



Interreg
España - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



UNIÃO EUROPEIA
UNIÓN EUROPEA

REHAB
Ind

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE Y RUIDO

COMPONENTE AMBIENTAL DEL PROYECTO REHABIND



CONTENIDO

1	INTRODUCCION	1
2	CALIDAD DEL AIRE EN POLÍGONOS INDUSTRIALES	3
2.1	PROBLEMATICA DE LA CONTAMINACION DEL AIRE	3
2.2	PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AIRE Y SUS EFECTOS	4
2.2.1	MONÓXIDO DE CARBONO	5
2.2.2	ÓXIDOS DE NITRÓGENO	5
2.2.3	COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES	5
2.2.4	OZONO TROPOSFÉRICO	6
2.2.5	MATERIAL PARTICULADO	7
2.2.6	EFECTOS SOBRE LA SALUD	9
2.3	MEDIDAS DE CONTROL Y MINIMIZACIÓN	9
2.4	MARCO JURÍDICO	10
3	AMBIENTE ACÚSTICO EN LOS POLÍGONOS INDUSTRIALES	12
3.1	PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA	12
3.2	MEDIDAS DE CONTROL Y MINIMIZACIÓN	12
3.3	MARCO JURÍDICO	14
4	MATERIALES Y MÉTODOS	16
4.1	CARACTERIZACIÓN DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO	16
4.2	DESCRIPCION METODOLOGICA	17
4.3	MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE	18
4.4	MONITOREO DEL AMBIENTE ACUSTICO	21
4.5	MONITOREO METEOROLÓGICO	22
5	RESULTADOS	23
5.1	CALIDAD DEL AIRE	23
5.1.1	SERIES DE TIEMPO	23
5.1.2	CORRELACIÓN ENTRE CONTAMINANTES	25
5.1.3	NIVELES CRÍTICOS DE EXPOSICIÓN AL OZONO	26
5.1.4	MUESTREO PASIVO NO ₂ E O ₃	28
5.1.5	MUESTREO PASIVO COVS	29
5.1.6	MEDICIÓN CONTINUA PM _{2.5}	32
5.1.7	MUESTREO MÓVIL PM _{2.5}	33
5.2	RUIDO AMBIENTAL	34
5.2.1	MUESTREO CONTÍNUO	34
5.2.2	CAMPAÑAS Y MAPAS DE RUIDO	35
6	CONSIDERACIONES FINALES	52
7	REFERÊNCIAS	54

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESQUEMA DEL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA CON LA INDICACIÓN DE LOS PROCESOS QUE INFLUYEN EN CADA UNO DE LOS ELEMENTOS. ADAPTADO [26].	4
FIGURA 2 - MECANISMOS DE FORMACIÓN DE OZONO TROPOSFÉRICO. ADAPTADO [5, 49].	7
FIGURA 3 – ESQUEMA IDEALIZADO DE DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS EN LA ATMÓSFERA CON INDICACIÓN DE LOS PRINCIPALES MECANISMOS DE FORMACIÓN Y ELIMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO. ADAPTADO [25].	8
FIGURA 4 - ELEMENTOS BÁSICOS DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA.	13
FIGURA 5 – MARCO GEOGRÁFICO DEL POLÍGONO INDUSTRIAL DE MIRANDELA.	16
FIGURA 6 – MARCO GEOGRÁFICO DEL POLÍGONO INDUSTRIAL DE HINIESTA EN ZAMORA.	17
FIGURA 7 – DIAGRAMA METODOLÓGICO DO PROJETO REHABIND	17
FIGURA 8 – SISTEMA DE MONITOREO DE GAS. (IZQUIERDA) SISTEMA DE ENTRADA DE AIRE RESPONSABLE DE APOYAR Y PROTEGER LOS TUBOS DE SUCCIÓN DE AIRE AMBIENTE HASTA LOS ANALIZADORES; (CENTRO) ARMARIO RACK DE LOS ANALIZADORES; (DERECHA) DISPOSICIÓN DE LOS ANALIZADORES DE GAS DENTRO DEL ARMARIO.	18
FIGURA 9 – MÉTODO UTILIZADO DURANTE LAS CAMPAÑAS DE MEDICIÓN DE PARTÍCULAS, QUE MUESTRA EL MONITOR DE PARTÍCULAS THERMO ADR-1200S (AMPLIADO) MONTADO EN UNA CAMIONETA.	19
FIGURA 10 – MONITOR CONTINUO DE MATERIAL PARTICULADO PM _{2.5}	20
FIGURA 11 – MÉTODO DE MUESTREO PASIVO; (IZQUIERDA) REFUGIO FIJADO EN UNO DE LOS LUGARES DE MEDICIÓN; (CENTRO) VISTA DEL REFUGIO EN DETALLE; (DERECHA) REFUGIO SIN LA CUBIERTA SUPERIOR QUE MUESTRA CÓMO SE COLOCAN LOS TUBOS PASIVOS EN EL INTERIOR.	20
FIGURA 12 – EQUIPO UTILIZADO PARA LAS CAMPAÑAS DE MEDICIÓN DEL RUIDO. (IZQUIERDA) SONÓMETRO JUNTO AL CONJUNTO DE ACCESORIOS UTILIZADOS; (DERECHA) ILUSTRACIÓN DE LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN	21
FIGURA 13 – SISTEMA DE MONITOREO DE RUIDO CONTINUO. (IZQUIERDA) SENSOR DE RUIDO CON SUS COMPONENTES; (DERECHA) SISTEMA INSTALADO EN EL CAMPO.	21
FIGURA 14 – ESTACIÓN METEOROLÓGICA INSTALADA CON LA INDICACIÓN DE LOS PRINCIPALES SENSORES.	22
FIGURA 15 – SERIES TEMPORALES DE LA CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES DURANTE LOS MESES ESTUDIADOS.	23
FIGURA 16 – PERFILES SEMANALES DE CONTAMINANTES MONITOREADOS PARA CADA POLÍGONO INDUSTRIAL.	24
FIGURA 17 – NIVELES DE EXPOSICIÓN ACUMULADA DE OZONO SUPERIOR A UN UMBRAL DE 40 PPB U 80 µG / M ³ (AOT40) PARA BOSQUES Y VEGETACIÓN.	27
FIGURA 18 – NIVELES DE EXPOSICIÓN ACUMULADA DE OZONO SUPERIOR A UN UMBRAL DE 60 PPB O 120 µG/M ³ (AOT60) PARA MIRANDELA.	27
FIGURA 19 - NIVELES DE EXPOSICIÓN ACUMULADA DE OZONO SUPERIOR A UN UMBRAL DE 60 PPB O 120 µG/M ³ (AOT60) PARA ZAMORA.	28
FIGURA 20 – MUESTREO PASIVO DE OZONO Y DIÓXIDO DE NITRÓGENO. LOS MAPAS DE LA IZQUIERDA CORRESPONDEN A LOS MUESTREOS REALIZADOS EN EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE MIRANDELA Y LOS MAPAS DE LA DERECHA CORRESPONDEN A LOS MUESTREOS REALIZADOS EN EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE HINIESTA EN ZAMORA. LOS MAPAS SUPERIORES MUESTRAN LAS CONCENTRACIONES DE OZONO, MIENTRAS QUE LOS MAPAS INFERIORES MUESTRAN LOS RESULTADOS DEL DIÓXIDO DE NITRÓGENO. LA PRIMERA CAMPAÑA ESTÁ MARCADA EN AZUL Y LA SEGUNDA CAMPAÑA EN VERDE.	29
FIGURA 21 – MUESTREO PASIVO DE COVs REALIZADO EN MIRANDELA CON LA IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN Y LOS PRINCIPALES COVs Y SUS CONCENTRACIONES.	30

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 22 – MUESTREO PASIVO DE COVs REALIZADO EN ZAMORA CON LA IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN Y LOS PRINCIPALES COVs Y SUS CONCENTRACIONES.....	31
FIGURA 23 – CONCENTRACIONES DE PM _{2.5} OBSERVADAS DURANTE EL MONITOREO CONTINUO EN MIRANDELA. EL GRÁFICO SUPERIOR CORRESPONDE AL PERFIL DIARIO, MIENTRAS QUE EL GRÁFICO INFERIOR MUESTRA LOS PROMEDIOS DIARIOS.	33
FIGURA 24 – MUESTREO MÓVIL DE PM _{2.5} . LOS MAPAS DE LA IZQUIERDA CORRESPONDEN A LOS MUESTREOS REALIZADOS EN EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE MIRANDELA Y LOS MAPAS DE LA DERECHA CORRESPONDEN A LOS MUESTREOS REALIZADOS EN EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE HINIESTA EN ZAMORA. LOS MAPAS SUPERIORES MUESTRAN LAS CONCENTRACIONES DE PM _{2.5} DURANTE EL DÍA, MIENTRAS QUE LOS MAPAS INFERIORES MUESTRAN LA CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS EN EL PERIODO NOCTURNO.	34
FIGURA 25 – INDICADORES DE RUIDO NOCTURNO (LN) Y RUIDO DIA-TARDE-NOCHE (LDEN) ENTRE FEBRERO Y SEPTIEMBRE DE 2019 PARA MIRANDELA Y ZAMORA RESPECTIVAMENTE.....	35
FIGURA 26 – PERFIL SEMANAL DE NIVELES DE PRESIÓN SONORA. EL GRÁFICO SUPERIOR MUESTRA LOS VALORES DE MIRANDELA, MIENTRAS QUE EL GRÁFICO INFERIOR MUESTRA LOS VALORES DE ZAMORA.....	36
FIGURA 27 – INDICADORES DE RUIDO NOCTURNO (LN) Y DIA-TARDE-NOCHE (LDEN) OBTENIDOS DE CAMPAÑAS DE MEDICIÓN DE RUIDO PARA VARIOS PUNTOS EN EL POLÍGONO INDUSTRIAL. LOS MAPAS A LA IZQUIERDA CORRESPONDEN A LOS INDICADORES DEL POLÍGONO INDUSTRIAL DE MIRANDELA Y LOS MAPAS A LA DERECHA A LOS INDICADORES DEL POLÍGONO INDUSTRIAL DE HINIESTA EN ZAMORA.....	37
FIGURA 28 – LDEN GLOBAL PARA EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE MIRANDELA	40
FIGURA 29 – LN GLOBAL PARA EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE MIRANDELA	41
FIGURA 30 - LDEN TRÁFICO PARA EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE MIRANDELA.....	42
FIGURA 31 - LN TRÁFICO PARA EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE MIRANDELA.....	43
FIGURA 32 - LDEN GLOBAL COM LAS INTERVENCIONES PARA EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE MIRANDELA.....	44
FIGURA 33 - LN GLOBAL COM LAS INTERVENCIONES PARA EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE MIRANDELA.....	45
FIGURA 34 – LDEN GLOBAL PARA EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE HINIESTA EN ZAMORA.....	46
FIGURA 35 – LN GLOBAL PARA EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE HINIESTA EN ZAMORA.....	47
FIGURA 36 – LDEN TRÁFICO PARA EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE HINIESTA EN ZAMORA	48
FIGURA 37 – LN TRÁFICO PARA EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE HINIESTA EN ZAMORA	49
FIGURA 38 – LDEN GLOBAL CON LAS INTERVENCIONES PARA EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE HINIESTA EN ZAMORA.....	50
FIGURA 39 - LN GLOBAL CON LAS INTERVENCIONES PARA EL POLÍGONO INDUSTRIAL DE HINIESTA EN ZAMORA.....	51

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 - LÍMITES ESTABLECIDOS PARA LOS CONTAMINANTES ESTUDIADOS	10
TABLA 1 – PERÍODO DE REFERÊNCIA PARA MEDIÇÃO DOS INDICADORES DIURNO, ENTARDECER E NOTURNO.....	15
TABLA 2 – LÍMITES LEGAIS ESTABELECIDOS PARA CADA UMA REGIÕES ESTUDADAS	15
TABLA 4 – COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN ENTRE PROMEDIOS HORARIOS DE CO, NO, NO ₂ , NO _x , O ₃ Y PARÁMETROS METEOROLÓGICOS PARA CADA UNO DE LOS POLÍGONOS INDUSTRIALES ESTUDIADAS	25

FICHA TÉCNICA

AUTORES

Artur Gonçalves	Instituto Politécnico de Bragança
Manuel Feliciano	Instituto Politécnico de Bragança
Leonardo Campestrini Furst	Instituto Politécnico de Bragança
Pedro Henrique Presumido	Instituto Politécnico de Bragança

SOPORTE TÉCNICO

Rafaela Alves	Instituto Politécnico de Bragança
Milena Ianela	Instituto Politécnico de Bragança
Kelly Fiorino	Instituto Politécnico de Bragança
Arsénio Araújo	Instituto Politécnico de Bragança

FINANCIACIÓN

Este proyecto se desarrolló en el marco del Programa de Cooperación Transfronteriza España - Portugal financiado con fondos del FEDER, a través del programa Interreg V-A España-Portugal (POCTEP) 2014-2020.

SOCIOS

ICCL: Instituto de la Construcción de Castilla y León.	www.iccl.es/
FPNCyL: Fundación Patrimonio Natural de Castilla y León.	www.patrimonionatural.org/
IPB: Instituto Politécnico de Bragança.	www.ipb.pt/
INCOSA: Investigación y Control de Calidad, S.A.	www.incosa.es/
Ayuntamiento de Zamora	www.zamora.es/
Município de Mirandela	www.cm-mirandela.pt/

Contacto a través del formulario vía <https://www.rehabind.com/contacto>

Se permite la reproducción parcial o total de esta publicación para uso educativo o no comercial sin la autorización previa de los editores, siempre que se cite explícitamente la fuente completa.

Las opiniones expresadas en esta publicación son responsabilidad exclusiva de los autores. La Comisión Europea y las Autoridades del Programa no son responsables del uso que pueda hacerse de la información aquí contenida.

VISIÓN GENERAL



Interreg
España - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



REHAB
Ind

El proyecto RehabInd fue diseñado con el objetivo de promover la rehabilitación sostenible y la revitalización de las áreas industriales. Para este fin, el proyecto contó con la cooperación de varias entidades de iniciativa privada, universidad y organismos públicos, responsables de caracterizar y analizar los aspectos ambientales, económicos y sociales relacionados con las áreas industriales de Mirandela (Portugal) y Zamora (España) y así permitir el desarrollo de acciones dirigidas a la sostenibilidad medioambiental, la eficiencia energética, la mejora del entorno urbano y la regeneración del tejido empresarial.

Este documento informa sobre el componente ambiental del proyecto RehabInd, exponiendo públicamente las acciones desarrolladas durante el proyecto, destinadas a monitorear la calidad del aire y los niveles de ruido en las áreas industriales de Mirandela y Zamora.



1 INTRODUCCION

El aumento de la población mundial asociado con la elevada tasa de urbanización genera impactos en el suelo, el agua y el aire y acelera el consumo de recursos naturales, al ampliar la producción de bienes y servicios para satisfacer las necesidades mundiales. Ante esta realidad, el aumento del tráfico por carretera, la expansión industrial y la supresión de la vegetación son factores de degradación de la calidad ambiental que son muy importantes en los centros urbanos.

En este contexto, se han instalado polígonos industriales, que se concentran en un espacio limitado, actividades humanas que potencialmente tienen impactos ambientales significativos [1]. Según la UNIDO (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial), un parque industrial se define como una porción de tierra subdividida en lotes, que proporciona infraestructura vial y servicios públicos para un grupo de industriales. Al mismo tiempo que la concentración de industrias en un solo lugar favorece la contaminación ambiental, también facilita el monitoreo y la aplicación de medidas para controlar los impactos ambientales, ya que las fuentes se concentran en un espacio limitado y conocido.

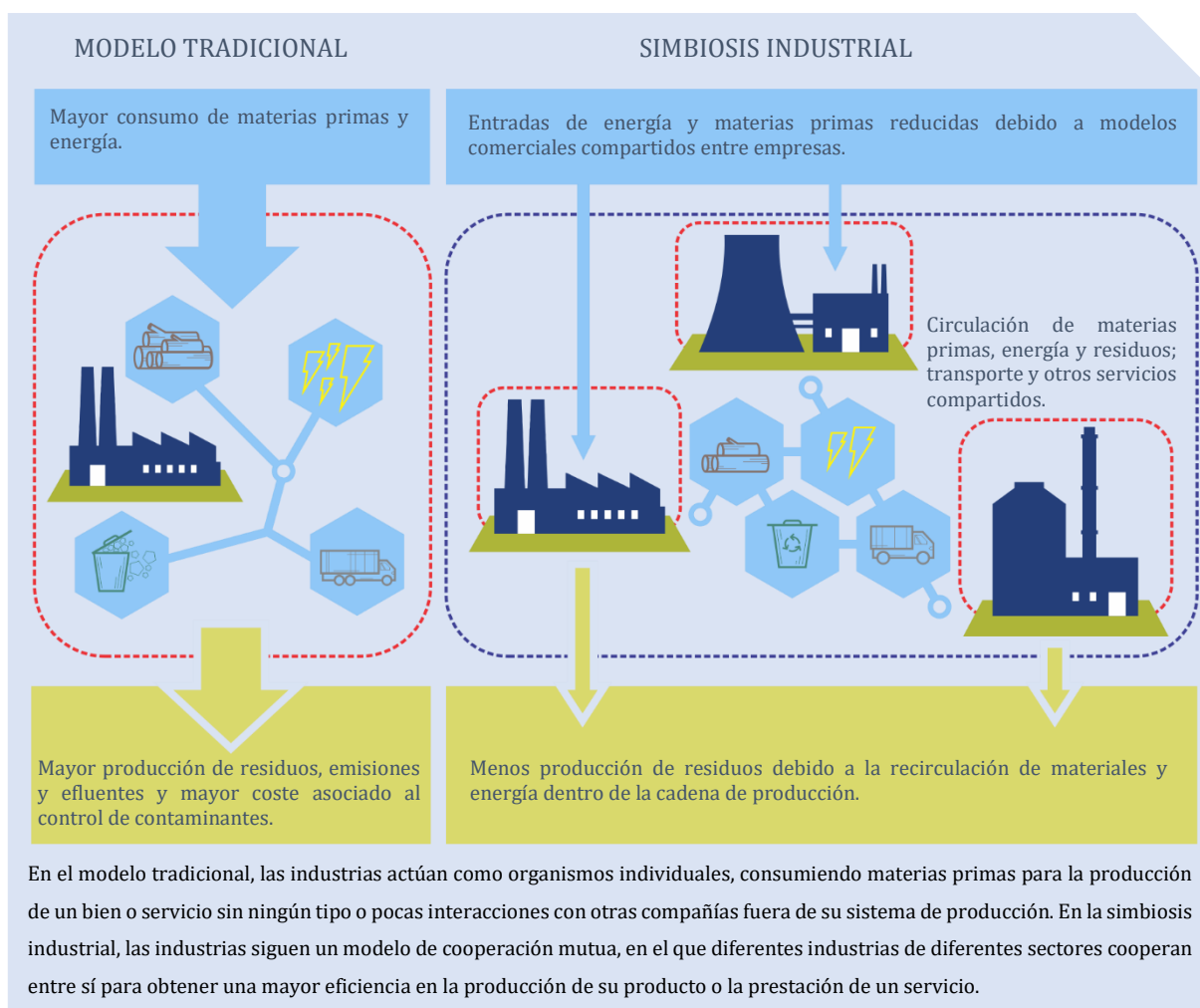
De los diversos tipos de impactos medioambientales asociados con los polígonos industriales, la contaminación del aire y el ruido son los dos componentes que más perjudican la calidad de vida [2]. Por lo tanto, el monitoreo de estas variables es sumamente importante para la evaluación de los riesgos asociados y para el desarrollo de medidas de control. En los polígonos industriales, el monitoreo de la calidad del aire y el ruido es aún más importante, ya que los diversos procesos y actividades industriales pueden contribuir a las emisiones atmosféricas y al aumento de los niveles de ruido tanto dentro como alrededor del polígono industrial [3, 4].

La contaminación del aire y el ruido ambiental tienen varios efectos adversos en la salud humana, entre los cuales el ozono troposférico tiene una importancia especial, ya que es un oxidante químico fuerte. El ozono es un contaminante secundario, ya que su presencia en la atmósfera es el resultado en su mayor parte de reacciones fotoquímicas que contienen óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles en presencia de la luz solar [5]. Así pues, el control de la producción de ozono depende del control de sus precursores, que normalmente, en las regiones urbanas, proceden de las emisiones viales e industriales.

Una de las formas de reducir los impactos generados por un parque industrial es la transición a un parque eco-industrial (PEI). Los parques eco-industriales utilizan el concepto

de simbiosis industrial como modelo de organización, cooperación y sostenibilidad. La simbiosis industrial, como en la biología, se refiere a diferentes organismos que establecen una asociación para obtener beneficios que no serían posibles si estuvieran separados, en el sector industrial, implica cambiar flujos lineales a flujos circulares para obtener ventajas competitivas como compartir energía, agua, materias primas y transformar los residuos en subproductos [6–8]. Esta transición puede realizarse mediante la aplicación de la sostenibilidad ambiental dentro de los polígonos industriales, es decir, los autores deben promover la interacción y el desarrollo industrial con el sistema ambiental y social, con el objetivo de aumentar el éxito del negocio, mientras preservando el medio ambiente y teniendo en cuenta la comunidad local [7].

