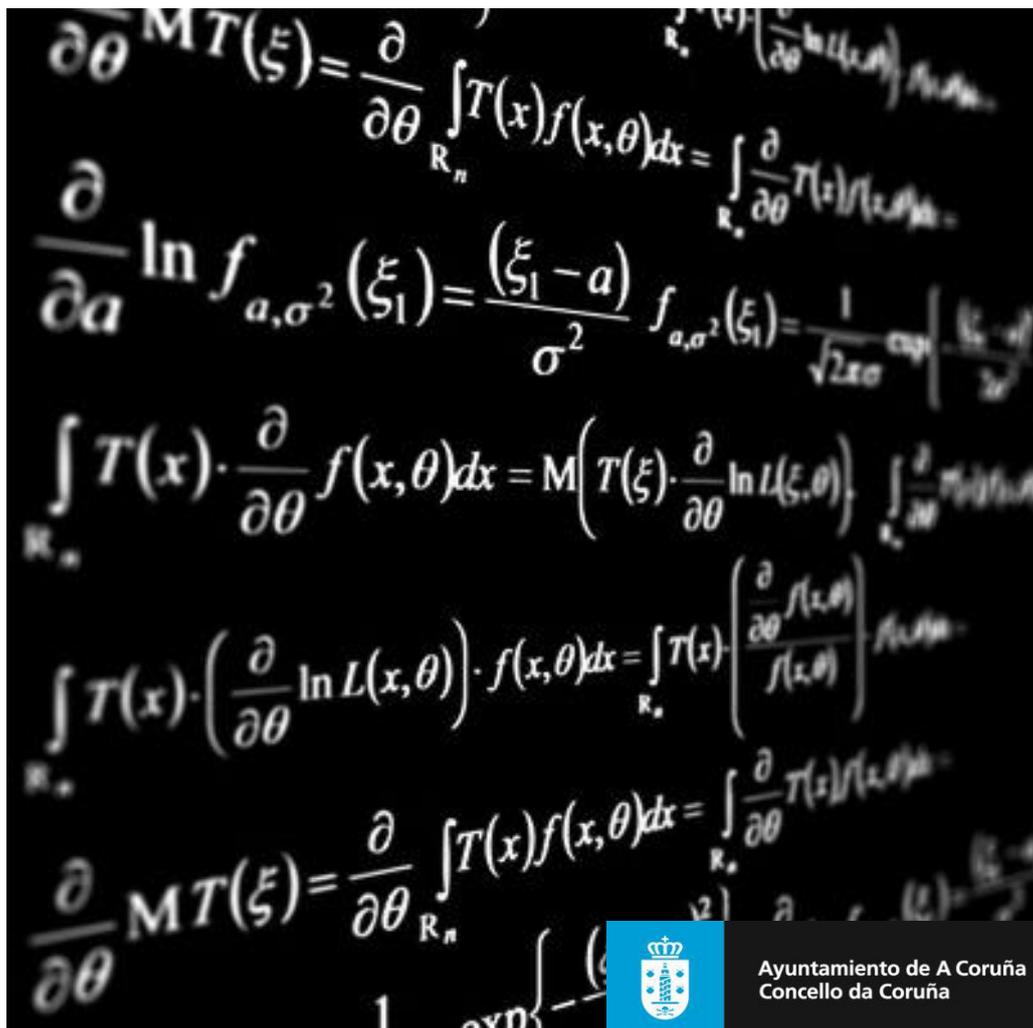


ESTUDIO DE DISPERSIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE DE A CORUÑA



Contenido

1.- OBJETO	6
2.- MARCO DE REFERENCIA	7
3.- INTRODUCCIÓN A LOS ESTUDIOS DE DISPERSIÓN	8
3.1.- VALORES DE REFERENCIA DE CALIDAD DEL AIRE	9
4.- METODOLOGÍA.....	12
5.- EL MODELO CALPUFF	14
5.1.- Modelo CALMET	14
5.2.- Modelo CALPUFF	14
5.3.- DOMINIO Y PARAMETRIZACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	15
Estaciones de calidad del aire	16
6.- MODELO CHIMERE.....	18
6.1.- Aplicaciones.....	18
6.2.- Transporte de contaminantes	18
Mecanismo químico	18
6.3.- Deposición seca	19
6.4.- Deposición húmeda.....	19
7.- METEOROLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	20
7.1.- Valores climatológicos de A Coruña.....	20
7.2.- MODELIZACIÓN METEOROLÓGICA.....	22
El modelo WRF.....	22
Modelización con CALMET.....	23
8.- ESTIMACIÓN DE EMISIONES	25
9.- RESULTADOS	27
9.1.- Validación de los resultados	27
9.2.- Dióxidos de Azufre (SO ₂).....	33
Valores máximos horarios.....	33
Valores promedio diarios	34
Valores promedio anuales.....	35
9.3.- Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	36
Valores máximos horarios.....	36
Valores promedio anuales.....	37
9.4.- Partículas en suspensión PM ₁₀	38
Valores promedio diarios	38



