondientes a los contaminantes para los que esta contribución resulta especialmente relevante, en concreto: óxidos de nitrógeno (NOx), partículas PM₁₀ y partículas PM_{2,5}.

La gráfica asociada muestra, para cada uno de estos contaminantes:

- El valor límite anual (100%), conforme a la normativa de referencia.
- La concentración total, resultado de la suma de la contribución de la instalación y la concentración de fondo. Aún así, se mostrarán por separado, para señalar la contribución de fondo respecto al total.

Los resultados obtenidos indican que, aun aportando datos de inmisión de fondo de estaciones de la red de vigilancia de la Comunidad de Madrid, los niveles de inmisión total se mantienen por debajo de los valores límite establecidos.

Cabe destacar que la contribución de la instalación representa una fracción muy reducida respecto a los niveles de fondo, lo que pone de manifiesto que la calidad del aire en la zona está dominada principalmente por fuentes externas y no por la actividad de la planta proyectada.

En consecuencia, se concluye que la instalación es compatible con el cumplimiento de los objetivos de calidad del aire, incluso considerando el escenario más desfavorable desde el punto de vista ambiental.

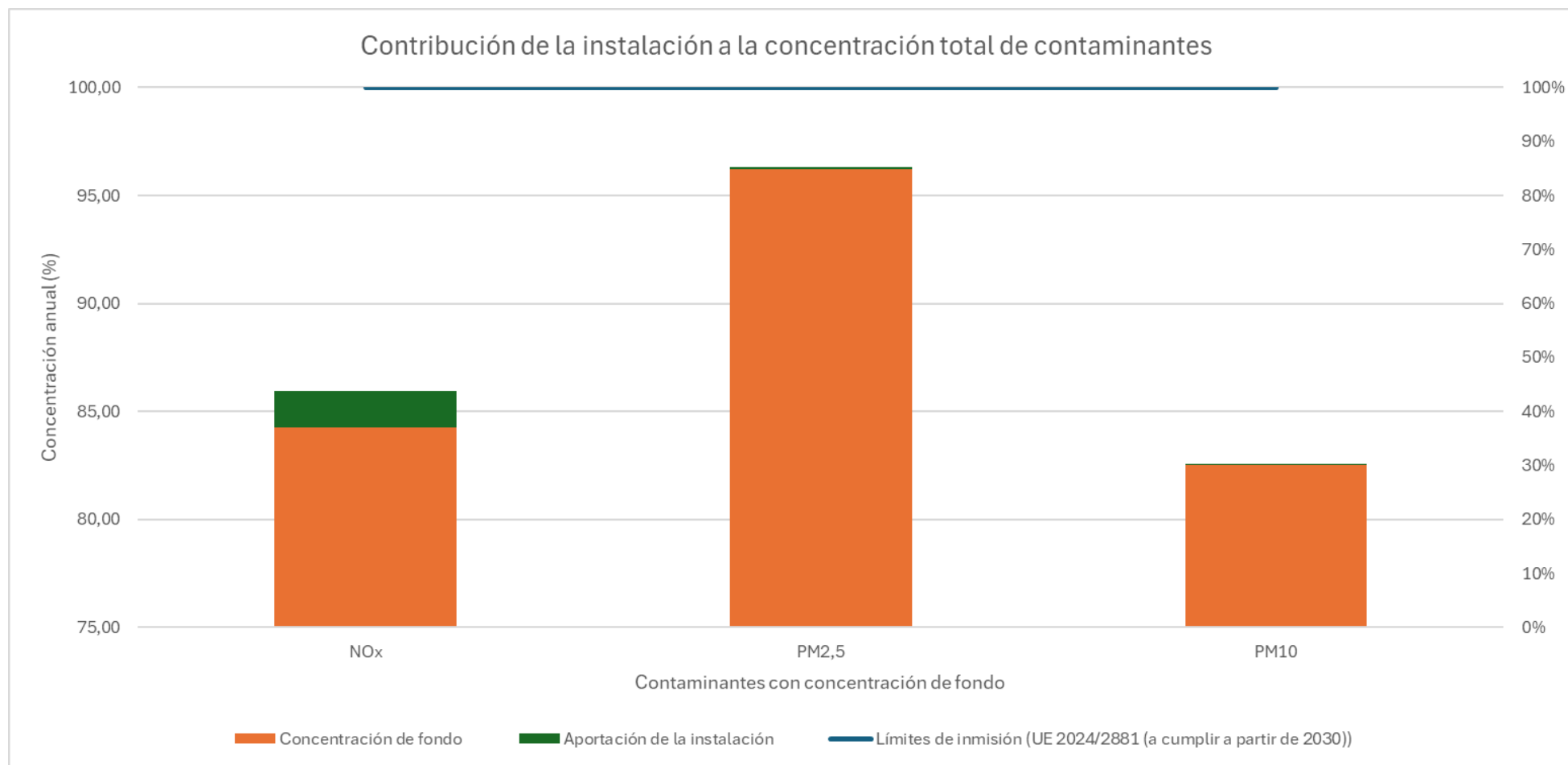


Figura 50 . Contribución de la instalación a la concentración total de contaminantes

6. ZONAS DE MAYOR IMPACTO EN INMISIÓN

Tal y como se muestra en la figura siguiente, la ubicación de la futura planta se representa en color rojo, mientras que los posibles receptores sensibles se indican en amarillo. El receptor más relevante corresponde al municipio de Titulcia, donde se sitúa la parcela del proyecto, con una población aproximada de 1.387 habitantes.

Asimismo, se identifica la empresa Recuperaciones Pérez (Receptor 7), especializada en la gestión integral de residuos, como otro receptor de interés. El resto de los receptores corresponden a viviendas aisladas o pequeñas edificaciones rurales distribuidas en el entorno, sin formar parte del núcleo urbano principal.