Este informe comprende la evaluación medioambiental del proyecto RehabInd, presentando las acciones desarrolladas y sus resultados. El objetivo central de la componente medioambiental fue la evaluación de la calidad del aire y el ruido en el Polígono Industrial de Mirandela y en el Polígono Industrial de Hiniesta en Zamora, para identificar y evaluar las principales fuentes de contaminantes primarios y evaluar los factores que afectan los niveles locales de ozono y ruido.



2 CALIDAD DEL AIRE EN POLÍGONOS INDUSTRIALES

La calidad del aire en muchos países ha sufrido una gran degradación debido al aumento de la urbanización y la industrialización de las ciudades. Este rápido desarrollo tiene el potencial de provocar cambios en el clima y afectar la salud de las personas, sea en las áreas que se encuentran en los alrededores inmediatos o en aquellas más alejadas de las fuentes de contaminación del aire. [9].

La contaminación del aire se define como una condición en la que una o más sustancias están presentes en la atmósfera en concentraciones superiores a los niveles ambientales normales o en un período de tiempo suficientemente largo para producir efectos adversos a la salud humana, animales y plantas. Por lo tanto, se reconoce que, aunque existen contaminantes producidos sólo por actividades antropogénicas, muchos resultan de procesos naturales, cuyas concentraciones en la atmósfera han aumentado debido a las acciones humanas [10, 11].

Por consiguiente, la planificación de estrategias para controlar las emisiones atmosféricas es esencial para minimizar los efectos nocivos sobre la población humana y el medio ambiente en general. Las políticas de gestión de la calidad del aire, que intentan reducir los efectos negativos de las emisiones atmosféricas, tienen como objetivo principal el mantenimiento de la calidad del aire, utilizando inventarios y monitoreo de emisiones, modelos de pronóstico de la calidad del aire, estrategias de control, y participación pública [12].

2.1 PROBLEMATICA DE LA CONTAMINACION DEL AIRE

Para comprender mejor la dinámica de un contaminante en la atmósfera y su potencial para causar algún efecto adverso, es necesario conocer las relaciones entre la fuente, el transporte y el receptor, los tres elementos básicos del problema de la contaminación del aire [13]. La Figura 1 muestra los principales elementos de este problema.

La fuente de contaminación atmosférica representa cualquier elemento capaz de emitir algún contaminante atmosférico, que puede ser natural o antropogénico, estacionario o móvil. En un polígono industrial, se identifican fuentes fijas y móviles, relacionadas con los sistemas de producción y la circulación de vehículos, respectivamente.

El receptor es cualquier organismo biótico o abiótico que sufre los efectos adversos de la contaminación del aire, incluidos humanos, animales, plantas, agua y suelo. En los organismos vivos, los efectos varían desde alergias leves hasta enfermedades crónicas graves. En los materiales ocurre la deposición de polvo y gotas ácidas, así como el contacto con

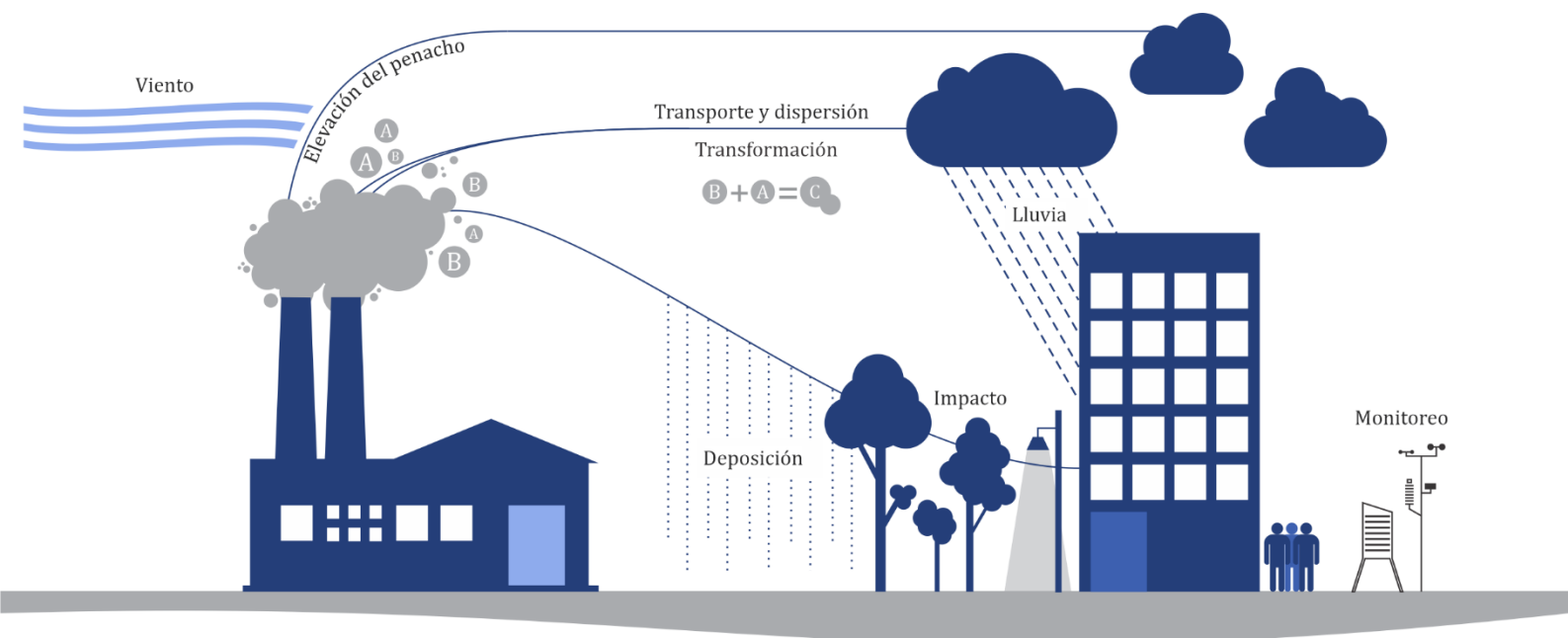


Figura 1 - Esquema del problema de la contaminación atmosférica con la indicación de los procesos que influyen en cada uno de los elementos. Adaptado [26].

contaminantes gaseosos ácidos y oxidantes que pueden degradar la superficie, y los cuerpos de agua y suelo pueden sufrir problemas de acidificación debido a la deposición ácida. El transporte corresponde a los mecanismos que mueven el contaminante de la fuente al receptor, influenciados por diversos factores meteorológicos. En el camino, un contaminante puede sufrir varios cambios que definirán su destino final, y también puede reaccionar en la atmósfera para producir otros contaminantes, o ser depositado por la acción de la lluvia, nieve y el transporte turbulento desde la atmósfera inferior.

2.2 PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AIRE Y SUS EFECTOS

Los contaminantes del aire pueden clasificarse como primarios y secundarios según su origen. Los contaminantes primarios son emitidos directamente por la fuente y normalmente están presentes en la atmósfera, como el monóxido de carbono, el dióxido de nitrógeno, las partículas y los compuestos orgánicos volátiles (COVs). Los contaminantes secundarios, por lo contrario, se forman en la atmósfera como resultado de reacciones químicas entre contaminantes primarios, como el ozono, que se produce por reacciones de oxidación fotoquímica, en particular, entre los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles [14]. Una gran fracción del dióxido de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles y parte del material particulado también se origina en reacciones que ocurren en la atmósfera.

2.2.1 MONÓXIDO DE CARBONO

El monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro e insípido, emitido principalmente por procesos de combustión incompleta, de cualquier combustible carbonoso, donde la concentración de oxígeno es baja. Las principales fuentes de monóxido de carbono están vinculadas a vehículos con un motor de combustión interna, procesos industriales y quema de biomasa [15]. Como se observó en las reacciones con COVs, el monóxido de carbono provoca la formación del radical hidropéroxilo (HO_2), que conduce a la formación de ozono.

2.2.2 ÓXIDOS DE NITRÓGENO

Entre los óxidos de nitrógeno existentes, solo el monóxido (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2) son contaminantes primarios, aunque el último tiene un origen predominantemente secundario. Los óxidos de nitrógeno son emitidos por cualquier proceso de combustión que utiliza aire como oxidante o cuyo combustible contiene nitrógeno en su composición. También se liberan a la atmósfera a partir de procesos naturales, como la quema de biomasa, la actividad microbiana en los suelos y una pequeña contribución de las descargas eléctricas y la oxidación del óxido nitroso (N_2O) en la estratosfera. [16, 17].

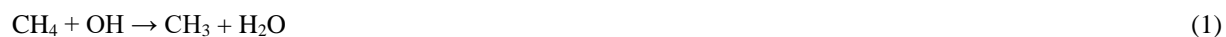
Los óxidos de nitrógeno favorecen la producción de ozono, pero no conducen por sí mismos a altas concentraciones de este contaminante, ya que el ozono formado se destruye fácilmente en presencia de óxido nítrico. Sin embargo, en presencia de otros gases precursores, como el monóxido de carbono y los compuestos orgánicos volátiles, se forman otras sustancias químicas muy reactivas que sustituyen al ozono en interacción con el NO y desencadenan una producción de ozono más intensiva. Además del ozono, el dióxido de nitrógeno favorece la formación de radicales hidroxilo y, por consiguiente, la síntesis de ácido nítrico (HNO_3), que es el principal mecanismo para eliminar el dióxido de nitrógeno en la atmósfera [16, 17].

2.2.3 COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES

Los compuestos orgánicos volátiles se emiten tanto de fuentes naturales [18, 19] como antropogénicas [20]. La Directiva 2004/42 / CE del Parlamento Europeo y del Consejo define los COV como "un compuesto orgánico cuyo punto de ebullición inicial, a una presión normal de 101.3 kPa, es menor o igual a 250 °C".

El metano es el COV más simple existente y las reacciones 1 a 7 representan su degradación en la troposfera y la formación de ozono. Como se discutió anteriormente, los óxidos de nitrógeno establecen una relación de equilibrio en la atmósfera que se ve afectada en presencia de COVs. Los COVs participan en reacciones fotoquímicas que conducen a la

formación de radicales hidroperoxilo (HO_2) y organoperoxilo (RO_2), que reaccionan con el NO , como se ha mencionado antes, convirtiéndolo en NO_2 y, en consecuencia, conduce a la formación de ozono como se muestra con el siguiente mecanismo reactivo que involucra el metano [21].



2.2.4 OZONO TROPOSFÉRICO

El ozono (O_3) es un contaminante secundario y un fuerte oxidante fotoquímico cuando presente en la troposfera. Su presencia en la capa superficial de la atmósfera está condicionada a la presencia de otros gases que, por intermedio de una serie de reacciones químicas y fotoquímicas, lo originan. Los principales gases precursores del ozono son compuestos orgánicos volátiles no metánicos, óxidos de nitrógeno y el metano, que, a pesar de ser menos reactivos que otros COVs, debido a su alta concentración en la atmósfera contribuye significativamente a la formación del ozono troposférico [22].

La Figura 2 muestra las principales reacciones de la formación de ozono en la troposfera, donde la imagen superior muestra la formación de ozono en presencia de NO_x y CO , y en la imagen inferior su formación en presencia de COVs y NO_x .

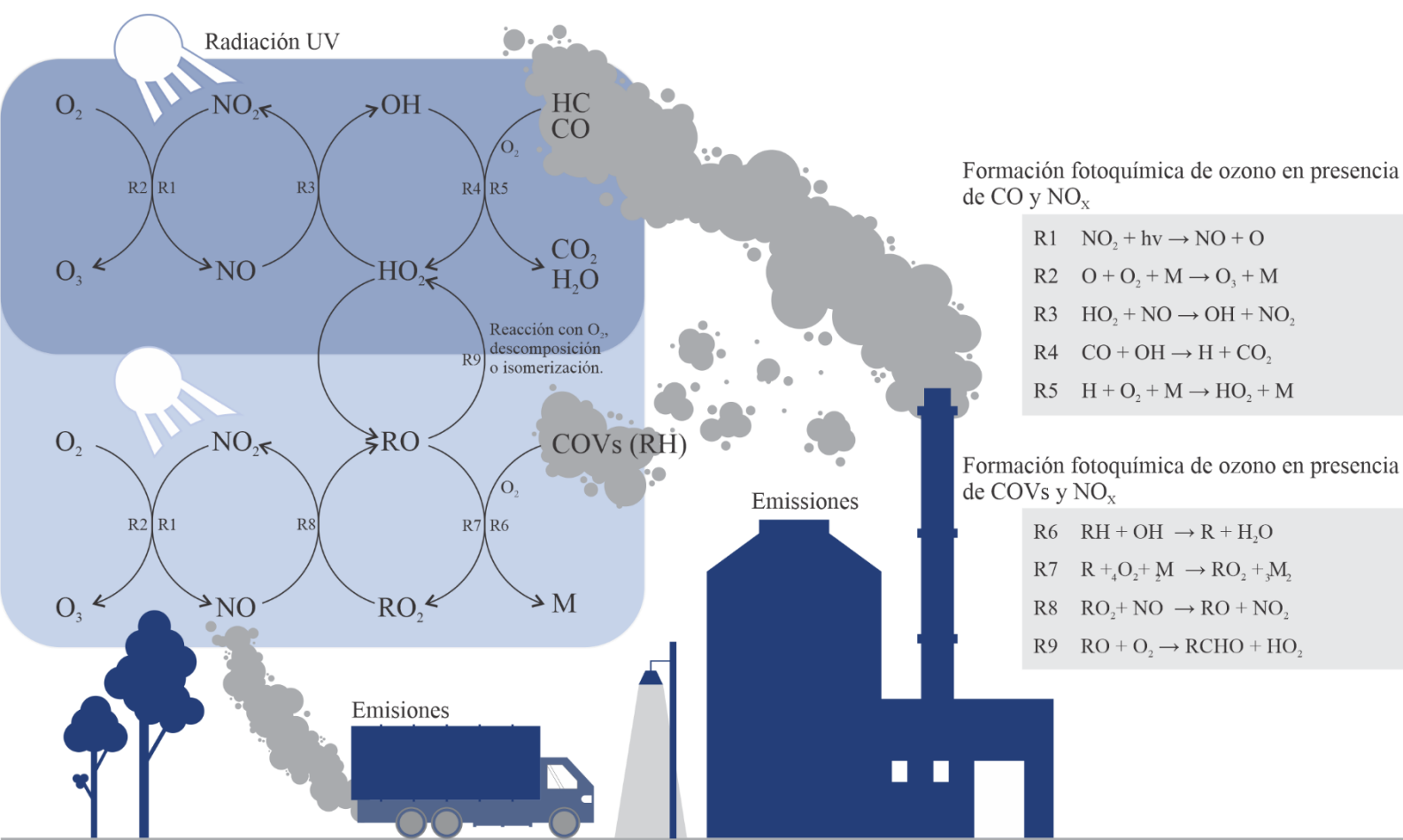


Figura 2 - Mecanismos de formación de ozono troposférico. Adaptado [5, 49].

2.2.5 MATERIAL PARTICULADO

El material particulado, también conocido como aerosoles atmosféricos, es un conjunto complejo de partículas sólidas y líquidas suspendidas en la atmósfera cuyas características físicas y químicas tienden a variar en el espacio y tiempo [23]. Las principales fuentes de partículas suspendidas en la atmósfera son varios fenómenos naturales y actividades antropogénicas como la quema de biomasa, procesos de combustión de combustibles fósiles, erupciones volcánicas, suspensiones de partículas del suelo, polvo mineral, sal marina y material biológico. Además de estas fuentes de emisión de partículas, su formación en la atmósfera puede ocurrir a través de mecanismos para convertir gases en partículas tales como nucleación, condensación y reacciones químicas heterogéneas [24]. Así, la Figura 3 presenta el esquema idealizado para la distribución de partículas en la atmósfera.

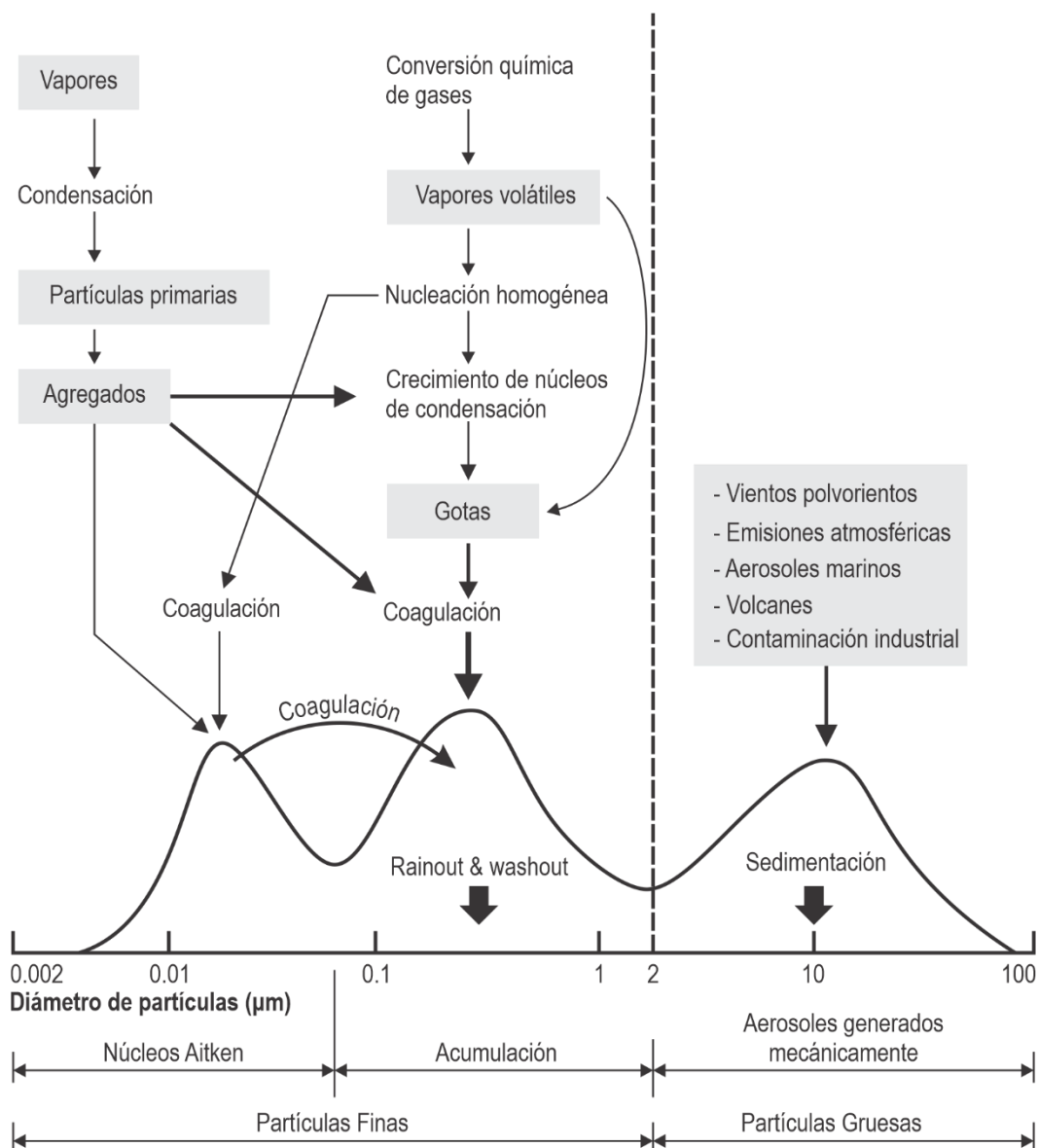


Figura 3 – Esquema idealizado de distribución de partículas en la atmósfera con indicación de los principales mecanismos de formación y eliminación de material particulado. Adaptado [25].

Las características del material particulado presente en la atmósfera están relacionadas con los procesos físicos y químicos de formación de estas partículas y los procesos atmosféricos que conducen a su evolución. El material particulado grueso, con un diámetro superior a 2.5 μm e inferior a 10 μm , se genera principalmente por procesos físicos, mientras que las partículas finas, con un diámetro inferior a 2.5 μm , se forman por procesos químicos. Las partículas finas se distribuyen de acuerdo con la ruta química que las produce. Con un diámetro entre 0.2 μm y 2.5 μm , se denominan partículas en modo de acumulación y corresponden a la condensación de compuestos orgánicos e inorgánicos secundarios. Inferiores a 0.2 μm de diámetro, se encuentran las partículas del modo de nucleación, formadas por la nucleación homogénea de vapores que forman partículas secundarias [11, 26].