Valores promedio anuales.....	39
9.5.- Partículas en suspensión $PM_{2,5}$	40
Valores promedio anuales.....	40
9.6.- Monóxido de carbono (CO).....	41
Valores máximos horarios.....	41
9.7.- Benceno (C_6H_6).....	42
Valores promedio anuales.....	42
9.8.- Ozono (O_3).....	43
Valores máximos horarios.....	43
10.- CONCLUSIONES	45
11.- REFERENCIAS BIBIOGRÁFICAS	46



ESTRATEGIA PARA LA GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL AYUNTAMIENTO
DE A CORUÑA

ESTUDIO DE DISPERSIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE DE A CORUÑA

AYUNTAMIENTO DE A CORUÑA

Área de Medio Ambiente
Departamento de Calidad Ambiental



El presente documento se ha generado en el marco de la elaboración de la Estrategia de Calidad del Aire del Ayuntamiento de A Coruña.

Asistencia técnica **TROPOSFERA**
SOLUCIONES SOSTENIBLES PARA EL MEDIO AMBIENTE



1.- OBJETO

En el marco de la elaboración de la Estrategia de Calidad del Aire del Ayuntamiento de A Coruña, y una vez actualizado el inventario de emisiones del municipio, realizado el diagnóstico de los valores medidos de los distintos contaminantes durante 2015 y 2016 en el término municipal de A Coruña así como las tendencias observadas, se presenta el siguiente **estudio de dispersión en la atmósfera de las emisiones inventariadas del municipio de A Coruña**.

Para la modelización de los contaminantes en inmisión de las emisiones de A Coruña, se ha utilizado el modelo numérico lagrangiano de dispersión atmosférica **CALPUFF**, regulatorio por la US EPA (Agencia de Protección Ambiental Norteamericana), para los compuestos primarios, y el modelo fotoquímico **CHIMERE** para el ozono (O_3). CALPUFF (Scire et al., 2000) es un modelo lagrangiano, multicapa, multiespecie, de estado no estacionario. Es un modelo tipo 'soplo' (PUFF) que ofrece información completa hora a hora de la variación espacial de la contaminación y su estabilidad. Admite todo tipo de fuentes: puntuales, en línea, volumen, área y fuentes de emisión variable o constante. Se trata de un modelo regulatorio de la US-EPA.



CALPUFF posee, además, un módulo meteorológico propio denominado CALMET, donde se procesan los datos meteorológicos de estaciones de superficie y altura o bien de modelos meteorológicos tridimensionales. Este modelo está recomendado por la EPA (epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm), para transporte de contaminantes a larga distancia y terreno complejo.

Por su parte el **Chimere** (<http://www.lmd.polytechnique.fr/chimere/>) es un modelo de última generación, tridimensional de transporte químico multiescala y diseñado para su uso operativo en la predicción de ozono, aerosoles y otros contaminantes, así como para la generación de simulaciones a largo plazo aplicables en la evaluación de escenarios de emisiones. Puede ser utilizado sobre un amplio rango de escalas espaciales, desde regionales (de varios miles de kilómetros) hasta urbanas, con resoluciones que van desde los 100 km hasta los pocos km.

Chimere simula los procesos que sufren los contaminantes en la atmósfera resolviendo la ecuación de continuidad euleriana para cada especie contaminante, en un sistema tridimensional de mallas anidadas. Esta ecuación describe la dependencia con el tiempo de la concentración media de las especies en el volumen de cada celda como la suma de todos los procesos físicos y químicos que se dan en



ella. El modelo que utiliza actualmente el Ayuntamiento de A Coruña para realizar las predicciones de calidad del aire es **Chimere**.