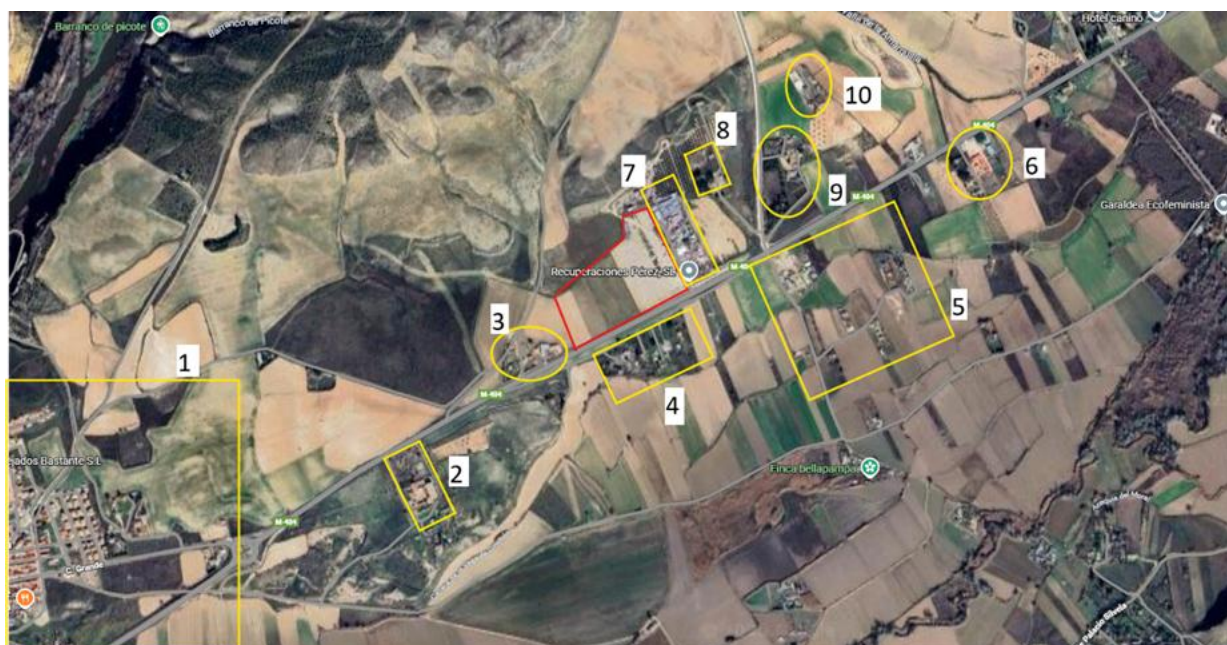


Figura 51. Principales receptores sensibles próximos a la instalación

Teniendo en cuenta los resultados vistos en el presente estudio, vemos que las zonas de máxima inmisión se concentran en las proximidades de la instalación (principalmente las zonas ubicadas en los laterales de la parcela) afectando principalmente a receptores aislados como pequeñas edificaciones o parcelas industriales (Receptores 9 y 10).

Es especialmente relevante destacar que el receptor 1, correspondiente al núcleo urbano de Titulcia, no presenta afectación significativa en ninguno de los escenarios (horario, diario o anual), ni para ninguno de los contaminantes evaluados.

Todos los valores de concentración obtenidos se mantienen dentro de los límites establecidos por la normativa vigente, y las zonas más afectadas se encuentran alejadas de áreas densamente pobladas.

6.1. Evaluación en receptores singulares

Con objeto de complementar el análisis general de dispersión, se ha realizado una evaluación específica en receptores singulares, definidos como puntos de especial interés por su carácter poblacional o ambiental. En total, se han considerado 14 ubicaciones, de las cuales 10 corresponden a zonas pobladas y 4 a espacios naturales protegidos.

El análisis de los resultados muestra que, de forma general, los mayores niveles de inmisión se registran en los receptores de carácter natural, debido principalmente a su mayor proximidad a la instalación. En particular, destaca el Parque Regional del Sureste como el receptor con mayor contribución modelizada, seguido del hábitat de interés comunitario HIC 5210, ambos situados en el entorno inmediato de la parcela.

En cuanto a los receptores asociados a zonas pobladas, el municipio de Titulcia, localizado a menos de 1 km de la instalación, presenta los valores más elevados dentro de este grupo, si bien estos se mantienen en niveles muy reducidos. A continuación, se sitúan Villacanejos y la zona de Nuevo Chinchón, donde se registran concentraciones ligeramente superiores al resto de núcleos analizados. Para el resto de las ubicaciones pobladas consideradas, la afección resulta prácticamente despreciable.