2.2.6 EFECTOS SOBRE LA SALUD

Varios estudios señalan los efectos adversos de la contaminación atmosférica en la salud, que, debido al tiempo de exposición y a la concentración del contaminante, pueden variar desde pequeñas irritaciones y dificultades para respirar, hasta enfermedades respiratorias y cardiovasculares más graves. Los efectos más inmediatos y pronunciados de la contaminación atmosférica se observan en el sistema respiratorio y cardiovascular. En el caso de los contaminantes a los que se refiere el presente informe, los óxidos de nitrógeno tienden a promover la irritación de las vías respiratorias principalmente en los individuos asmáticos, mientras que el material particulado y el ozono pueden iniciar la inflamación de los pulmones debido a su entrada en los alvéolos pulmonares y a su capacidad de oxidación, respectivamente. Estos son los efectos más inmediatos de la exposición a estos contaminantes, sin embargo, la exposición crónica al ozono puede causar una reducción de la capacidad respiratoria y estimular las enfermedades respiratorias como el asma y el cáncer [27–29].

Los efectos del monóxido de carbono son más pronunciados en el sistema circulatorio, debido que la unión del monóxido de carbono a la hemoglobina reduce la capacidad de intercambio de oxígeno y, en consecuencia, disminuye la capacidad de concentración. Además, la inflamación en los pulmones altera la coagulación de la sangre y puede conducir a la obstrucción de los vasos sanguíneos y a enfermedades cardíacas [27–29].

2.3 MEDIDAS DE CONTROL Y MINIMIZACIÓN

Existen algunas medidas que buscan minimizar o mitigar los efectos nocivos de las emisiones atmosféricas en las áreas de las ciudades e industrias [30]. Estas medidas pueden ser, por ejemplo, las políticas que reducen el consumo de energía o el uso de fuentes de energía alternativas para minimizar los impactos de transporte e industrias [31].

Younger *et al.* [32] informan que los ambientes construidos (infraestructura de transporte, edificios, planificación del uso del suelo) están interconectados con la contaminación del aire y la salud pública. La construcción de edificios ecológicos podría reducir el consumo de energía eléctrica a través del uso de materiales aislantes, de la orientación del sitio y de la ventilación natural, y con el uso de medidas de eficiencia energética.

Otra medida interesante mencionada en la literatura es el monitoreo y alerta de la calidad del aire. En la ciudad de Santiago, Chile, en los días en que las condiciones climáticas son favorables a una baja ventilación (por lo tanto, a una mayor concentración de contaminantes del aire), las autoridades ambientales responsables imponen restricciones sobre el uso de

vehículos y algunas actividades industriales en las áreas de mayor riesgo para intentar reducir los niveles de contaminación [33] La implementación de bosques urbanos cerca de los lugares con mayores concentraciones de contaminantes también se convierte en una interesante medida auxiliar, ya que aunque la vegetación no tiene efectos directos significativos en la eliminación de contaminantes, la presencia de vegetación tiende a influir en la temperatura local y, por consiguiente, afecta a la producción de contaminantes atmosféricos a nivel local.

2.4 MARCO JURÍDICO

Varias entidades establecen umbrales de exposición para los diversos contaminantes que se vigilan a lo largo de este proyecto. En la Tabla 1 se han reunido los diferentes umbrales de exposición en diferentes países y entidades.

Tabla 1 - Límites establecidos para los contaminantes estudiados

Local/Entidad	Ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dióxido de nitrógeno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Monóxido de Carbono (mg/m^3)	Material particulado $2.5 \mu\text{m}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Portugal ¹	8h máx. - 120	Anual - 40 1h - 200	8h máx. - 10	Anual - 25
España ²	8h máx. - 120	Anual - 40 1h - 200	8h máx. - 10	Anual - 25
EPA-USA ³	8h máx. - 140	Anual - 100 1h - 188	1h máx. - 40 8h máx. - 10	Anual primario - 12 Anual secundario - 15 24h - 35
WHO ⁴	8h máx. - 100	Anual - 40 1h - 200	15min - 100 30min - 60 1h - 30 8h - 10	Anual - 10 24h - 25

1 - Decreto-Lei n.º 102/2010 de 23 de Setembro

2 - Real Decreto 102/2011, de 28 de enero

3 - Clean Air Act

4 - WHO Air quality guidelines

Para el ozono, también se realizaron análisis de los niveles críticos: AOT40, AOT60 y NET60. La Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa estableció la AOT40 (exposición acumulada de ozono superior a un umbral de 40 ppb u $80 \mu\text{g} / \text{m}^3$) en virtud del Convenio sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Gran Distancia (UNECE-CLRTAP). Por definición, AOT40 es la suma de las diferencias entre las concentraciones horarias de ozono y 40 ppb cuando la concentración excede 40 ppb durante el período de mayo a julio para la vegetación y de abril a septiembre para el bosque, y representa el límite por encima del cual ocurren los efectos adversos en la flora [23]. Para la vegetación, la Unión Europea ha establecido un valor objetivo de 9000 ppb.h para AOT40 y un objetivo a largo plazo de 3000 ppb.h [23], mientras que para el bosque el valor de referencia es 10000 ppb.h [24] con un valor crítico de 5000 ppb.h [25]. La evaluación debe basarse en el promedio del AOT40 por un período de 5 años, cuando sea posible. Sin embargo, para los propósitos de este estudio, el

análisis se realizó solo considerando el año 2019 para verificar la situación actual dentro de los límites establecidos.

Para la protección de la salud humana, se utilizan los indicadores AOT60 y NET60. AOT60 - exposición acumulada de ozono superior a un umbral de 60 ppb o $120 \mu\text{g} / \text{m}^3$ - es el valor acumulado de la diferencia entre el valor máximo diario del promedio de ocho horas por encima de 60 ppb y 60 ppb, con un umbral anual de 2900 ppb.h [23, 26, 27]. NET60 - número de excepciones superiores a un umbral de 60 ppb o $120 \mu\text{g} / \text{m}^3$ - cuenta los días en que se superó el indicador AOT60. El valor objetivo para NET60 es de 25 días al año calculado a partir del promedio de 3 años, sin embargo, a largo plazo, la Unión Europea tiene la intención de llegar a 0 días, lo que en consecuencia reduciría el AOT60 a cero [23, 26]. Se observa que la determinación de los indicadores de los niveles críticos de ozono requiere un monitoreo del contaminante a largo plazo, por lo que los resultados obtenidos en este estudio presentan una visión de la situación actual en la que se encuentra cada uno de los polígonos industriales. Además, las variables meteorológicas locales fueran correlacionadas con los contaminantes monitoreados para verificar las con mayor influencia en la producción local de ozono.

3 AMBIENTE ACÚSTICO EN LOS POLÍGONOS INDUSTRIALES

Debido al rápido aumento de la industrialización, la urbanización y otros sistemas de comunicación y transporte, la contaminación acústica ha alcanzado un nivel preocupante a lo largo de los años. [35]. El sonido se define como una onda mecánica que se propaga por un medio material, por variaciones de presión, mientras que el ruido, de acuerdo con la Directiva Europea, corresponde a cualquier sonido no deseado o conjunto de sonidos que causan molestias o tienen un impacto en la salud humana, y pueden ser emitidos por actividades antropogénicas como el tráfico por carretera, el tráfico ferroviario, el tráfico aéreo y las áreas industriales [34]. La contaminación acústica se distingue de otras categorías de contaminación de carácter másico, como la contaminación del aire, el agua y el suelo. Mientras que estos tipos de contaminación implican residuos másicos que permanecen en el medio ambiente durante largos períodos, la contaminación acústica implica un desperdicio de energía que desaparece rápidamente con el tiempo, con efectos a menudo sutiles e insidiosos que terminan por perjudicar la salud pública y la calidad del medio ambiente urbano.

3.1 PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

Antes de tratar de resolver el problema de la contaminación acústica, se deben tener en cuenta algunos elementos básicos: (i) el sonido surge de una fuente emisora, la fuente puede consistir en uno o más dispositivos mecánicos que irradian ruido o vibraciones; (ii) se desplaza en un medio físico, de un punto a otro por cualquier ruta o combinación de rutas; (iii) afecta a un receptor o un oyente, que puede ser una persona, un grupo de personas, un área residencial, escuelas u hospitales [36]. Al igual que en la contaminación del aire, el problema de la contaminación acústica está concebido por estos tres elementos básicos: fuente, trayectoria y receptor. [36]. La Figura 4 - Elementos básicos de la contaminación acústica muestra una representación simple de estos elementos.

3.2 MEDIDAS DE CONTROL Y MINIMIZACIÓN

En un polígono industrial, el proceso de control de ruido debe comenzar con la identificación de las fuentes ruidosas y la clasificación de acuerdo con la contribución de cada una al nivel de ruido general. Además, se deben determinar las rutas de propagación del sonido

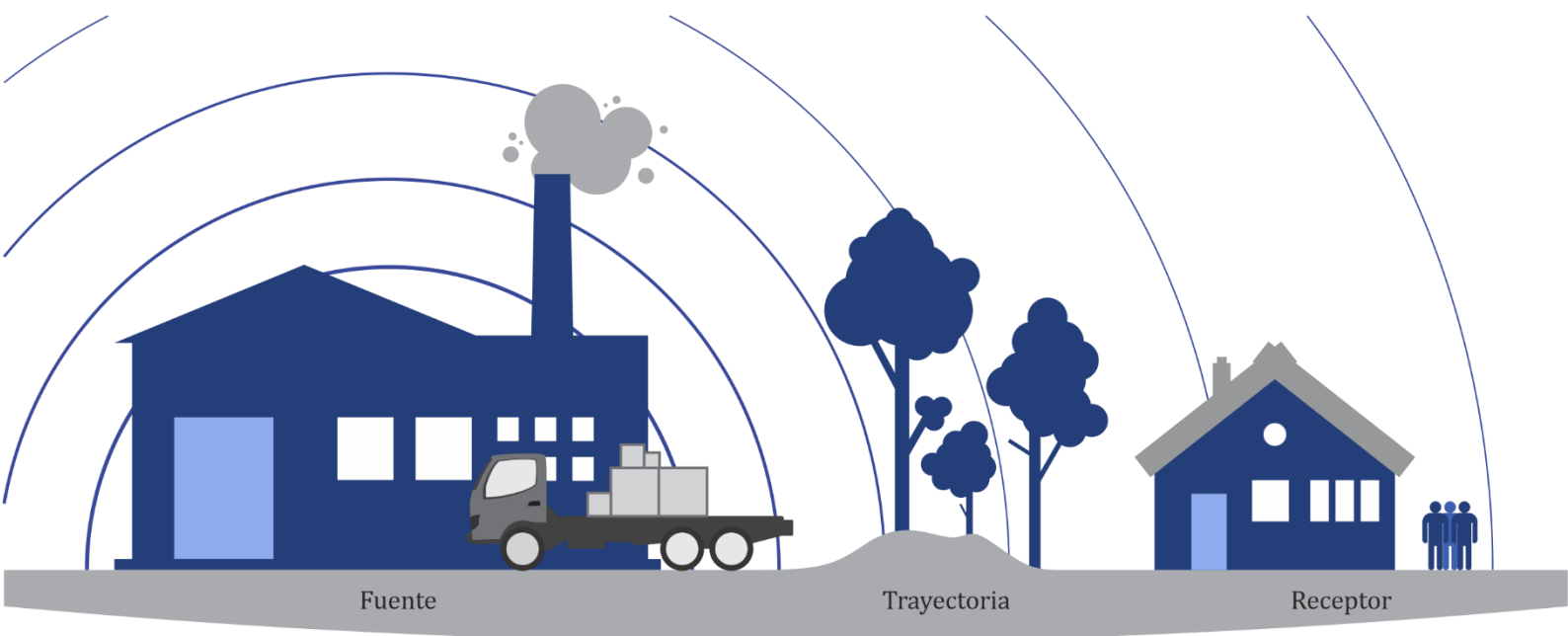


Figura 4 - Elementos básicos de la contaminación acústica.

desde la fuente hasta el receptor. Con esta información, es posible establecer las soluciones más aceptables para la realidad local en términos económicos y de eficiencia [37].

Muralikrishna e Manickam [36] informaron que resolver el problema de la contaminación acústica puede requerir alternar o modificar uno o más de los elementos básicos - fuente, medio de trayectoria y receptor. La solución más rápida y eficiente para minimizar los impactos causados por la contaminación acústica es modificar o cambiar la fuente de sonido. La emisión de ruido puede sufrir un cambio significativo solamente cambiando un equipo o máquina. Además, en algunos casos, el uso de dos unidades combinadas, con la misma capacidad de producción, puede reducir el ruido generado por una unidad mayor. Sin embargo, se debe obtener más información para verificar la viabilidad de los proyectos de mitigación o minimización de la contaminación acústica [38]. Sin embargo, cuando no es posible modificar la fuente de ruido, no es técnicamente factible ni económicamente viable, se intenta modificar la trayectoria del ruido. Por lo tanto, para fuentes que están al aire libre, una posibilidad sería aumentar la distancia entre la fuente y el receptor. Para fuentes localizadas o en espacios interiores, la ruta de propagación podría modificarse insertando una pared o una barrera acústica entre la fuente y el receptor [38].

Finalmente, una última posibilidad implica modificaciones en el receptor. Para minimizar el daño causado por la exposición a la contaminación acústica industrial por los trabajadores, el tiempo de exposición a altos niveles de ruido debe ser limitado y se debe facilitar un equipo de protección auditiva adecuado [36]. Sin embargo, en las áreas residenciales

afectadas por el ruido, con la imposibilidad de modificar la fuente y los medios de propagación, se hace uso de la acústica del edificio, un campo de la ciencia que estudia soluciones aplicadas a la construcción de edificios con el objetivo de garantizar a los habitantes protección contra el ruido y las vibraciones externas, además de garantizar los requisitos de aislamiento acústico y reverberación entre los espacios interiores del edificio. Los requisitos mínimos para el aislamiento acústico residencial generalmente cumplen con las leyes europeas o establecidas por los propios países. Para Portugal, el Decreto-Lei N° 96/2008, de 9 de Junho, establece estos requisitos, actualizando el Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), mientras que, en España, los valores objetivo se definen en el Documento Básico de Protección contra el Ruido (DB-HR).

Las soluciones en el campo de la acústica de edificios suelen pasar por la aplicación de materiales para el aislamiento o la absorción de sonidos. Para los sonidos de fuera del edificio, las soluciones se aplican a la fachada y a las ventanas del edificio. Las soluciones más comunes para las paredes implican la aplicación de materiales que proporcionan una buena tasa de aislamiento acústico. En las ventanas se utiliza doble o triple acristalamiento con una caja de aire o gas y sellado de fisuras.

Por lo tanto, el control de la contaminación acústica se puede sintetizar mediante los siguientes niveles de prioridad, cuya aplicación depende de la viabilidad técnica y económica de cada caso, y se pueden aplicar soluciones individuales o conjuntas. [37].

1- Eliminar la fuente de ruido	modificación de la fuente
2- Reemplazar el proceso / equipo por uno más silencioso	modificación de la fuente
3- Reduce el ruido a través del diseño	modificación de la fuente
4- Aplicación de barreras físicas o silenciadores	modificación de ruta
5- Cambiar la rutina de trabajo (industria)	modificación del receptor
6- Proporcionar equipo de protección personal (industria)	modificación del receptor
7- Aplicación de soluciones acústicas de construcción (residencial)	modificación del receptor

3.3 MARCO JURÍDICO

En Portugal, la legislación que rige el ruido ambiental es el Regulamento Geral de Ruído (RGR), aprobado por el decreto Decreto-lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro, que no establece límites de ruido para áreas exclusivamente industriales. Sin embargo, fuera del perímetro industrial, los valores establecidos por la RGR deben respetarse de acuerdo con la clasificación establecida en el Plan de Ordenación. El RGR define dos clases según el tipo de receptor, zona mixta y zona sensible:

Zona mixta: área definida en el Plan de Ordenación, cuya ocupación afecta a otros usos, existentes o planificados, además de los mencionados en la definición de zona sensible;

Zona sensible: área definida en Plan de Ordenación como destinada al uso de la vivienda, o para escuelas, hospitales o similares, o espacios de ocio existentes o planificados, que pueden contener pequeñas unidades comerciales y de servicios diseñadas para servir a la población, como cafeterías y otros establecimientos de restaurante, papelerías y otras tiendas tradicionales, que no abren por la noche.

En España, la Junta de Castilla y León, región autónoma donde se encuentra Zamora, el ruido ambiental se rige por la Ley 5/2009, de 4 de junio, del ruido de Castilla y León, que tiene límites específicos para polígonos industriales. En la propuesta de zonificación acústica de 2018, el Polígono Industrial Hiniesta se clasifica como Tipo 4 (área ruidosa), con una pequeña porción en la región sureste identificada como Tipo 1 (área silenciosa). La Ley 5/2009, de 4 de junio, del ruido de Castilla y León define el área Tipo 4 como:

Tipo 4. Área ruidosa: Zona de baja sensibilidad acústica, que comprende los sectores del territorio que no requieren de una especial protección contra el ruido. En ella se incluyen las zonas con predominio de uso industrial.

Por lo tanto, las campañas de ruido se llevaron a cabo en los tres períodos legalmente estipulados para cada ubicación (día, tarde, noche). La Tabla 1 muestra los tiempos correspondientes a cada uno de los períodos y en la Tabla 2 los límites legalmente estipulados para cada una de las zonas clasificadas y considerando que Portugal no estipula límites específicos para los polígonos industriales, se utilizaron los límites legales de la ley española como base de comparación entre los dos polígonos industriales.

Tabla 2 – Período de referência para medição dos indicadores diurno, entardecer e noturno

Portugal ¹		España ²	
Día	07:00 –20:00h	Día	07:00 – 19:00h
Tarde	20:00 –23:00h	Tarde	19:00 – 23:00h
Noche	23:00 – 07:00h	Noche	23:00 – 07:00h

1 - Decreto-lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro 2 - Ley 5/2009, de 4 de junio, del ruido de Castilla y León

Tabla 3 – Limites legais estabelecidos para cada uma regiões estudadas

Limite (dBA)	Zona Sensible Portugal ¹	Zona Mixta Portugal ¹	Zona Ruidosa España ²
Ld – Día	-	-	70
Le – Tarde	-	-	70
Ln – Noche	45	55	60
Lden - Día/Tarde/Noche	55	65	71

1 - Decreto-lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro 2 - Ley 5/2009, de 4 de junio, del ruido de Castilla y León

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO

El Polígono Industrial de Mirandela (Figura 5) está situada en el municipio de Mirandela, perteneciente al distrito de Bragança y localizada en el noreste de Portugal en la región conocida como Trás-os-Montes. Ocupa una superficie de aproximadamente 44,5 hectáreas con 123 parcelas en su interior. Entre las actividades existentes, las industrias alimentarias se destacan por su dimensión. En este Polígono se encuentran además edificios de talleres y comercio de automóviles, un centro de inspección automóvil, almacenes de materiales de construcción y agrícolas, una fábrica de aceite de oliva, una empresa de producción de hormigón, talleres del ayuntamiento, servicios de carpintería, servicios de apoyo a las empresas y un parque de residuos urbanos. Los alrededores del polígono industrial se componen principalmente de tierras agrícolas. El polígono industrial de Hiniesta (Figura 6) está situado en el municipio de Zamora, en la comunidad autónoma de Castilla y León, ocupando una superficie de aproximadamente 22 ha, con 76 parcelas en su interior. En el polígono se encuentran talleres y comercio de automóviles, servicios de carpintería, metalurgia y pintura, servicios de saneamiento, empresas de construcción y venta de muebles. En los alrededores, al oeste y al sur, predominan las tierras agrícolas, al norte se encuentra la zona de expansión del polígono industrial de Hiniesta, y al este se encuentra un barrio residencial.

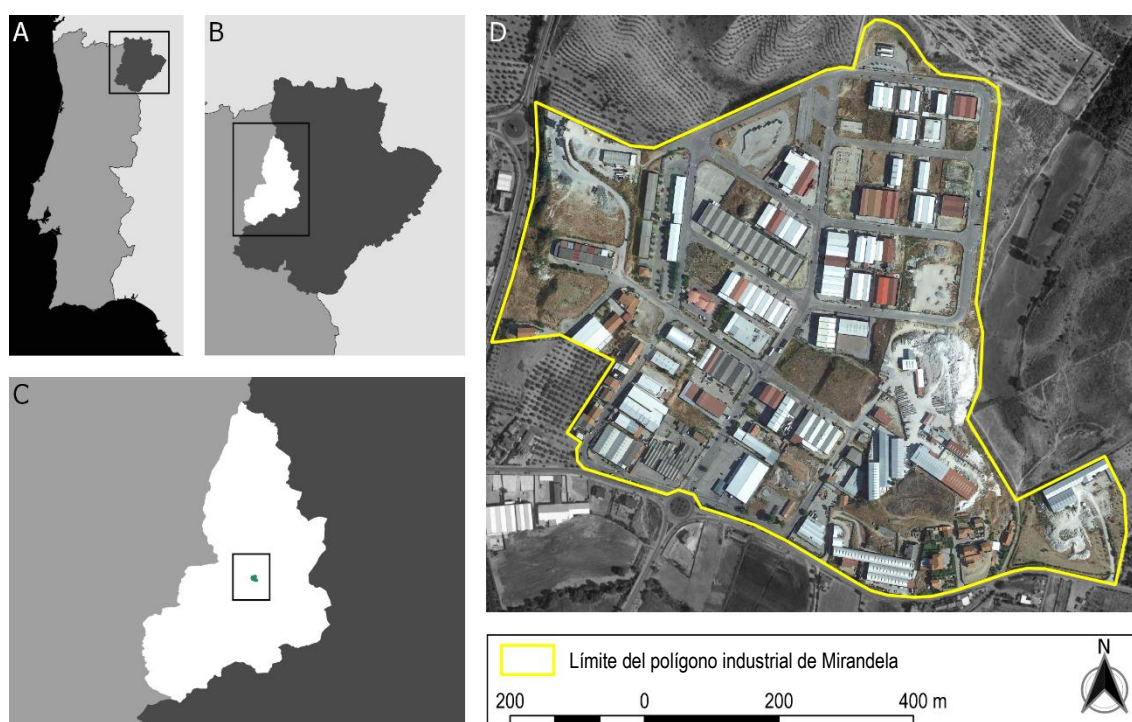


Figura 5 – Marco geográfico del Polígono Industrial de Mirandela.

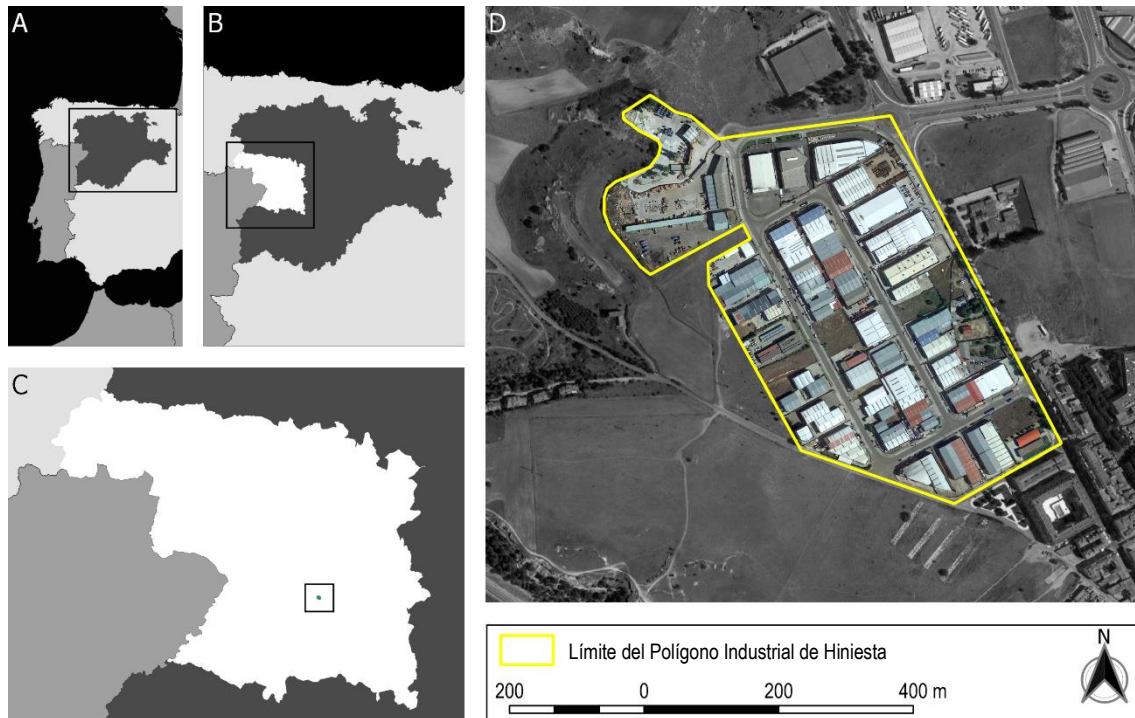


Figura 6 – Marco geográfico del Polígono Industrial de Hiniesta en Zamora.

4.2 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

La Figura 7 resume la metodología del proyecto Rehabind en un diagrama de bloques. En las siguientes secciones de este informe, se expondrán las acciones presentadas en el diagrama metodológico.

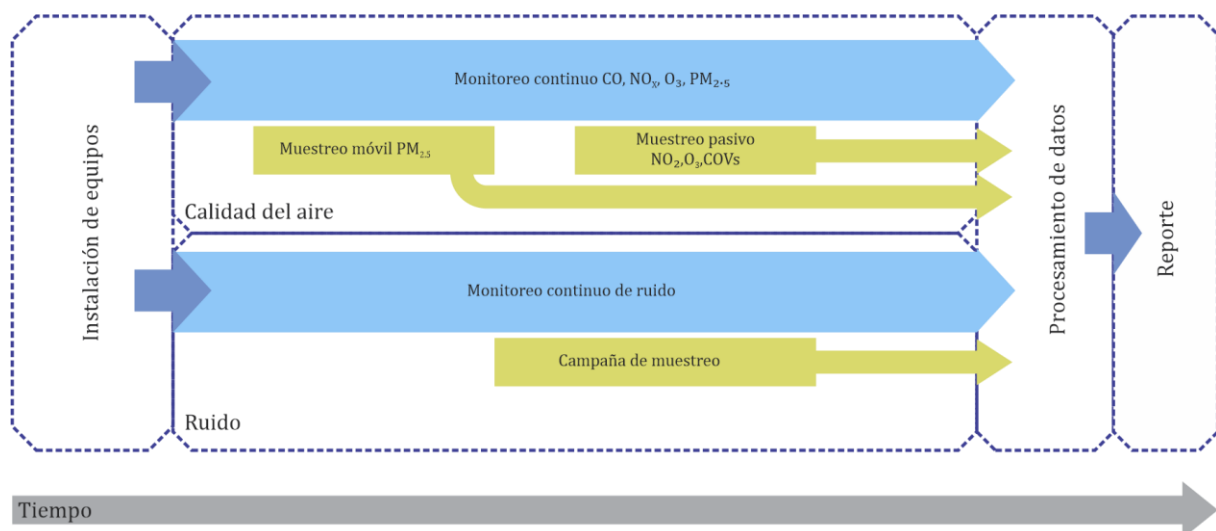


Figura 7 – Diagrama metodológico do projeto Rehabind

4.3 MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE

En este proyecto, en cada uno de los polígonos industriales, se instaló un conjunto de analizadores de gases de acuerdo con los métodos de referencia descritos por la Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. Se instalaron, en Mirandela, un analizador de ozono HORIBA APOA-370 (absorción ultravioleta no dispersiva), un analizador de óxido de nitrógeno HORIBA APNA-370 (quimioluminiscencia) y un analizador de monóxido de carbono HORIBA APMA-370 (absorción infrarroja no dispersiva). En el Polígono Industrial de Hiniesta en Zamora, se instalaron los analizadores de gases HORIBA APOA-370 y APNA-370 para monitorear ozono y los óxidos de nitrógeno, respectivamente.

La Figura 8 muestra el sistema de monitoreo de gases utilizado en el proyecto, que consiste básicamente en un gabinete móvil, que contiene los analizadores de gases y todos los componentes necesarios para su funcionamiento. Cada uno de los analizadores tiene una bomba de succión integrada, responsable de succionar el aire exterior para cada uno de los analizadores. El muestreo de aire se lleva a cabo utilizando tubos de teflón, material no reactivo al ozono, protegido por un cabezal de muestreo, para evitar que se acumule polvo y agua en los tubos.

Teniendo en cuenta las concentraciones horarias de contaminantes y las condiciones atmosféricas locales, se crearon perfiles semanales y diarios para observar el comportamiento de las variables durante la semana y el día. Estos perfiles se crearon teniendo en cuenta que las actividades que operan en polígonos industriales tienen diferentes regímenes operativos para los días hábiles y fines de semana, y también las variables meteorológicas varían según las estaciones del año.



Figura 8 – Sistema de monitoreo de gas. (izquierda) sistema de entrada de aire responsable de apoyar y proteger los tubos de succión de aire ambiente hasta los analizadores; (centro) armario rack de los analizadores; (derecha) disposición de los analizadores de gas dentro del armario

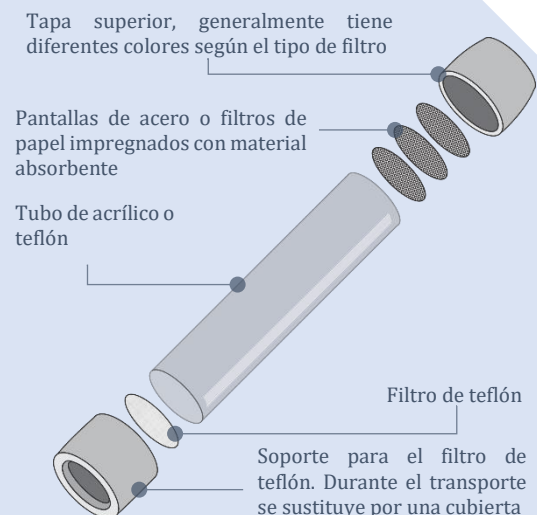


Figura 9 – Método utilizado durante las campañas de medición de partículas, que muestra el monitor de partículas THERMO ADR-1200S (ampliado) montado en una camioneta

Además, las variables meteorológicas locales se correlacionaron con los contaminantes monitoreados, a fin de verificar las variables del contexto con mayor influencia en la producción local de ozono. Las concentraciones de partículas con un diámetro aerodinámico equivalente menos que $2.5 \mu\text{m}$ (PM_{2.5}) se midieron en campañas utilizando el monitor de partículas THERMO ADR-1200S (principio de funcionamiento por fotometría de dispersión), montado en el cuerpo de una camioneta para facilitar el transporte. En cada local de monitoreo, se realizaron muestreos de 10 minutos con resolución temporal de 1 minuto en los períodos diurno y nocturno para verificar la concentración de partículas dentro y fuera del período de trabajo de las actividades locales. En la Figura 9 se puede ver el sistema montado en la camioneta y también la vista más detallada del monitor de partículas, con la indicación de cada uno de sus componentes.

TUBOS DE DIFUSIÓN

Los tubos de difusión son muestreadores pasivos, que no utilizan ningún medio activo, como las bombas de succión para transportar aire al medio absorbente. La configuración básica de un tubo de difusión del tipo *Palms* consiste en un cilindro de acrílico, en el cual el extremo inferior contiene un medio de filtración de aire y el extremo superior una cubierta que contiene filtros de papel o pantallas de acero inoxidable impregnadas con material absorbente para fijar el contaminante.



También en Mirandela, también se realizó un monitoreo continuo de PM_{2.5}, utilizando el monitor de partículas VEREWA F-701-20, basado en absorción de radiación beta, método equivalente de acuerdo con la Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y Consejo. El equipo se instaló en el exterior (Figura 10), integrado en un gabinete para protección contra el clima. Al igual que el THERMO ADR-1200S, este monitor consta de un cabezal de muestreo, una bomba de succión y un detector.



Figura 10 – Monitor continuo de material particulado PM_{2.5}

Además del monitoreo continuo de gases, también se realizaron campañas con muestreo pasivo utilizando tubos de difusión del tipo *Palms* (Figura 11). En este caso, los tubos se dejaron expuestos al aire ambiente durante un tiempo conocido en el área de interés. Durante ese periodo, el contaminante se transporta, por difusión molecular, del aire hacia el cilindro y se fija en un filtro impregnado con material absorbente. El material absorbente depende del gas objetivo a monitorear. Se realizaron campañas de muestreo pasivo para determinar la concentración promedio de ozono y dióxido de nitrógeno, además de la identificación de los diez principales compuestos orgánicos volátiles en varios puntos distribuidos en las áreas de estudio.



Figura 11 – Método de muestreo pasivo; (izquierda) refugio fijado en uno de los lugares de medición; (centro) vista del refugio en detalle; (derecha) refugio sin la cubierta superior que muestra cómo se colocan los tubos pasivos en el interior

4.4 MONITOREO DEL AMBIENTE ACUSTICO

Los niveles de ruido ambiental en áreas industriales se evaluaron en campañas de medición utilizando un medidor de nivel de sonido portátil y un analizador de espectro CESVA-SC420 clase 1 con un trípode para soportar el dispositivo a la altura de la medición (Figura 12). El sonómetro se configuró para realizar las mediciones utilizando la curva de ponderación A. Las campañas se llevaron a cabo durante los tres períodos legalmente estipulados para cada ubicación.



Figura 12 – Equipo utilizado para las campañas de medición del ruido. (izquierda) sonómetro junto al conjunto de accesorios utilizados; (derecha) ilustración de la aplicación del sistema de medición

También se realizaron mediciones continuas utilizando el sensor de ruido fijo CESVA-TA120, capaz de tomar mediciones 24 horas / 7 días con precisión de clase 1 (Figura 13). Para cada polígono industrial, se instaló un sensor de ruido CESVA-TA120, ambos equipados con un módem GPRS / 3G, que permitía enviar datos de forma remota a *NoisePlatform*. *NoisePlatform* es una plataforma online de los mismos fabricantes de sensores de ruido, que permite la visualización y el análisis de datos en tiempo real.



Figura 13 – Sistema de monitoreo de ruido continuo. (izquierda) sensor de ruido con sus componentes; (derecha) sistema instalado en el campo.

4.5 MONITOREO METEOROLÓGICO

También se utilizaron estaciones meteorológicas para caracterizar las variables meteorológicas predominantes en los sitios durante el período de muestreo, midiendo la dirección y velocidad del viento, la radiación solar, las precipitaciones, la temperatura del aire y la humedad relativa. Las estaciones estaban compuestas por varios sensores, integrados en el *datalogger* CR300 de *Campbell Scientific*, responsable por el control de los sensores, la recogida, el almacenamiento y la transmisión de los datos. La información fue almacenada cada 10 minutos con integración a una hora para el análisis conjunto con los datos horarios de los analizadores de gases.

Para la adquisición de datos de temperatura y humedad relativa se utilizó el sensor digital *Campbell Scientific* CS215, fijado dentro de un escudo de radiación. La radiación solar fue monitoreada con el piranómetro *Campbell Scientific* CS300, que es capaz de medir el espectro solar total. Además de estos sensores, se utilizó el anemómetro y el catavento ORA de *Lambrecht* para medir la velocidad y la dirección del viento, respectivamente. El último sensor incorporado fue el pluviómetro 15189 de *Lambrecht* con sistema basculante para la medición de las precipitaciones locales. La estación ensamblada se puede ver en la Figura 14, con la indicación de cada uno de los sensores mencionados anteriormente.

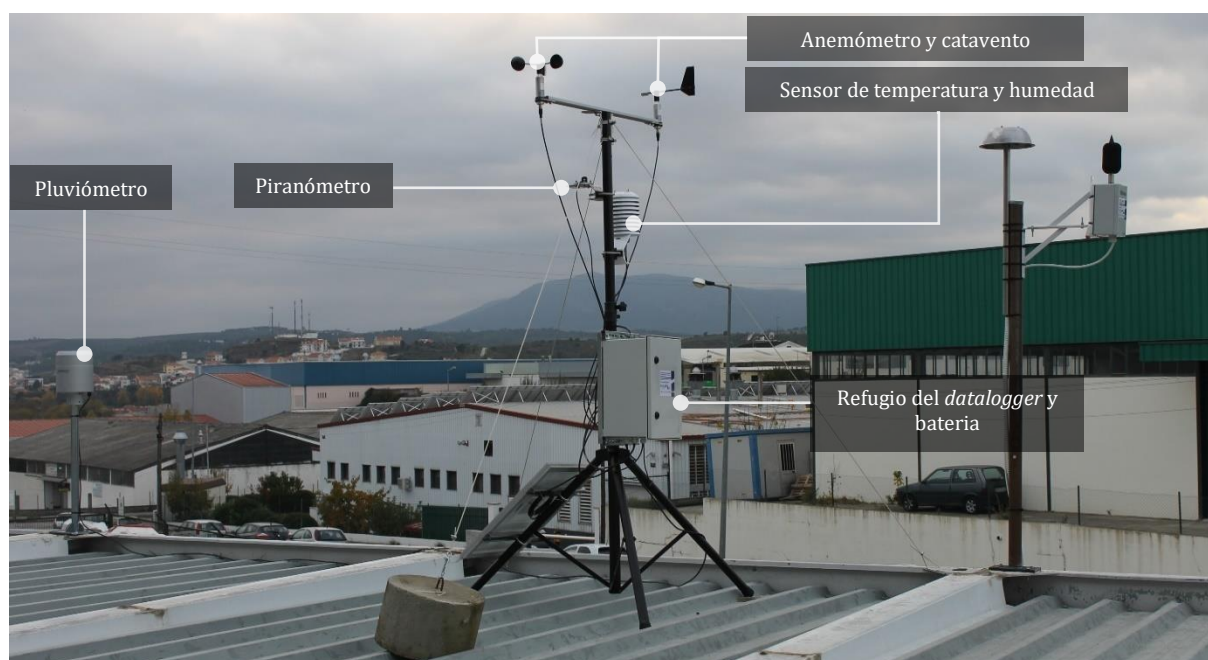


Figura 14 – Estación meteorológica instalada con la indicación de los principales sensores.

5 RESULTADOS

5.1 CALIDAD DEL AIRE

5.1.1 SERIES DE TIEMPO

La Figura 15 presenta la serie temporal de gases monitoreados desde enero a septiembre de 2019. Se observa que las concentraciones más altas de ozono ocurren en los meses más calurosos, en particular en las estaciones de primavera y verano, en parte debido a los valores más altos de temperatura y radiación solar que favorecen los mecanismos de formación de ozono. En los meses más fríos, se destacan las concentraciones de contaminantes primarios, como resultado de las emisiones más intensas en ese período y las condiciones atmosféricas que no son tan favorables para su eliminación por la ruta fotoquímica.

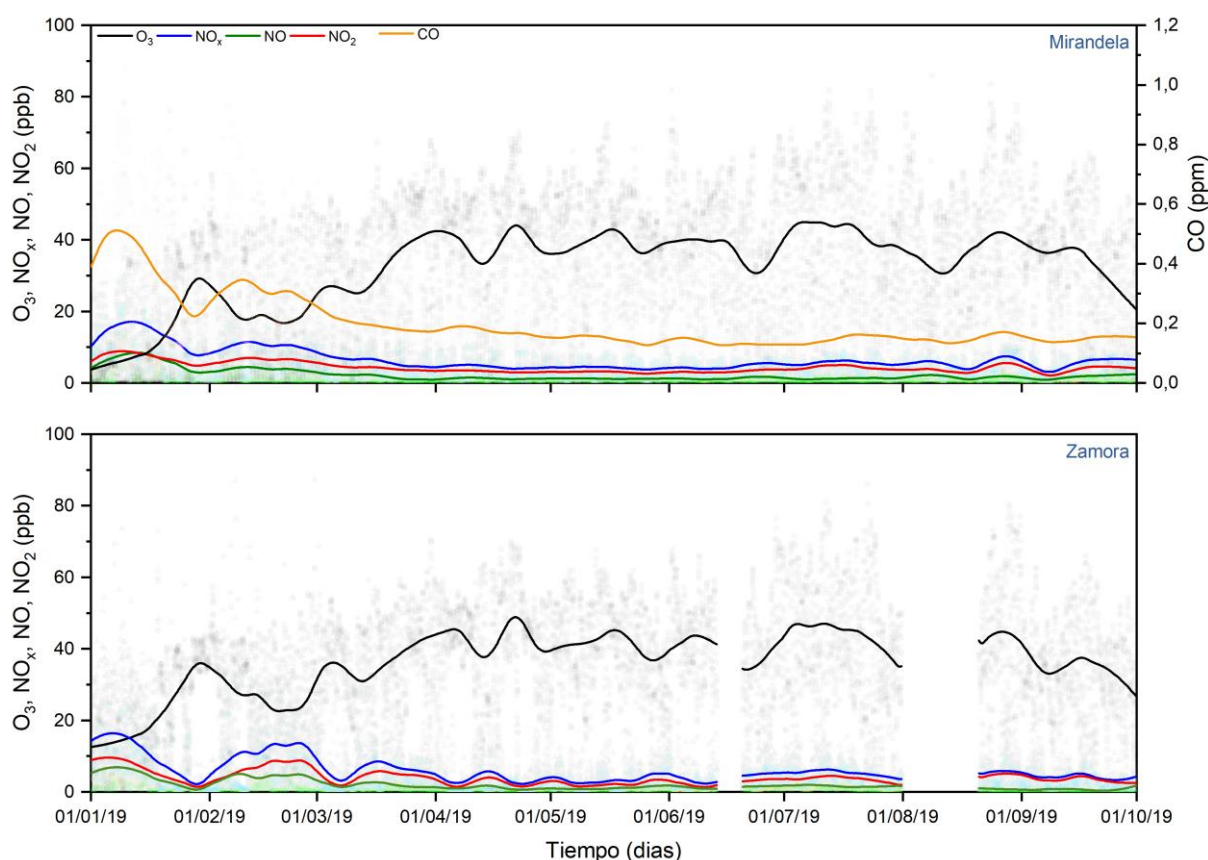


Figura 15 – Series temporales de la concentración de contaminantes durante los meses estudiados.