En cualquier caso, es importante destacar que para todos los contaminantes evaluados y en todos los periodos de análisis (horario, diario y anual), las concentraciones obtenidas en los receptores singulares se mantienen por debajo de los límites establecidos por la normativa aplicable.

Estos resultados confirman que la implantación de la instalación no supone un impacto significativo sobre los núcleos de población ni sobre los espacios naturales de especial protección del entorno.

7. RESUMEN GLOBAL DE EMISIONES Y CUMPLIMIENTO DE LÍMITES (CONTRIBUCIÓN DE LA INSTALACIÓN)

A continuación, se presenta una síntesis comparativa entre las concentraciones ambientales obtenidas mediante la modelización y los valores límite de calidad del aire aplicables. Para cada contaminante se contrastan los niveles resultantes del modelo AERMOD, correspondientes a la contribución de la instalación, frente a los límites establecidos en la Directiva (UE) 2024/2881, normativa que sustituirá al vigente RD 102/2011 y que será de obligado cumplimiento a partir del año 2030. Esta Directiva introduce criterios notablemente más estrictos en materia de calidad del aire, reforzando la protección de la salud humana mediante la reducción de los valores máximos admisibles.

En aquellos contaminantes para los que la Directiva (UE) 2024/2881 no fija límites —como determinados metales, el mercurio, las dioxinas y furanos o algunos compuestos ácidos— se han adoptado valores guía de referencia procedentes de organismos internacionales de reconocido prestigio, como la Organización Mundial de la Salud (OMS) o la Agencia Federal Alemana de Medio Ambiente (UBA), garantizando así la aplicación de criterios conservadores y exigentes.