A partir de estos datos, también se creó el perfil semanal de los gases monitoreados para visualizar la evolución de las concentraciones a lo largo de los días y la influencia de las

actividades industriales en las concentraciones de estos contaminantes. El perfil semanal de cada región se muestra en la Figura 16.

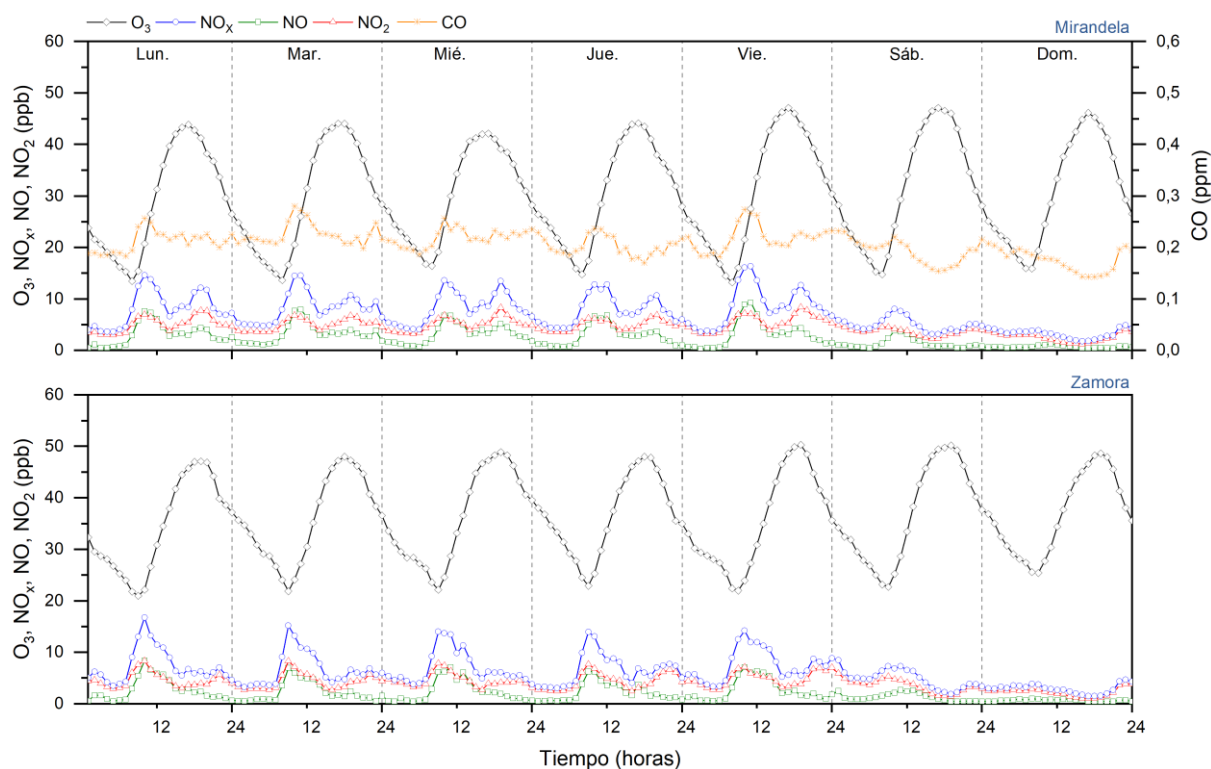


Figura 16 – Perfiles semanales de contaminantes monitoreados para cada polígono industrial.

Los gráficos de la figura 16 muestran que ambos polígonos industriales tienen un perfil semanal similar de emisión de contaminantes y formación de ozono. Entre lunes y viernes las concentraciones de contaminantes primarios muestran un primer pico entre las 7 y 10 horas, relacionado con el inicio de las actividades industriales y con el aumento de la circulación de automóviles. Después de ser liberados en la atmósfera, estos contaminantes promueven las reacciones de formación de ozono en presencia de la luz solar, de modo que a medida que los niveles de precursores de ozono disminuyen (después de las 10 de la mañana), los niveles de ozono aumentan hasta alcanzar concentraciones horarias máximas de aproximadamente 45 ppb, entre las 3 y las 5 de la tarde. A partir de las 17 horas la concentración de ozono disminuye debido a la reducción de la radiación solar incidente. El segundo aumento de los contaminantes se produce entre las 17 y las 19 horas con el cierre de las actividades en la zona industrial, pero teniendo en cuenta la baja radiación solar no interfieren de forma visible en los niveles de ozono. Muchas empresas en el polígono industrial no operan en los sábados, y es visible que el aumento de contaminantes primarios es menor que en los días semanales. En el domingo, la concentración de estos contaminantes permanece constante durante la mayor parte del día.

5.1.2 CORRELACIÓN ENTRE CONTAMINANTES

Por lo tanto, para comprender mejor las variables que influyen localmente en la producción de ozono, se realizó el análisis de correlación de *Spearman*, aplicando la prueba bilateral con un nivel de significancia de 0.05. La Tabla 3 muestra los valores encontrados para Mirandela y Zamora, respectivamente, donde los valores marcados con un asterisco tienen una correlación significativa.

Tabla 4 – Coeficientes de correlación de Spearman entre promedios horarios de CO, NO, NO₂, NO_x, O₃ y parámetros meteorológicos para cada uno de los polígonos industriales estudiadas

Mirandela									
Variables	CO	NO	NO ₂	NO _x	O ₃	T	HR	RS	V
CO	1,000	0,556*	0,683*	0,685*	-0,409*	-0,513*	0,425*	0,004	-0,264*
NO		1,000	0,757*	0,885*	-0,266*	-0,091*	0,159*	0,383*	-0,024*
NO ₂			1,000	0,967*	-0,406*	-0,269*	0,328*	-0,005	-0,346
NO _x				1,000	-0,401*	-0,244*	0,307*	0,123*	-0,263*
O ₃					1,000	0,753*	-0,886*	0,447*	0,715*
T						1,000	-0,844*	0,445*	0,554*
HR							1,000	-0,505*	-0,653*
RS								1,000	0,545*
V									1,000
Zamora									
Variables		NO	NO ₂	NO _x	O ₃	T	HR	RS	V
NO		1,000	0,629*	0,752*	-0,316*	-0,476*	0,206*	0,292*	-0,347*
NO ₂			1,000	0,981*	-0,463*	-0,211*	0,045*	-0,011	-0,675*
NO _x				1,000	-0,461*	-0,265*	0,074*	0,056*	-0,645*
O ₃					1,000	0,655*	-0,617*	0,295*	0,537*
T						1,000	-0,803*	0,364*	0,263*
HR							1,000	-0,436*	-0,144*
RS								1,000	0,165*
V									1,000

T - Temperatura HR - Humedad relativa RS - Radiación solar V - Velocidad del viento

Se observa una correlación positiva entre los óxidos de nitrógeno y el monóxido de carbono, similar al trabajo realizado por Agudelo–Castañeda et al. [39], indicando que ambos gases tienen la misma fuente de emisión, principalmente relacionada con el tráfico rodado y otros procesos de combustión industrial.

El ozono asumió una correlación positiva significativa con la temperatura y la radiación solar, una correlación esperada, ya que el aumento de la radiación solar incidente y las altas temperaturas favorecen las reacciones fotoquímicas de la síntesis de ozono. Además, existe una correlación negativa entre el ozono y los contaminantes primarios, que, como se aclara en el

capítulo 2, es el consumo de óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono en favor de la producción de ozono. También existe una fuerte correlación negativa entre la humedad relativa y la concentración de ozono, fenómeno que se explica por el hecho de que los porcentajes más altos de humedad relativa se relacionan con los días de menor incidencia solar, es decir, los días con mayor cobertura de nubes, días de lluvia o días de niebla [40, 41].

La velocidad del viento muestra una correlación positiva con la concentración de ozono y una correlación negativa con los óxidos de nitrógeno y el monóxido de carbono. El análisis de los datos por hora mostró además una asociación de aumento de la concentración de ozono tanto para velocidades de viento bajas como altas. Esto puede explicarse ya que las bajas velocidades del viento favorecen la acumulación de precursores de ozono, lo que contribuye a la producción local de ozono, mientras que las altas velocidades facilitan la dispersión de precursores, pero pueden favorecer el transporte de ozono desde otros lugares. [42, 43].

5.1.3 NIVELES CRÍTICOS DE EXPOSICIÓN AL OZONO

También utilizando concentraciones de ozono, se calcularon los niveles críticos de exposición al ozono, AOT40, AOT60 y NET60. La Figura 17 muestra los datos de AOT40 para proteger la vegetación y los bosques. Los gráficos en la Figura 17 corresponden a los polígonos industriales estudiadas, indicando los límites AOT40 para la vegetación y los bosques, así como los meses que se consideraron para el cálculo de estos índices. Para ambos polígonos industriales, los valores objetivo de AOT40 fueron excedidos, alcanzando en Mirandela 20.000 ppb.h para el AOT40 bosque, y valores por encima de 11.000 ppb.h para la vegetación. En Zamora, incluso con la brecha en la serie de datos, se superaron los valores límite, llegando a más de 17,000 ppb.h para AOT40 bosque y excediendo los 10,000 ppb.h para la vegetación.

Para los niveles de exposición para la protección de la salud humana, los resultados para AOT60 y NET60 para Mirandela y Zamora se muestran en la Figura 18 y la Figura 19, respectivamente. Ambos polígonos industriales tenían concentraciones muy por debajo del límite de 2.800 ppb.h para AOT60, sin embargo, el número de días en que los promedios máximos diarios de ozono de 8 horas superaron las 60 ppb en los 25 días anuales establecidos por la Unión Europea y por la legislación de cada Estado miembro, ascendió a 38 días en Mirandela y 33 en Zamora. Cabe señalar que en muchos de los días en que se superó este límite, los promedios máximos diarios de ozono de 8 horas sólo se superaron ligeramente en 60 ppb.

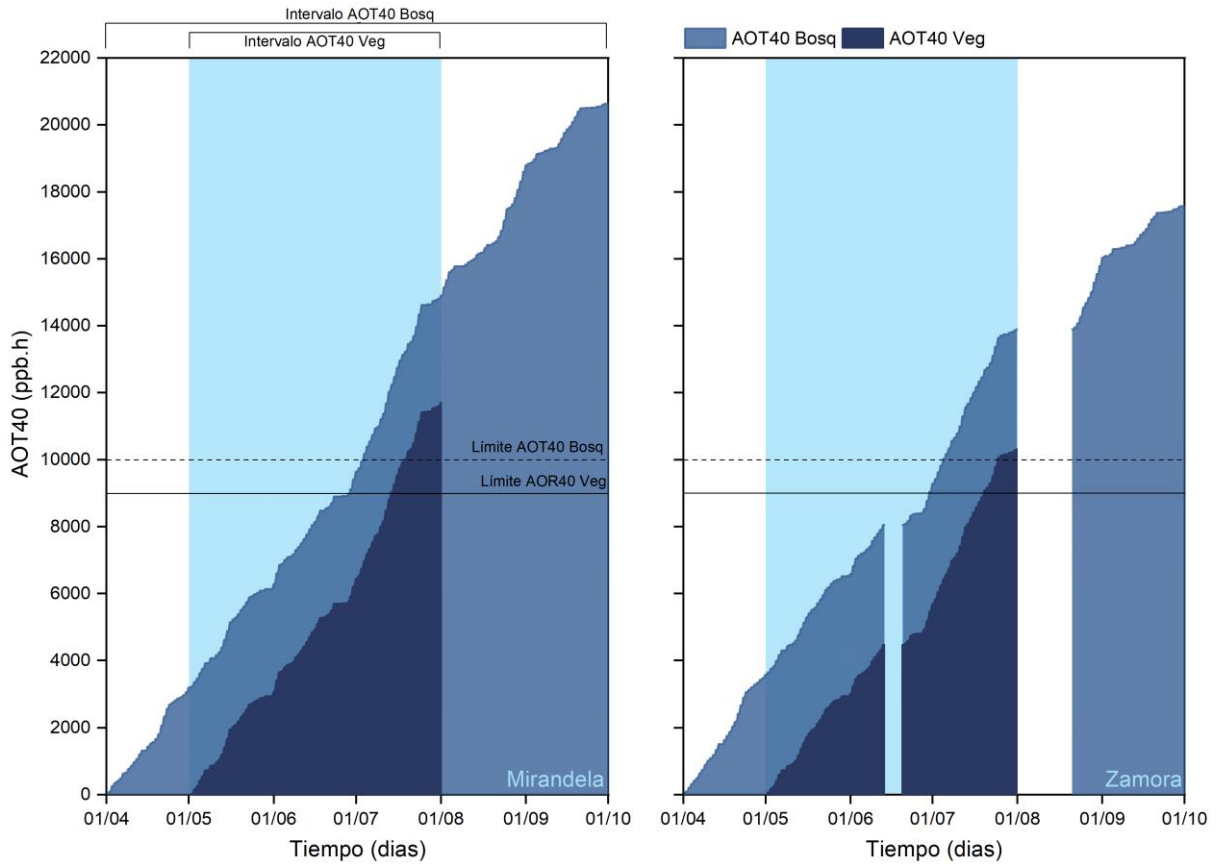


Figura 17 – Niveles de exposición acumulada de ozono superior a un umbral de 40 ppb u 80 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ (AOT40) para bosques y vegetación.

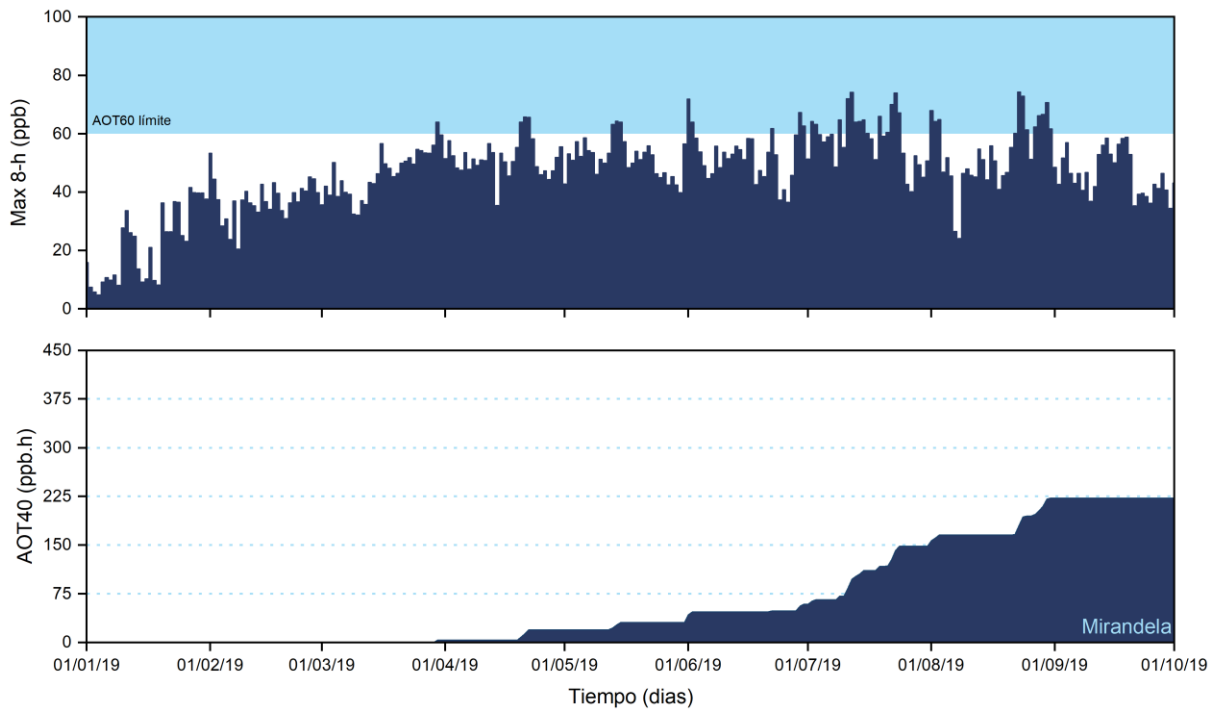


Figura 18 – Niveles de exposición acumulada de ozono superior a un umbral de 60 ppb o 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (AOT60) para Mirandela.

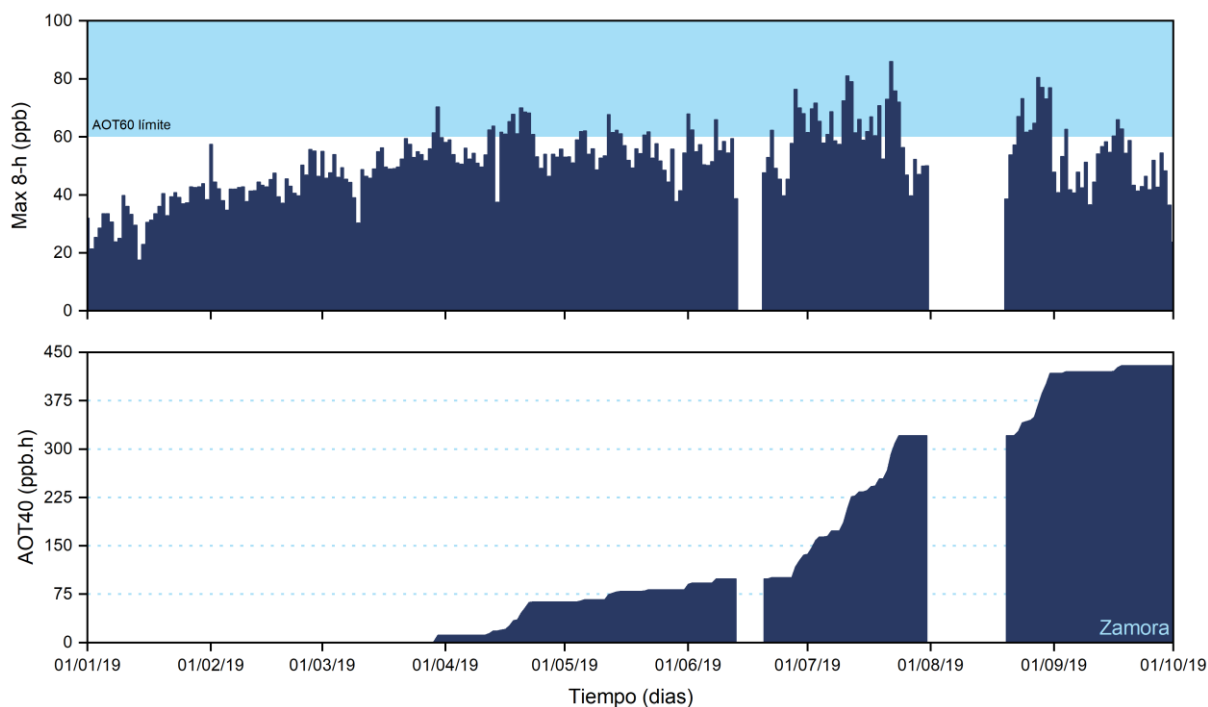


Figura 19 - Niveles de exposición acumulada de ozono superior a un umbral de 60 ppb o 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (AOT60) para Zamora.

5.1.4 MUESTREO PASIVO NO_2 E O_3

La Figura 20 muestra los resultados del muestreo pasivo de ozono y dióxido de nitrógeno para ambos polígonos industriales. Tales contaminantes mostraron una tendencia inversamente proporcional, como se puede ver en los mapas de la Figura 20, donde los lugares con las mayores concentraciones de ozono tienen las más bajas concentraciones de dióxido de nitrógeno. Este fenómeno se explicó en el Capítulo 2 de este informe, donde hay una indicación de las reacciones existentes entre tales contaminantes.



Figura 20 – Muestreo pasivo de ozono y dióxido de nitrógeno. Los mapas de la izquierda corresponden a los muestreos realizados en el polígono industrial de Mirandela y los mapas de la derecha corresponden a los muestreos realizados en el polígono industrial de Hiniesta en Zamora. Los mapas superiores muestran las concentraciones de ozono, mientras que los mapas inferiores muestran los resultados del dióxido de nitrógeno. La primera campaña está marcada en azul y la segunda campaña en verde.