El análisis comparado muestra que todos los contaminantes modelizados cumplen holgadamente los valores de referencia, tanto los de carácter legal como los de carácter sanitario. Incluso en los casos más restrictivos, las concentraciones obtenidas se sitúan varios órdenes de magnitud por debajo de los niveles máximos permitidos. Este resultado es coherente con el enfoque conservador adoptado en el estudio —considerando operación continua a plena carga, emisiones conforme a los valores más exigentes de las MTD y condiciones meteorológicas representativas del emplazamiento— y confirma que el impacto atmosférico previsto es muy reducido.

En conjunto, los resultados permiten afirmar que la instalación proyectada no compromete la calidad del aire ni la protección de la salud humana, incluso bajo el escenario normativo más exigente previsto para el horizonte 2030. La tabla siguiente resume de forma estructurada los niveles de inmisión obtenidos, los valores límite de referencia y el grado de cumplimiento para cada contaminante.

Contaminante	Directiva de emisión	Nivel de emisión por línea (mg/Nm ³)	Emisiones totales (2 líneas) (kg/año)	Límite de concentración	Directiva/Organización	Nivel límite permitido (µg/m ³)	Resultado AERMOD (µg/m ³)	¿Cumple los límites?
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	RD 815/2013	97% - 50 100% - 400	111.660,9	Horario	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado cumplimiento a partir de 2030)	200 (máx 3 superaciones por año)	0 superaciones (máx. 72,33 µg/m ³)	✓
	MTDs	50	92.281,7	Diario	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado cumplimiento a partir de 2030)	50 (máx. 18 superaciones por año)	0 superaciones (máx. 3,72 µg/m ³)	✓
	MTDs	50	92.281,7	Anual	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado cumplimiento a partir de 2030)	20	0,35	✓
Partículas PM ₁₀	MTDs	1	1.845,6	Diario	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado cumplimiento a partir de 2030)	45 (máx 18 veces al año)	0 superaciones (máx. 0,074 µg/m ³)	✓
	MTDs	1	1.845,6	Anual	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado cumplimiento a partir de 2030)	20	0,00703	✓
Partículas PM _{2,5}	MTDs	1	1.845,6	Diario	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado cumplimiento a partir de 2030)	25 (máx 18 veces al año)	0 superaciones (máx. 0,074 µg/m ³)	✓

	MTDs	1	1.845,6	Anual	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado cumplimiento a partir de 2030)	10	0,00703	✓
Dióxido de azufre (SO ₂)	RD 815/2013	97% - 5 100% - 200	20.025,1	Horario	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado cumplimiento a partir de 2030)	350 (máx 3 superaciones año)	0 superaciones (máx. 36,16 µg/m ³)	✓
	MTDs	5	9.228,2	Diario	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado cumplimiento a partir de 2030)	50 (máx 18 superaciones año)	0 superaciones (máx. 0,37 µg/m ³)	✓
	MTDs	5	9.228,2	Anual	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado cumplimiento a partir de 2030)	20	0,0354	✓
Benceno (COV)	MTDs	0,03	55,4	Anual	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado cumplimiento a partir de 2030)	3,4	0,00024	✓
Benzo(a)pireno (COV)	European Environment Agency (EEA)	0,0014 µg/m ³	2,6	Anual	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado cumplimiento a partir de 2030)	1 ng/Nm ³	0,00001 ng/m ³	✓
Plomo	EEA	0,010	18,1	Anual	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado cumplimiento a partir de 2030)	0,5	0,00007	✓
Arsénico	EEA	0,001	1,9	Anual	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado	0,006	0,00001	✓

					cumplimiento a partir de 2030)			
Cadmio	EEA	0,0008	1,4	Anual	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado cumplimiento a partir de 2030)	0,005	0,00001	✓
Níquel	EEA	0,004	6,7	Anual	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado cumplimiento a partir de 2030)	0,02	0,00003	✓
Mercurio (Hg)	MTDs	0,005	9,2	Anual	Agencia Federal Alemana de Medio Ambiente (UBA)	0,2	0,00004	✓
Dioxinas y Furanos	MTDs	0,01 ng/Nm ³	0,00002	Diario	Ontario	5 pg/m ³	0,00075	✓
				Anual	Japón	0,6 pg/m ³	0,00007	✓
Monóxido de Carbono (CO)	RD 815/2013	97% - 10 100% - 100	23.439,6	Octohorario	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado cumplimiento a partir de 2030)	10.000	3,8	✓
	MTDs	10	18.456,3	Diario	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado cumplimiento a partir de 2030)	4.000	0,75	✓
Amoníaco (NH ₃)	MTDs	2	3.691,3	Anual	OMS	50	0,014	✓
Cloruro de Hidrógeno (HCl)	MTDs	2	3.691,3	Anual	OMS	20	0,014	✓

Fluoruro de Hidrógeno (HF)	MTDs	1	1.845,6	Anual	Agencia Federal Alemana de Medio Ambiente (UBA)	0,5	0,007	
----------------------------	------	---	---------	-------	---	-----	-------	---

Tabla 38. Resumen Global de Emisiones y cumplimiento de límites atribuibles a la instalación

7.1. Resumen del cumplimiento con concentración de fondo

De forma complementaria al análisis de la contribución individual de la instalación, se presentan a continuación los resultados obtenidos al considerar la concentración total en aire ambiente, resultante de la suma de la contribución modelizada mediante AERMOD y los niveles de fondo registrados en la zona de estudio.

Este análisis se ha realizado exclusivamente para aquellos contaminantes que disponen de datos representativos en las estaciones de la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire de la Comunidad de Madrid, seleccionadas en el apartado 3.7. En concreto, se han considerado los siguientes contaminantes: óxidos de nitrógeno (NO_x), partículas PM₁₀ y partículas PM_{2,5}.

La comparación se realiza frente a los valores límite establecidos en la Directiva (UE) 2024/2881, considerando en este caso la concentración total (fondo + contribución de la instalación), lo que permite evaluar el impacto de la planta en un escenario más realista y representativo de las condiciones ambientales existentes.

Los resultados obtenidos muestran que, incluso bajo este enfoque conservador, los niveles de inmisión total se mantienen por debajo de los valores límite aplicables en todos los casos analizados. Cabe destacar que la contribución de la instalación resulta muy reducida en comparación con los niveles de fondo, los cuales representan el principal componente de la concentración total.

En consecuencia, se concluye que la implantación de la instalación es compatible con el cumplimiento de los objetivos de calidad del aire, sin que se produzcan superaciones de los límites normativos ni afecciones significativas sobre el entorno.

Contaminante	Directiva de emisión	Nivel de emisión (mg/Nm ³)	Límite de concentración	Directiva/Organización	Nivel límite permitido (µg/m ³)	Concentración de fondo (µg/m ³)	Resultado AERMOD (µg/m ³)	¿Cumple los límites?
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	MTDs	50	Diario	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado cumplimiento a partir de 2030)	50 (máx. 18 superaciones por año)	35	0 superaciones (máx. 36,8)	✓
	MTDs	50	Anual	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado cumplimiento a partir de 2030)	20	16,85	17,19	✓
Partículas PM ₁₀	MTDs	1	Diario	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado cumplimiento a partir de 2030)	45 (máx 18 veces al año)	24,5	0 superaciones (máx. 24,56)	✓
	MTDs	1	Anual	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado cumplimiento a partir de 2030)	20	16,5	16,51	✓
Partículas PM _{2,5}	MTDs	1	Diario	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado cumplimiento a partir de 2030)	25 (máx 18 veces al año)	12,5	0 superaciones (máx. 12,53)	✓
	MTDs	1	Anual	Directiva (UE) 2024/288 (de obligado cumplimiento a partir de 2030)	10	9,62	9,63	✓

Tabla 39. Resumen Global de Emisiones y cumplimiento de límites considera las concentraciones de fondo

8. COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES

En el presente informe se han recopilado y analizado los métodos, datos y resultados del estudio de modelización de la calidad del aire asociado al funcionamiento del futuro Centro de Tratamiento de Residuos “Jarama” proyectado en el término municipal de Titulcia. Aunque la instalación se encuentra aún en fase de diseño y las ubicaciones definitivas de los focos emisores podrían ajustarse ligeramente en fases posteriores, la modelización se ha realizado a partir de un layout preliminar georreferenciado e integrado en el modelo de dispersión AERMOD, junto con la topografía y las características del emplazamiento.