5.1.5 MUESTREO PASIVO COVS

En la Figura 21 y la Figura 22 se identifican los resultados obtenidos con el muestreo pasivo de COVs. El análisis de laboratorio de estas muestras dio como resultado los diez COVs más presentes en cada uno de los puntos, con un total de 42 especies de COVs identificadas, de los cuales, 8 especies fueron excluidas debido a su producción por reacciones que involucraron el material absorbente. La gran mayoría de los COVs identificados provienen de actividades antrópicas, relacionadas con emisiones industriales, vehiculares y el uso de solventes y fitosanitarios



Mirandela										
COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K
Ácido acético	0,8	0,6	1,45		0,95	0,9	1,9	1,1	1,2	0,95
Benceno						<0,3		0,4		0
Ácido benzoico	1,3	1	2,5	7,8	3,7	<0,4				
Etilbenceno	9,8						1,4	4,8	2,7	
Hexano	9,5	0,4	1,6	1,9			1,7	2,75		0,4
Ácido 3,5,5-trimetilhexanoico	16,7	13	2,3	4,8		2,7			2,8	4,3
m/p-Xileno	16,4	0,6		1,4		0,4	1,9	2,6	1,6	
Ácido octanoico	3,7	1,5	3,25	2,8	3,9		2,4	2,3		<0,5
o-Xileno	9,8						1,3	0,4	0,9	
2-metilpentano	8,7			2,7				5,7		
3-metilpentano	4,1		1,5	1,7			1,7	2,85		0,5
Fenol	4,45				0,5	0,7	1,2			1,2
Tolueno	6,3	1,35	4,5	4,95	1,65	1,05	5,2	26	3,85	2,3

Figura 21 – Muestreo pasivo de COVs realizado en Mirandela con la identificación de los puntos de medición y los principales COVs y sus concentraciones.



Zamora								
COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	A	B	C	D	F	G	H	I
Ácido acético	0,95	1,15	0,8	0,5	1,1	1,05	1,3	1,7
Benceno								
Ácido benzoico	3,15	3,25	1,85	0,8	2,5	1,2		2,3
Etilbenceno				1,3			0,8	4
Hexano				1,5		0,6	0,8	3,7
Ácido 3,5,5-trimetilhexanoico	11,65	1,6	18,9		0,7	4,6	3,5	
m/p-Xileno		0,6		1,55	0,7		0,85	3,05
Ácido octanoico	4,85		2,4	1	2,75	1	5,25	5,6
o-Xileno				1,3			0,5	2,8
2-metilpentano				2,5				6,7
3-metilpentano			0,9	1,6		1	1,1	3,25
Fenol	0,4	0,85		0,4	0,5			
Tolueno	4,4	2,3	3,4	5,85	3,5	1,5	3,15	20,3

Figura 22 – Muestreo pasivo de COVs realizado en Zamora con la identificación de los puntos de medición y los principales COVs y sus concentraciones.

En las Figuras 21 y 22 se presentan los COVs con las concentraciones más altas observadas, así como aquellos con la mayor incidencia en diferentes puntos. Teniendo en cuenta que la mayoría de los compuestos orgánicos volátiles tienen diferentes usos y pueden emitirse a la atmósfera por distintas vías, buscó relacionar el uso de los COVs con las actividades existentes en cada lugar.

El ácido acético se puede producir en la atmósfera mediante reacciones fotoquímicas entre hidrocarburos y ozono, sin embargo, su emisión a la atmósfera está relacionada con emisiones vehiculares, procesos de quema de biomasa y también emisiones de especies vegetales específicas [44]. En el muestreo pasivo, las concentraciones más altas se observaron en los puntos C y G en Mirandela y en los puntos G y H en Zamora. Estos puntos están cerca de árboles y prados, por lo que se puede inferir que las emisiones biogénicas y del tráfico de coches explican en parte los valores más altos de este componente.

Los COV tolueno, benceno, etilbenceno, xileno, fenol y hexano provienen generalmente del tráfico de automóviles, principalmente en los centros urbanos [45, 46]. Además de estos, los isómeros de hexano 2-metilpentano y 3-metilpentano también están asociados con el mismo tipo de fuente. Esta relación puede confirmarse observando los resultados obtenidos, en los puntos A, D y H de Mirandela y en los puntos D y H de Zamora, que observan una mayor concentración de los contaminantes mencionados.

El ácido octanoico también se detectó en diferentes puntos en ambos polígonos industriales. Una de las posibles fuentes de emisión de estos compuestos es el uso de fitosanitarios [47], sin embargo, considerando que el mismo ácido también se usa ampliamente como desinfectante, existe la posibilidad de que la volatilización de estos compuestos provoque un aumento en su concentración local [48]. El ácido 3,5,5-trimetilhexanoico es el componente principal del ácido isononanoico, en porcentajes superiores al 90%, que normalmente se utiliza en productos lubricantes como agente anticorrosivo, en plastificantes, fungicidas y desecantes. Teniendo en cuenta la gran cantidad de talleres mecánicos y otras empresas que utilizan equipos hidráulicos, las concentraciones observadas de ácido 3,5,5-trimetilhexanoico se consideran relacionadas con el uso de lubricantes.

5.1.6 MEDICIÓN CONTINUA PM_{2.5}

Los resultados de la medición continua de PM_{2.5} realizada en Mirandela se muestran en la Figura 23. En la parte superior están los promedios por hora para el período de medición y en la parte inferior están los promedios diarios para fines de comparación legal.

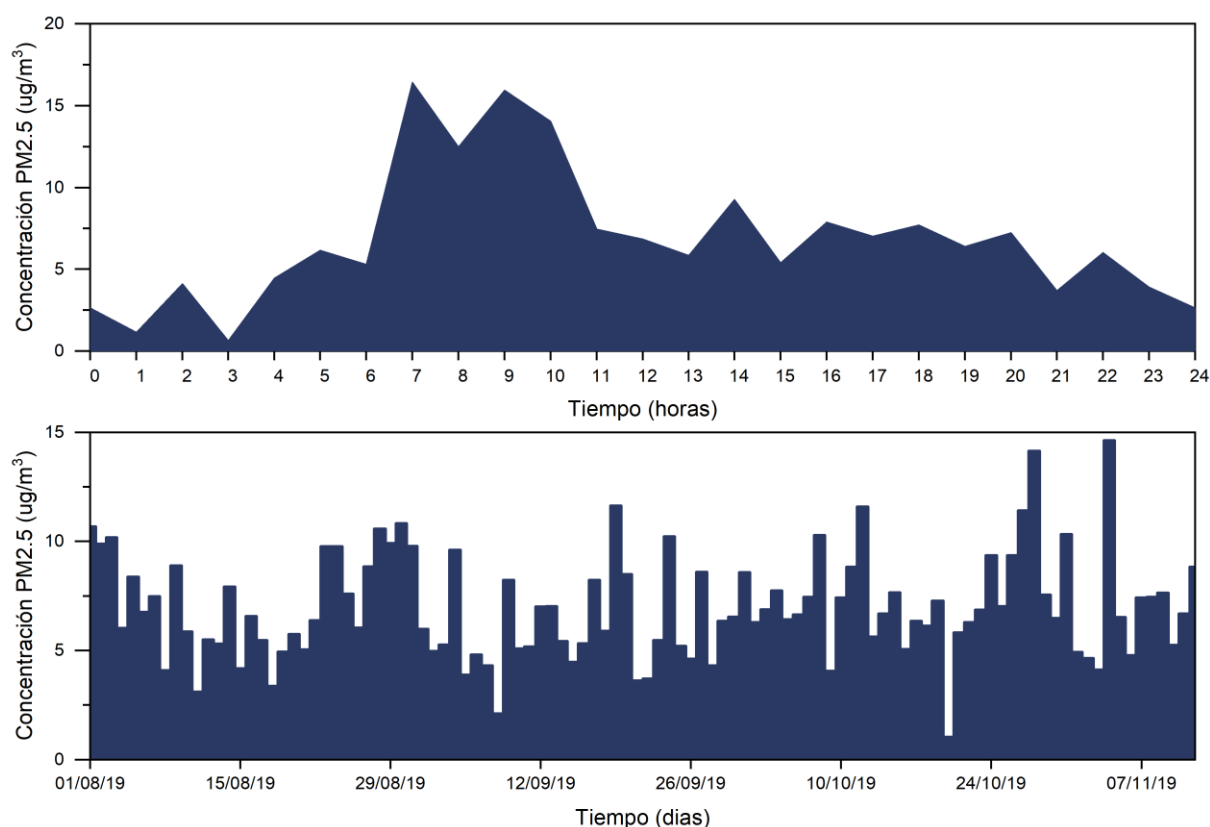


Figura 23 – Concentraciones de PM_{2.5} observadas durante el monitoreo continuo en Mirandela. El gráfico superior corresponde al perfil diario, mientras que el gráfico inferior muestra los promedios diarios.

El límite diario estipulado por la Unión Europea es de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, un valor que no se superó durante el período de observación. También observando los promedios por hora, se puede ver que las concentraciones más altas de partículas, cercanas a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se encuentran entre las 7 y las 10 horas, período de inicio de actividades en el polígono industrial de Mirandela. Después de las 20 horas se observó una disminución en la concentración de partículas, como resultado del cierre de las actividades y menos tráfico de automóviles.

5.1.7 MUESTREO MÓVIL PM_{2.5}

La Figura 24 muestra el muestreo móvil de PM_{2.5} realizado en diferentes puntos en ambos polígonos industriales. Las concentraciones más altas se midieron cerca de las carreteras con mayor tráfico, lo que indica que las emisiones de los vehículos tienen una fuerte influencia en la concentración de este contaminante. También hay una mayor variabilidad en las concentraciones de partículas durante el día, mientras que en la noche hay una mayor estabilidad. En Mirandela, en los puntos exteriores del perímetro industrial, las concentraciones de PM_{2.5} durante la noche eran más elevadas que durante el día, de modo que una de las hipótesis planteadas sobre este fenómeno se refiere al desplazamiento de la población a la

ciudad durante el período diurno para trabajar y durante el período nocturno con el regreso de la población a sus hogares.

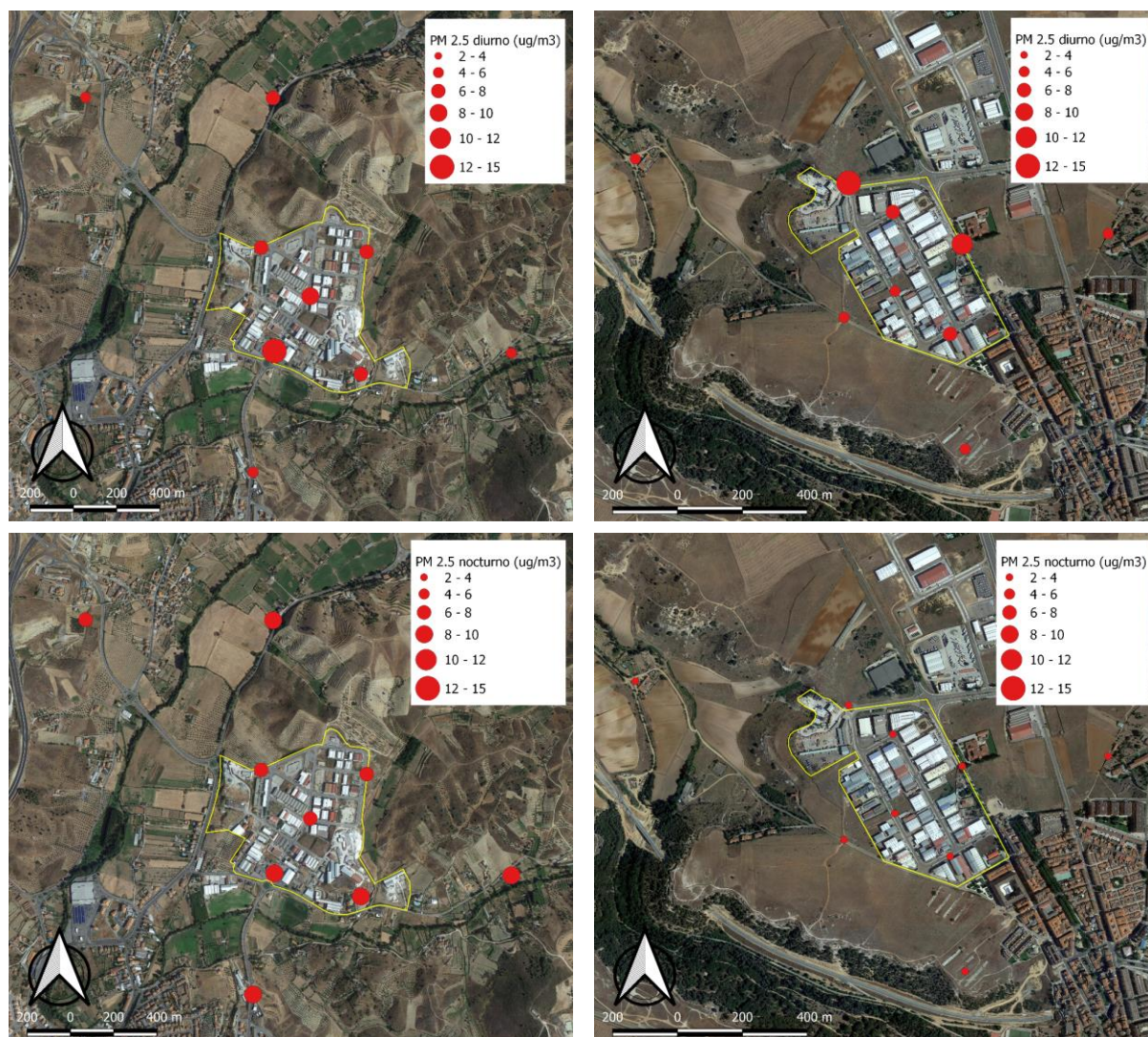


Figura 24 – Muestreo móvil de PM_{2.5}. Los mapas de la izquierda corresponden a los muestreos realizados en el polígono industrial de Mirandela y los mapas de la derecha corresponden a los muestreos realizados en el polígono industrial de Hiniesta en Zamora. Los mapas superiores muestran las concentraciones de PM_{2.5} durante el día, mientras que los mapas inferiores muestran la concentración de partículas en el periodo nocturno.

5.2 RUIDO AMBIENTAL

5.2.1 MUESTREO CONTÍNUO

La Figura 25 muestra los valores de los indicadores de ruido nocturno (Ln) y día-tarde-noche (Lden) para Mirandela y Zamora. Como se explica en la metodología, a efectos de comparación, se utilizaron los límites legales estipulados por la Ley 5/2009, de 4 de junio, del ruido de Castilla y León, desde que el Reglamento Geral de Ruído (RGR), aprobado por el

Decreto-lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro no especifica los límites de ruido para polígonos industriales.

Ambos polígonos industriales cumplen con los valores límite de 60 dBA para Ln y 71 dBA para Lden. Cabe señalar que en Mirandela hubo un día en que el valor de Ln excedió los 60 dBA y en Zamora se observaron dos días con Ln por encima del límite y un día que se excedió el límite de Lden. Sin embargo, considerando que estos valores se observaron en algunas ocasiones, se entiende que fueron producidos por fenómenos aislados y que no son representativos de la caracterización de la emisión de ruido.

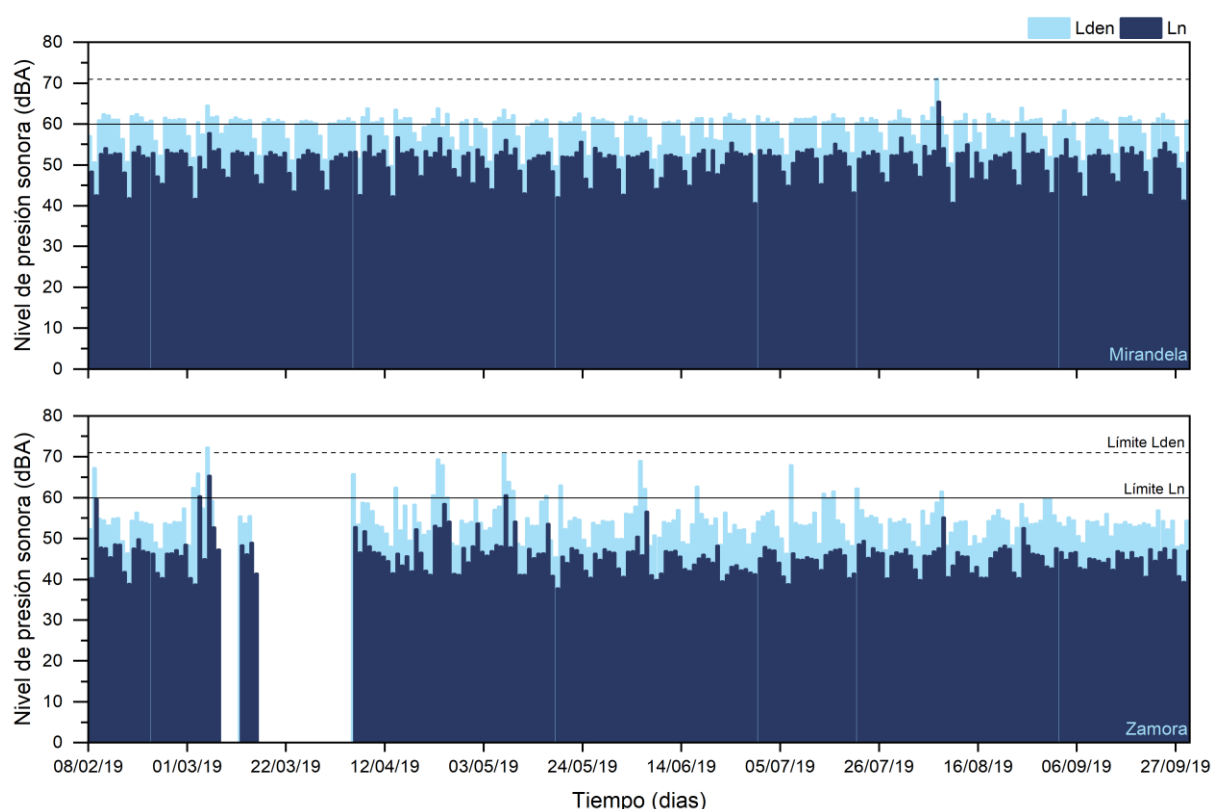


Figura 25 – Indicadores de ruido nocturno (Ln) y ruido día-tarde-noche (Lden) entre febrero y septiembre de 2019 para Mirandela y Zamora respectivamente.

5.2.2 CAMPAÑAS Y MAPAS DE RUIDO

Además de los indicadores de ruido, también se construyó el perfil de ruido semanal para cada uno de los polígonos industriales, que se puede ver en la Figura 26. Se observa que Mirandela tiene un perfil de ruido más estable, mientras que Zamora tiene una mayor variabilidad durante toda la semana. Una de las hipótesis planteadas para tal situación se refiere a las actividades de cada polígono industrial, más precisamente cerca del local de medición. En Mirandela hay muchas industrias alimentarias, que generan ruido constante durante todo el

período de operación, mientras que, en Zamora, debido a los diversos talleres y actividades de construcción cercanas al punto de muestreo, existe una mayor variabilidad en los niveles de ruido, ya que tales actividades no producen ruido continuo durante todo el día.

Los promedios más bajos de presión sonora se observaron entre la 1h00 y las 3h00 de la noche para ambos polígonos industriales. Posteriormente, el nivel de ruido aumenta hasta alcanzar valores más altos entre las 7h00 y las 9h00 horas cuando comienzan las actividades en los polígonos industriales. Los valores de presión acústica disminuyen solo al final de las horas de trabajo de las empresas, generalmente después de las 18 horas. Durante el fin de semana, los niveles de ruido son más bajos que los días hábiles, aunque los niveles de los sábados fueran más altos que los registrados en los domingos debido a algunas actividades que funcionan en los sábados.