El estudio se ha desarrollado considerando valores de emisión representativos de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD, 2019), lo que refleja un escenario realista de funcionamiento de este tipo de instalaciones. Asimismo, la evaluación de la calidad del aire se ha realizado conforme a la Directiva (UE) 2024/2881, que será de obligado cumplimiento a partir de 2030 y establece límites más estrictos que la normativa actualmente vigente, reforzando así el carácter conservador del análisis.

Para aquellos contaminantes sin valores límite definidos en dicha Directiva —como mercurio, amoníaco, HCl, HF o dioxinas y furanos— se han empleado valores guía de organismos internacionales de referencia, como la Organización Mundial de la Salud (OMS) o la Agencia Federal Alemana de Medio Ambiente (UBA), garantizando un enfoque riguroso y orientado a la protección de la salud pública.

Se han modelizado de forma individualizada todos los contaminantes relevantes, incluyendo óxidos de nitrógeno (NO₂), partículas (PM₁₀ y PM_{2,5}), dióxido de azufre (SO₂), compuestos orgánicos volátiles (incluyendo benceno y benzo(a)pireno), metales pesados, mercurio, compuestos ácidos, amoníaco, monóxido de carbono y dioxinas y furanos.

Los resultados obtenidos muestran que, con una altura de chimenea de 70 metros y bajo condiciones meteorológicas representativas del emplazamiento, ningún contaminante supera los valores límite de calidad del aire, ni en promedio anual, ni en periodos diarios u horarios. Las concentraciones calculadas son, en general, muy reducidas:

- Solo algunos contaminantes como el NO₂ o el HF alcanzan valores ligeramente superiores al 1% del límite de inmisión, sin superar en ningún caso el 2%.
- El resto de contaminantes se sitúa muy por debajo del 1% de los valores de referencia.
- En determinados casos, las concentraciones son tan bajas que no permiten representar isolíneas en el modelo, lo que evidencia la escasa magnitud del impacto.

El análisis específico en receptores singulares, incluyendo núcleos de población y espacios naturales protegidos, confirma estos resultados. Los valores más elevados se registran en los receptores más próximos a la instalación, principalmente en zonas naturales como el Parque Regional del Sureste y determinados hábitats de interés comunitario. No obstante, incluso en estos casos, las concentraciones se mantienen muy por debajo de los límites aplicables. En cuanto a los núcleos

urbanos, el municipio de Titulcia presenta la mayor contribución relativa, seguido de otras localidades cercanas, si bien la afección en todos los casos resulta muy reducida y no significativa.

Adicionalmente, se ha llevado a cabo un análisis considerando la concentración de fondo para aquellos contaminantes con datos disponibles en la red de calidad del aire (NO_x, PM₁₀ y PM_{2,5}). Este enfoque, más representativo de las condiciones reales, muestra que la contribución de la instalación es marginal frente a los niveles de fondo existentes, los cuales constituyen el principal componente de la concentración total. Incluso bajo este escenario más exigente, no se producen superaciones de los valores límite establecidos.

En conjunto, los resultados confirman que la planta proyectada no representa un impacto significativo sobre la calidad del aire ni sobre la salud humana, ni en condiciones de operación normal ni en escenarios conservadores de evaluación. La instalación cumple ampliamente con la normativa vigente y futura, garantizando un elevado nivel de protección ambiental.

En conclusión, la implantación de la planta de valorización energética es ambientalmente viable desde el punto de vista de la calidad del aire, presentando un impacto atmosférico muy reducido tanto a escala local como en los receptores más sensibles del entorno.