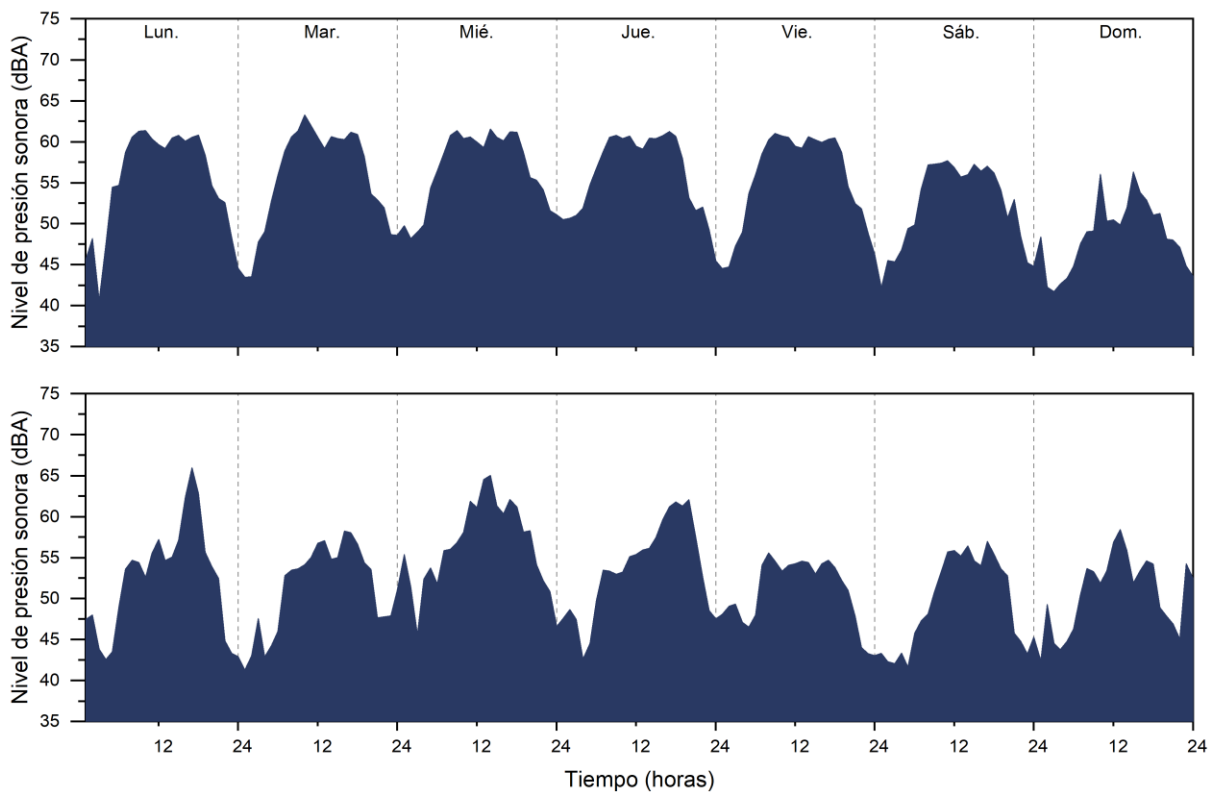


Figura 26 – Perfil semanal de niveles de presión sonora. El gráfico superior muestra los valores de Mirandela, mientras que el gráfico inferior muestra los valores de Zamora.

La Figura 27 muestra los valores para los indicadores L_n y L_{den} para campañas de medición realizadas en diferentes puntos de cada polígono industrial. Los datos recopilados durante estas campañas también sirvieron de base para la creación de mapas de ruido. Los mapas de ruido se pueden consultar en los anexos de este informe, donde se presentan los indicadores globales de L_{den} y L_n , que explican las fuentes de ruido observadas y los

indicadores de Lden y Ln para el tráfico rodado, que muestran la influencia del tráfico de automóviles para niveles de ruido.



Figura 27 – Indicadores de ruido nocturno (Ln) y día-tarde-noche (Lden) obtenidos de campañas de medición de ruido para varios puntos en el polígono industrial. Los mapas a la izquierda corresponden a los indicadores del polígono industrial de Mirandela y los mapas a la derecha a los indicadores del polígono industrial de Hiniesta en Zamora.

En general, para el día y para la noche, los niveles más altos de presión sonora están asociados con las carreteras con mayor intensidad de tráfico. Los elevados valores registrados lejos de las carreteras se asociaron principalmente con los sistemas de refrigeración industrial y con los sistemas de compresión de aire que permanecen en funcionamiento las 24 horas del día.

Con las mediciones locales se realizó un modelado para crear los mapas de ruido presentados en las Figuras 28, 29, 30 y 31. Los mapas muestran un gradiente de color que representa el rango de ruido que puede observarse en el perímetro de cada zona industrial.

La Figura 28 muestra los niveles de Lden para el polígono industrial de Mirandela, donde se observan los mayores niveles de ruido en las cercanías de las carreteras y cerca de los sistemas de refrigeración. En la Figura 29 se presenta el indicador Ln, observando que para el período nocturno los mayores niveles de ruido son producidos por los sistemas de refrigeración y compresión, sin embargo, las carreteras más transitadas también tienen considerables niveles de ruido para el período nocturno.

Las Figuras 30 y 31 muestran los valores de los indicadores Lden y Ln considerando sólo las influencias del tráfico local. Ambas figuras son similares a las Figuras 28 y 29, lo que indica que el ruido producido en el polígono industrial se debe en gran parte a la circulación de automóviles en la región.

Además de los modelos locales, también se hicieron simulaciones para algunas intervenciones, resultando en la reducción de los indicadores Lden y Ln. Se simularon las siguientes intervenciones:

- I. *Pavimento pouco ruidoso nas vias rodoviárias;*
- II. *Encapsulamiento de motores externos de sistemas de refrigeración mediante paneles acústicos;*
- III. *Instalación de atenuadores acústicos en chimeneas.*

Con la aplicación de estas intervenciones, se generaron las Figuras 32 y 33. La mayor diferencia se observa en la Figura 32, que muestra el indicador Lden, donde se registra una reducción general de aproximadamente 5 dBA. Para el indicador nocturno Ln, la mayor diferencia se observa en los sistemas de refrigeración y compresión, que para el nuevo escenario tienen muy poca influencia en los niveles de ruido.

Se aplicaron los mismos modelos y simulaciones para el polígono industrial de Hiniesta. Las Figuras 34 y 35 muestran los indicadores globales Lden y Ln respectivamente. De manera similar al polígono industrial de Mirandela, la mayor contribución del ruido en el polígono industrial de Hiniesta se debe al tráfico local. Las Figuras 36 y 37 muestran los mismos indicadores Lden y Ln, pero considerando solo la circulación de automóviles, donde es posible percibir poca diferencia con las Figuras 34 y 35, esto se debe al hecho de que el polígono industrial de Hiniesta presenta principalmente empresas que no requieren sistemas que operan las 24 horas.

Con la aplicación de las intervenciones mencionadas anteriormente, también se puede ver una caída de 5 dBA en los indicadores Lden y Ln presentados en las Figuras 38 y 39, respectivamente. Estas simulaciones también muestran que los niveles de ruido más altos están condicionados a la carretera ubicada al este del polígono industrial, una de las principales vías de acceso a la ciudad de Zamora.

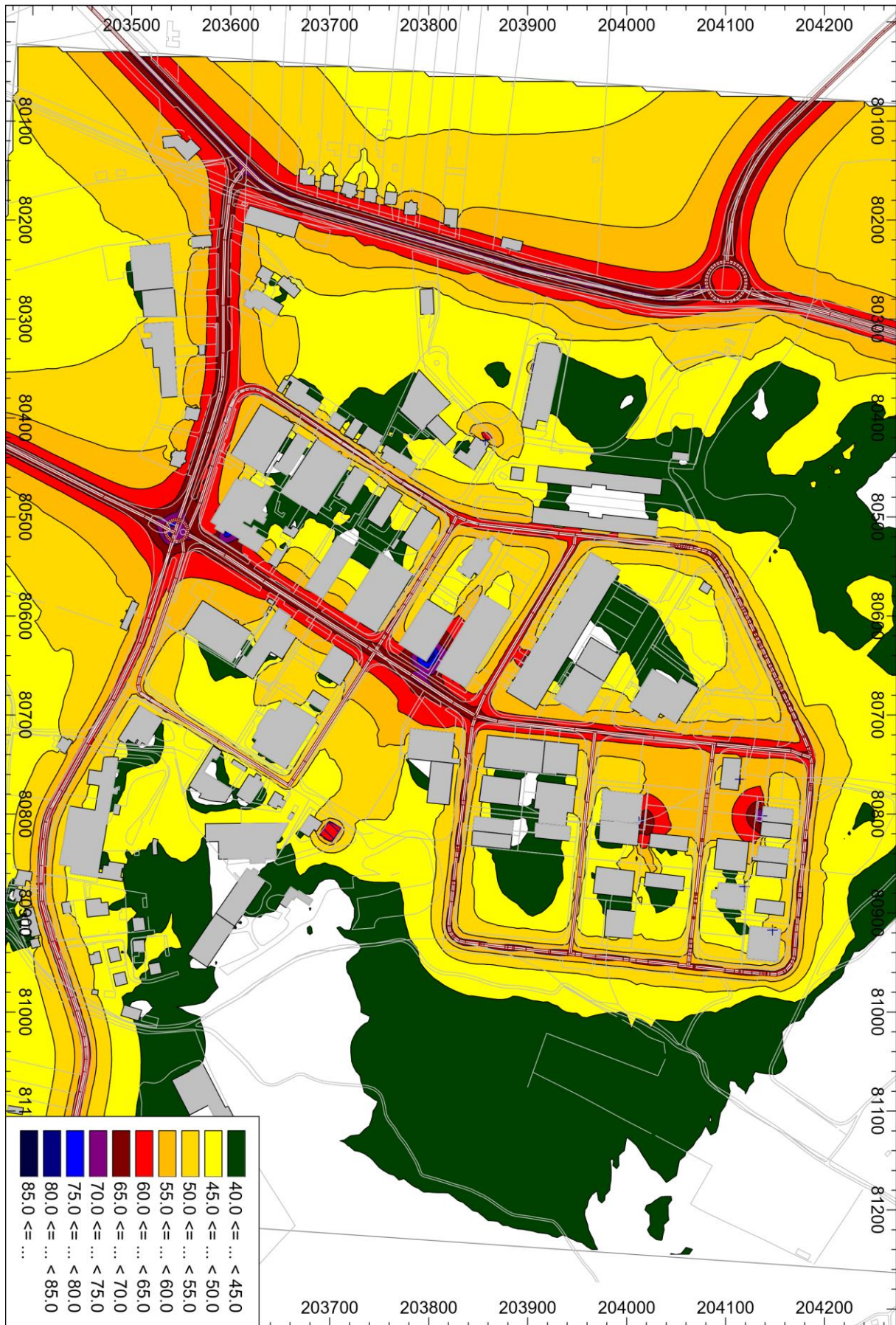


Figura 28 – Lden global para el polígono industrial de Mirandela



Figura 29 – Ln global para el polígono industrial de Mirandela

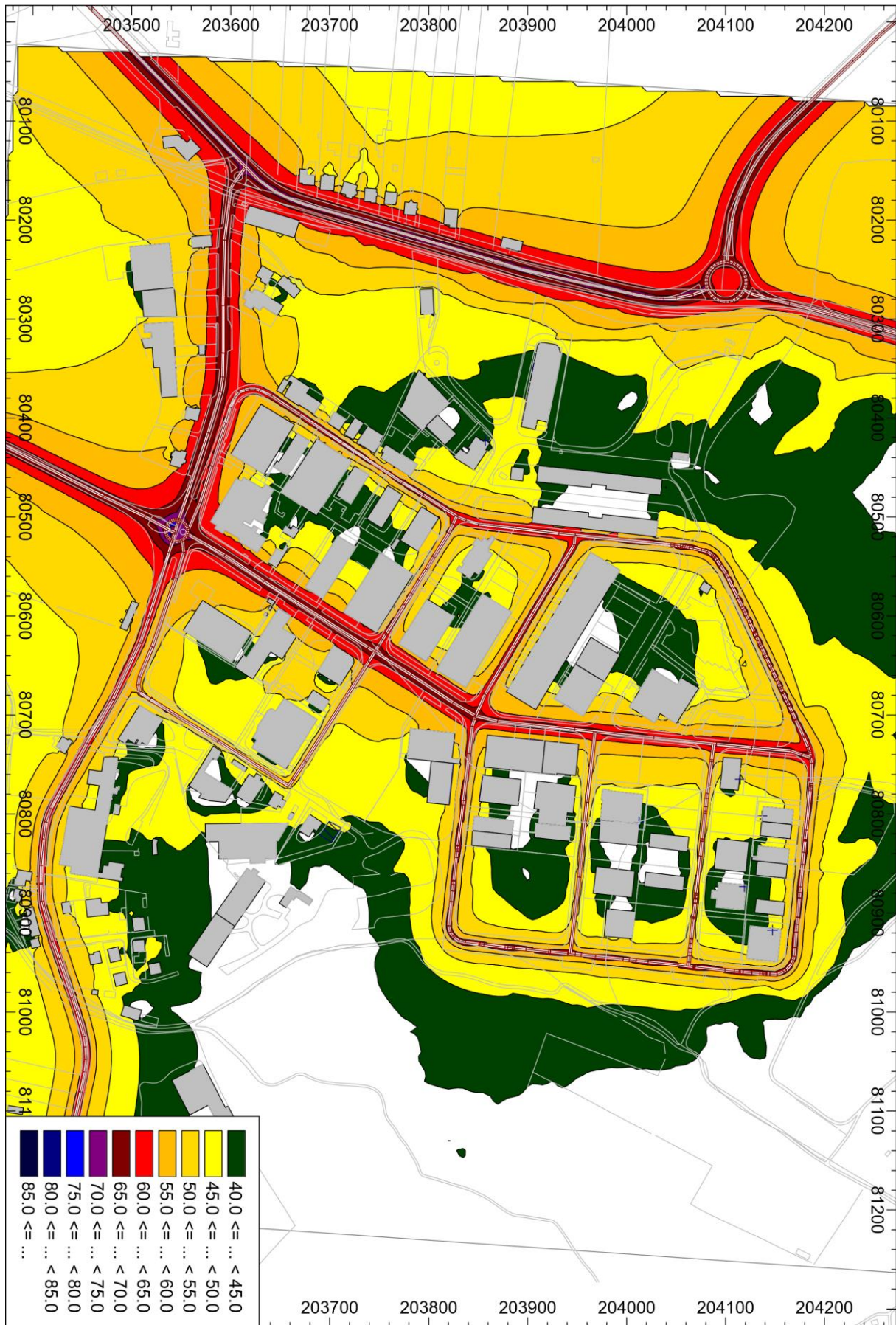


Figura 30 - Lden tráfico para el polígono industrial de Mirandela



Figura 31 - Ln tráfico para el polígono industrial de Mirandela

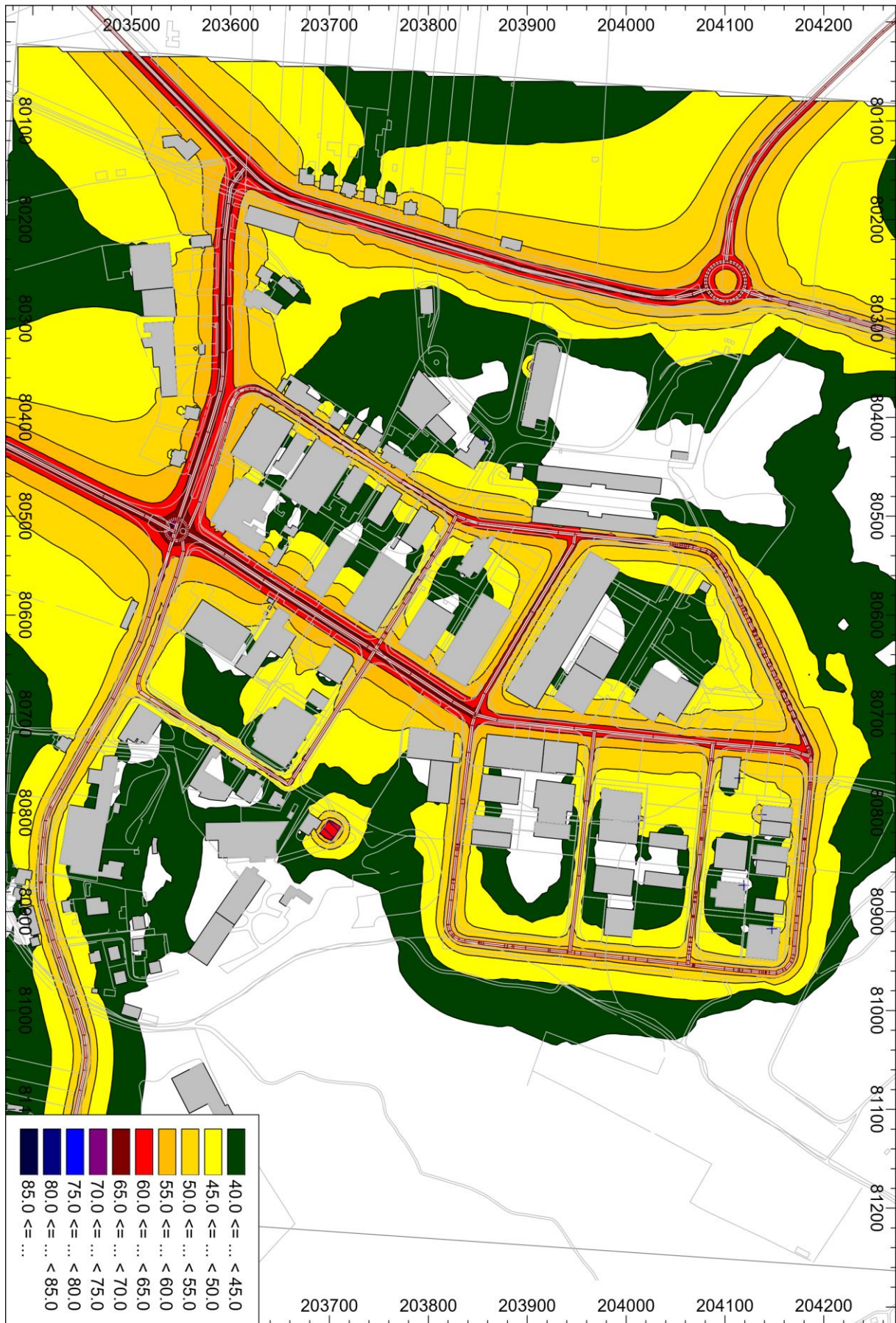


Figura 32 - Lden global con las intervenciones para el polígono industrial de Mirandela



Figura 33 - L_n global com las intervenciones para el polígono industrial de Mirandela

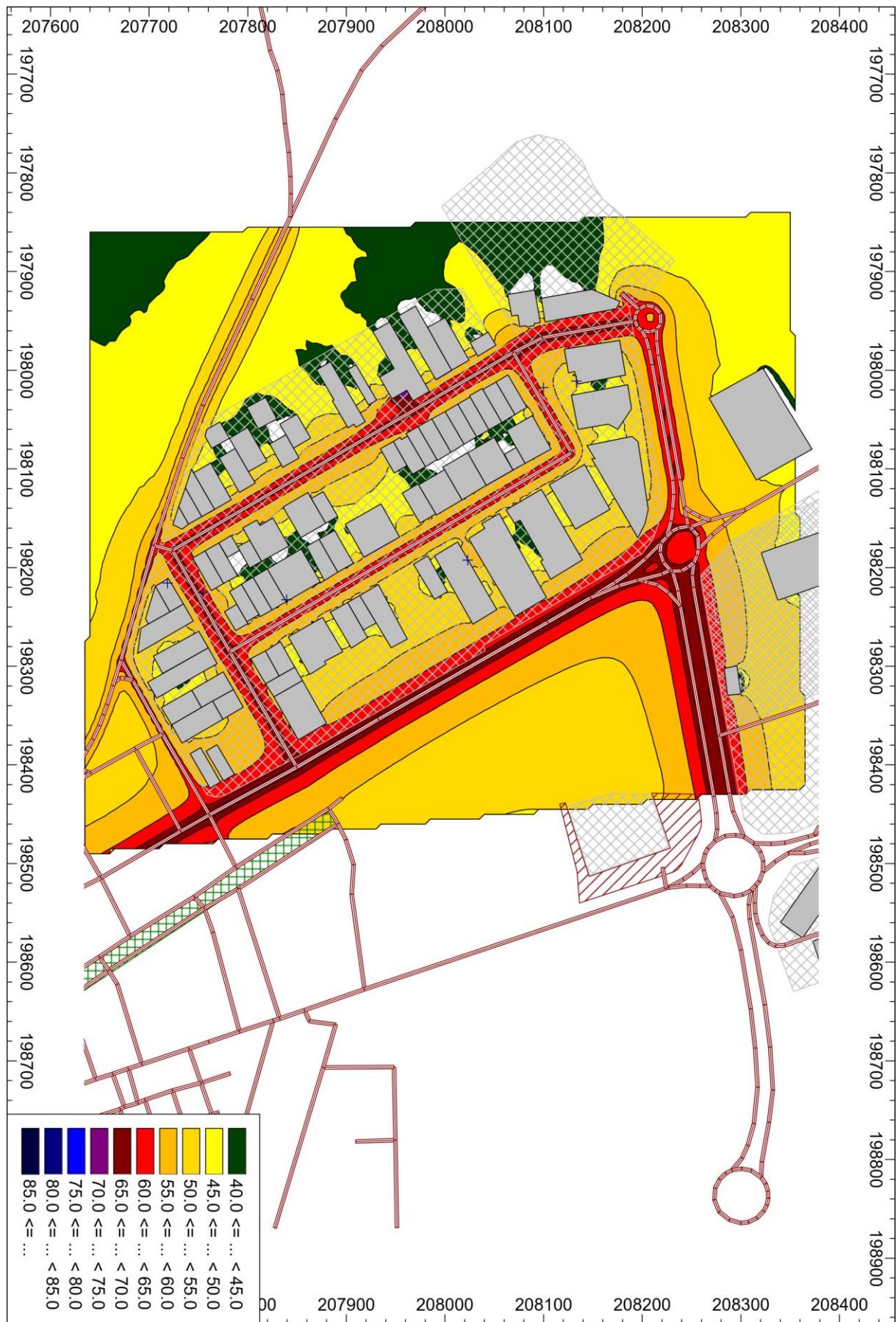


Figura 34 – Lden global para el polígono industrial de Hiniesta en Zamora



Figura 35 – Ln global para el polígono industrial de Hiniesta en Zamora

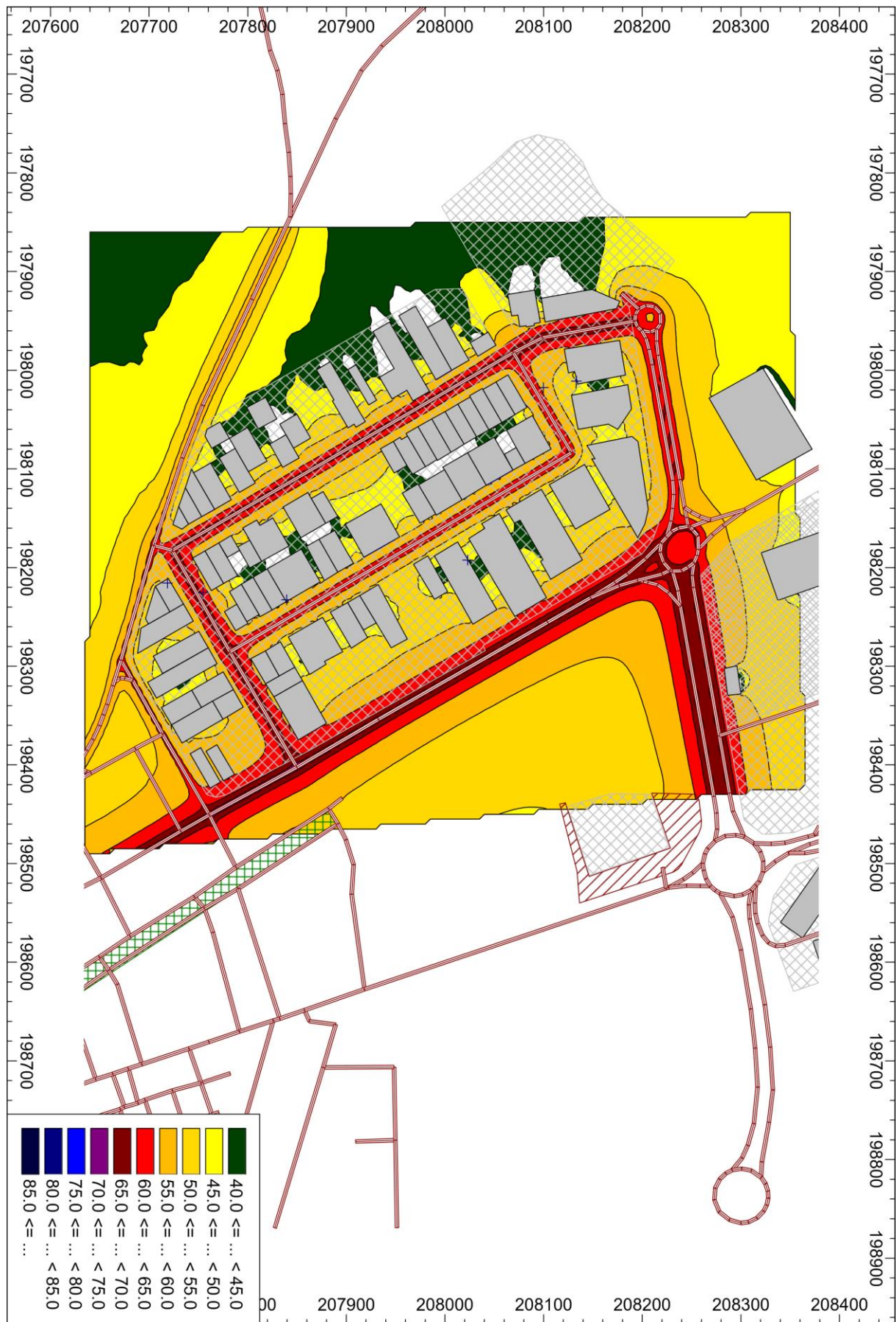


Figura 36 – Lden tráfico para el polígono industrial de Hiniesta en Zamora



Figura 37 – Ln tráfico para el polígono industrial de Hiniesta en Zamora

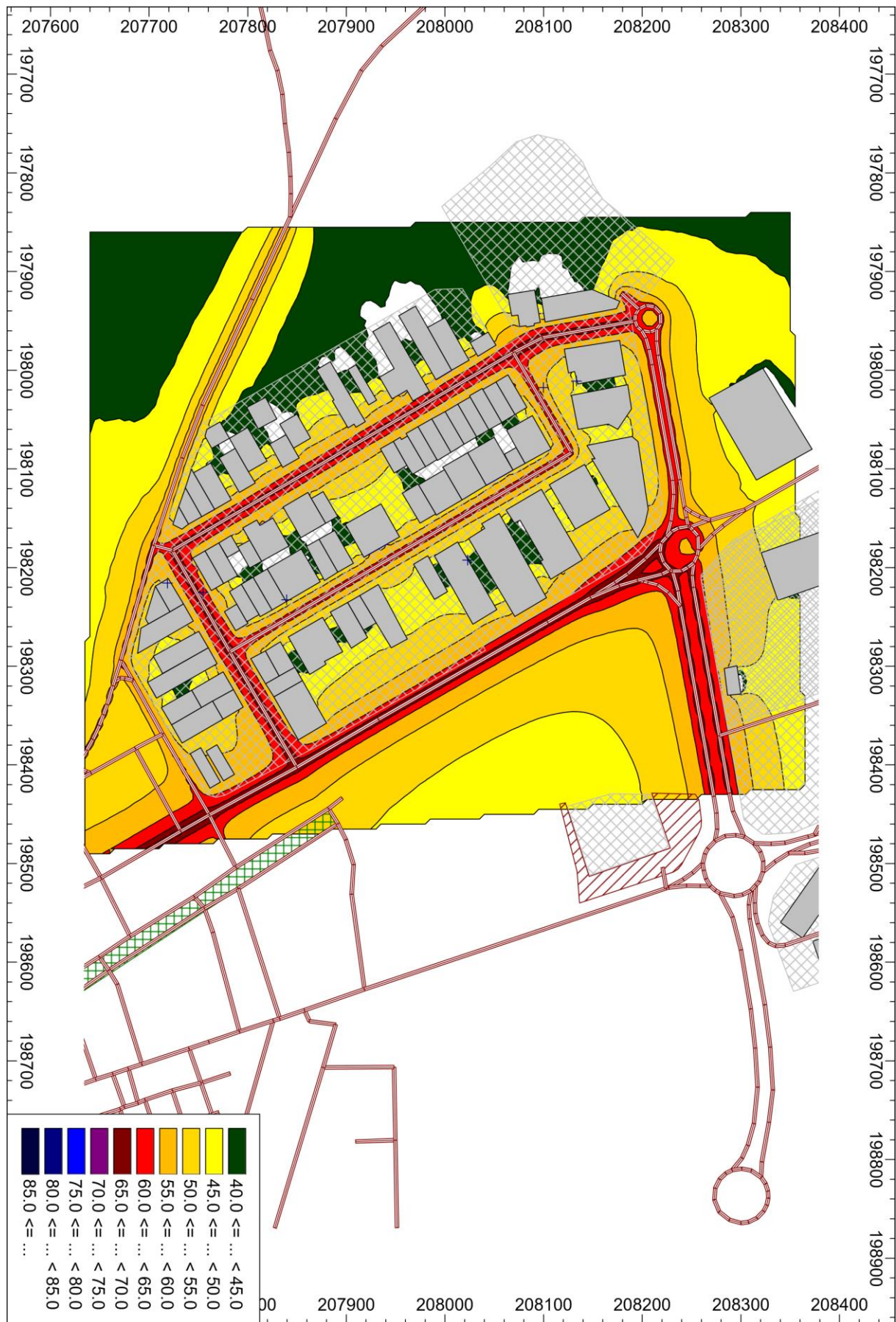


Figura 38 – Lden global con las intervenciones para el polígono industrial de Hiniesta en Zamora



Figura 39 - Ln global con las intervenciones para el polígono industrial de Hiniesta en Zamora

6 CONSIDERACIONES FINALES

El proyecto RehabInd se basó en una amplia recopilación y análisis de datos que permitieron un mayor conocimiento de las principales fuentes de contaminación atmosférica y acústica en los polígonos industriales de Mirandela y Zamora. Además, permitió una investigación más detallada de los factores que influyen en las concentraciones locales de ozono troposférico y partículas, así como el ambiente acústico de cada uno de los polígonos.

Aunque se trata de dos polígonos industriales separados por aproximadamente 100 km y situadas en países diferentes y realidades geográficas diferentes con características orográficas y climáticas distintas, desde el punto de vista de la calidad del aire y del ambiente acústico, ambos los polígonos muestran una gran similitud.

En relación con la calidad del aire, la principal fuente de emisiones de precursores de ozono se ha asociado a las emisiones de los automóviles, observándose un aumento de estos contaminantes en las horas punta. En cuanto a los niveles críticos de exposición al ozono AOT40 para la vegetación y los bosques, los valores de referencia se superaron en ambas zonas industriales, mientras que los valores de AOT60 se mantuvieron dentro del valor objetivo establecido por la Unión Europea. También para el NET60 se observaron valores superiores a 60 ppb durante más de 25 días del año. Aunque se supera el valor objetivo para el NET60, los valores observados están muy cerca de 60 ppb, lo que sugiere que la aplicación de medidas de control del ozono puede dar lugar a una reducción efectiva de este número de excedencias.

En el análisis de los COVs, los automóviles tienen una gran influencia en las concentraciones observadas, sin embargo, no fueron las únicas fuentes identificadas, ya que muchos de los COVs presentes tienen su origen en el uso de fitosanitarios, lubricantes, disolventes y desinfectantes. Así, considerando que muchas de las industrias presentes en las zonas industriales utilizan estos productos, se percibe que además de los automóviles, las actividades industriales influyen en las emisiones de COV, sus concentraciones en la atmósfera y también en la concentración de ozono y otros foto-oxidantes.

En cuanto al ambiente acústico, el tráfico de automóviles y los sistemas de refrigeración se consideraban las principales fuentes de emisión de ruido en Mirandela, y la diferencia entre los niveles diurnos y nocturnos es bastante perceptible. En Zamora, los niveles de ruido más altos estaban asociados a las emisiones de los vehículos. Los niveles más altos de presión sonora se registraron en las horas punta: apertura y cierre de las empresas. No se observó ninguna

situación crítica en relación con los límites legales, no obstante, se entiende que el entorno acústico puede mejorarse, como lo demuestran los resultados de los escenarios estudiados.

Con esta labor fue posible reunir información importante sobre las emisiones atmosféricas y los niveles de ruido en ambos polígonos industriales, lo que puede proporcionar una base estratégica para las medidas destinadas a mejorar la calidad del medio ambiente a nivel local.

7 REFERÊNCIAS

1. Fujita M, Thisse JF (2002) *Economics of agglomeration: cities, industrial location, and regional growth*. Cambridge. Cambridge University Press
2. Hänninen O, Knol AB, Jantunen M, Lim T-A, Conrad A, Rappolder M, Carrer P, Fanetti A-C, Kim R, Buekers J, Torfs R, Iavarone I, Classen T, Hornberg C, Mekel OCL (2014) Environmental Burden of Disease in Europe: Assessing Nine Risk Factors in Six Countries. *Environ Health Perspect* 122:439–446 . doi: 10.1289/ehp.1206154
3. Zheng H, Kong S, Yan Y, Chen N, Yao L, Liu X, Wu F, Cheng Y, Niu Z, Zheng S, Zeng X, Yan Q, Wu J, Zheng M, Liu D, Zhao D, Qi S (2020) Compositions, sources and health risks of ambient volatile organic compounds (VOCs) at a petrochemical industrial park along the Yangtze River. *Sci Total Environ* 703:135505 . doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2019.135505
4. Pierrette M, Marquis-Favre C, Morel J, Rioux L, Vallet M, Viollon S, Moch A (2012) Noise annoyance from industrial and road traffic combined noises: A survey and a total annoyance model comparison. *J Environ Psychol* 32:178–186 . doi: 10.1016/J.JENVP.2012.01.006
5. Jacob DJ (2000) Heterogeneous chemistry and tropospheric ozone. *Atmos Environ* 34:2131–2159 . doi: 10.1016/S1352-2310(99)00462-8
6. Bellantuono N, Carbonara N, Pontrandolfo P (2017) The organization of eco-industrial parks and their sustainable practices. *J Clean Prod* 161:362–375 . doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.082>
7. Chertow MR (2007) “Uncovering” industrial symbiosis. *J Ind Ecol* 11:11–30 . doi: 10.1162/jiec.2007.1110
8. Valenzuela-Venegas G, Salgado JC, Díaz-Alvarado FA (2016) Sustainability indicators for the assessment of eco-industrial parks: classification and criteria for selection. *J Clean Prod* 133:99–116 . doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.113>
9. Yang Z, Wang J (2017) A new air quality monitoring and early warning system: Air quality assessment and air pollutant concentration prediction. *Environ Res* 158:105–117 . doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.06.002>
10. Seinfeld JH, Pandis SN (2016) *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 3rd ed. Wiley
11. IARC (2013) *Outdoor Air Pollution*. IARC Library Cataloguing in Publication Data
12. Gulia S, Nagendra SMS, Barnes J, Khare M (2018) Urban local air quality management framework for non-attainment areas in Indian cities. *Sci Total Environ* 619–620:1308–1318 . doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.123>
13. Schnelle KB, Ternes ME, Dunn R (2017) *Air pollution control technology handbook*
14. De la Guardia M, Armenta S (Sergio) (2016) *The Quality of air*. Elsevier
15. WHO (1999) *Environmental Health Criteria 213: Carbon Monoxide*. World Health Organization, Geneva
16. Wallace JM, Hobbs PV (2006) *Atmospheric science: an introductory survey*. Elsevier Academic Press
17. Hewitt CN, Jackson A V. (2009) *Atmospheric science for environmental scientists*. Wiley-Blackwell
18. Kesselmeier J, Staudt M (1999) Biogenic Volatile Organic Compounds (VOC): An Overview on Emission, Physiology and Ecology. *J Atmos Chem* 33:23–88 . doi: 10.1023/A:1006127516791
19. Guenther A, Hewitt CN, Erickson D, Fall R, Geron C, Graedel T, Harley P, Klinger L, Lerdau M, McKay WA, Pierce T, Scholes B, Steinbrecher R, Tallamraju R, Taylor J, Zimmerman P (1995) A global model of natural volatile organic compound emissions. *J Geophys Res* 100:8873 . doi: 10.1029/94JD02950
20. Placet M, Mann C., Gilbert R., Niefer M. (2000) Emissions of ozone precursors from stationary sources: a critical review. *Atmos Environ* 34:2183–2204 . doi: 10.1016/S1352-2310(99)00464-1
21. Atkinson R (2000) Atmospheric chemistry of VOCs and NOx. *Atmos Environ* 34:2063–2101 . doi: 10.1016/S1352-2310(99)00460-4
22. WHO (2006) *Air Quality Guidelines: Global Update 2005*. World Health Organization, Regional Office for Europe
23. WHO (2013) *Health Effects of Particulate Matter: Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia*. World Health Organization, Regional Office for Europe
24. Hallquist M, Wenger JC, Baltensperger U, Rudich Y, Simpson D, Claeys M, Dommen J, Donahue NM, George C, Goldstein AH, Hamilton JF, Herrmann H, Hoffmann T, Iinuma Y, Jang M, Jenkin ME, Jimenez JL, Kiendler-Scharr A, Maenhaut W, McFiggans G, Mentel TF, Monod A, Prévôt ASH, Seinfeld JH, Surratt JD, Szmigielski R, Wildt J (2009) The formation, properties and impact of secondary organic aerosol: current and emerging issues. *Atmos Chem Phys* 9:5155–5236 . doi: 10.5194/acp-9-5155-2009
25. Whitby KT (1978) The physical characteristics of sulfur aerosols. *Atmos Environ* 12:135–159 . doi: 10.1016/0004-6981(78)90196-8
26. Vallero DA (2014) *Fundamentals of air pollution*. Elsevier Science
27. Yang W, Omaye ST (2009) Air pollutants, oxidative stress and human health. *Mutat Res Toxicol Environ Mutagen* 674:45–54 . doi: 10.1016/J.MRGENTOX.2008.10.005
28. Curtis L, Rea W, Smith-Willis P, Fenyves E, Pan Y (2006) Adverse health effects of outdoor air pollutants. *Environ Int* 32:815–830 . doi: 10.1016/J.ENVINT.2006.03.012
29. Kampa M, Castanas E (2008) Human health effects of air pollution. *Environ Pollut* 151:362–367 . doi: 10.1016/J.ENVPOL.2007.06.012
30. Harlan SL, Ruddell DM (2011) Climate change and health in cities: impacts of heat and air pollution and potential co-benefits from mitigation and adaptation. *Curr Opin Environ Sustain* 3:126–134 . doi: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.01.001>
31. Jack DW, Kinney PL (2010) Health co-benefits of climate mitigation in urban areas. *Curr Opin Environ Sustain* 2:172–177 . doi: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.06.007>

32. Younger M, Morrow-Almeida HR, Vindigni SM, Dannenberg AL (2008) The Built Environment, Climate Change, and Health: Opportunities for Co-Benefits. *Am J Prev Med* 35:517–526 . doi: <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2008.08.017>
33. Troncoso R, de Grange L, Cifuentes LA (2012) Effects of environmental alerts and pre-emergencies on pollutant concentrations in Santiago, Chile. *Atmos Environ* 61:550–557 . doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.077>
34. European Union (2002) Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise
35. Hunashal RB, Patil YB (2012) Assessment of Noise Pollution Indices in the City of Kolhapur, India. *Procedia - Soc Behav Sci* 37:448–457 . doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.310>
36. Muralikrishna I V, Manickam V (2017) Chapter Fifteen - Noise Pollution and Its Control. In: *Environmental Management*. Butterworth-Heinemann, pp 399–429
37. Bies DA, Hansen C, Howard C (2017) *Engineering Noise Control*, Fifth Edition. CRC Press
38. Barron RF (2003) *Industrial Noise Control and Acoustics*. Taylor & Francis
39. Agudelo–Castaneda DM, Calesso Teixeira E, Norte Pereira F (2014) Time–series analysis of surface ozone and nitrogen oxides concentrations in an urban area at Brazil. *Atmos Pollut Res* 5:411–420 . doi: 10.5094/APR.2014.048
40. Bies DA, Hansen CH, Howard CQ (2018) Fundamentals and Basic Terminology. In: *Engineering Noise Control*, 5th ed. pp 1–47
41. Xu WY, Zhao CS, Ran L, Deng ZZ, Liu PF, Ma N, Lin WL, Xu XB, Yan P, He X, Yu J, Liang WD, Chen LL (2011) Characteristics of pollutants and their correlation to meteorological conditions at a suburban site in the North China Plain. *Atmos Chem Phys* 11:4353–4369 . doi: 10.5194/acp-11-4353-2011
42. Markovic D, Markovic D (2005) The relationship between some meteorological parameters and the tropospheric concentrations of ozone in the urban area of Belgrade. *J Serbian Chem Soc* 70:1487–1495 . doi: 10.2298/JSC0512487M
43. Verma N, Lakhani A, Kumari KM (2016) Synergistic relationship between surface ozone and meteorological parameters: A case study. In: *2016 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)*. IEEE, pp 1–6
44. Khare P, Kumar N, Kumari KM, Srivastava SS (1999) Atmospheric formic and acetic acids: An overview. *Rev Geophys* 37:227–248 . doi: 10.1029/1998RG900005
45. Mugica-Alvarez V, Vega E, Sánchez G, Reyes E, Arriaga JL, Chow J, Watson J, Egami RT (2001) Volatile organic compounds emissions from gasoline and diesel powered vehicle. *Atmósfera* 14:29–37
46. Jobson BT, Alexander ML, Maupin GD, Muntean GG (2005) On-line analysis of organic compounds in diesel exhaust using a proton transfer reaction mass spectrometer (PTR-MS). *Int J Mass Spectrom* 245:78–89 . doi: 10.1016/J.IJMS.2005.05.009
47. CIRCABC - European Commission (2013) Octanoic acid Product-type 18 (Insecticides, acaricides and products to control other arthropods)
48. CIRCABC - European Commission (2013) Octanoic acid Product-type 4 (Food and feed area disinfectants)
49. Jenkin ME, Hayman GD (1999) Photochemical ozone creation potentials for oxygenated volatile organic compounds: sensitivity to variations in kinetic and mechanistic parameters. *Atmos Environ* 33:1275–1293 . doi: 10.1016/S1352-2310(98)00261-1



Interreg

España - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



REHABInd