Como datos meteorológicos, necesarios para la ejecución del modelo, se empleó la serie horaria de condiciones meteorológicas tridimensionales sobre el entorno de A Coruña elaborada con el modelo meteorológico de mesoescala WRF (<http://www.wrf-model.org>) y, en el caso de CALPUFF, con el modelo meteorológico de diagnóstico CALMET a partir de datos del propio WRF. Esta metodología permite la mejora en los resultados finales del modelo, debido al cálculo tridimensional (superficie y altura) de la dispersión de los contaminantes, considerando además efectos topográficos, brisas y fenómenos de mesoescala.

Los datos de emisión utilizados en la modelización están recogidos en la publicación relacionada con los trabajos realizados en el marco de La Estrategia de Calidad del Aire, “*Inventario de Emisiones de A Coruña Actualización 2017*”. Los contaminantes modelizados se corresponden con aquellos del Inventario de Emisiones que están legislados actualmente en el *Real Decreto 102/2011*: dióxido de azufre (SO₂), dióxido de carbono (NO₂), material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos volátiles no metánicos como gas benceno. Para el caso de CHIMERE, también se han utilizado las emisiones EDGAR-HTAP para aquellas emisiones no inventariadas fuera del dominio de A Coruña.

2.- MARCO DE REFERENCIA

El municipio de A Coruña se encuentra ubicado en la provincia de A Coruña, en el noroeste de la comunidad autónoma de Galicia. Limita al norte con el Océano Atlántico, al suroeste con el municipio de Arteixo, al este con el municipio de Oleiros y al sur con el municipio de Culleredo.



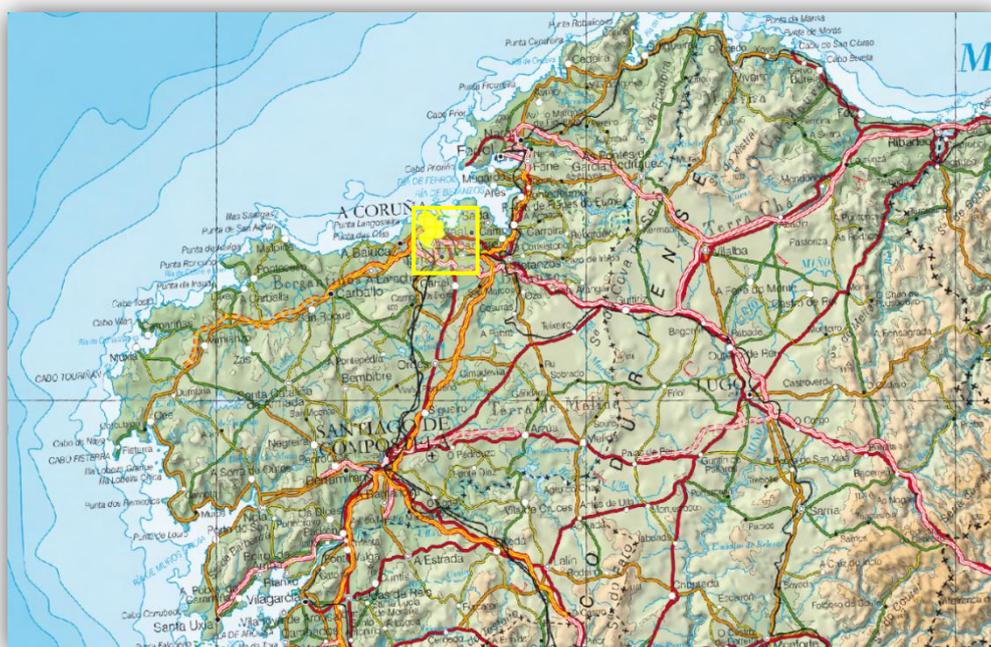


Figura I.- Localización del municipio de A Coruña.

3.- INTRODUCCIÓN A LOS ESTUDIOS DE DISPERSIÓN

Un modelo de dispersión atmosférica es una herramienta de cálculo que permite obtener una estimación de los niveles de inmisión (esto es, en calidad del aire) originados por las emisiones de focos emisores de contaminantes, bajo



determinadas circunstancias meteorológicas y sobre un área geográfica previamente definida.

Existen diferentes tipos de modelos de calidad del aire, aunque la clasificación más usual es aquella que los diferencian por la base algorítmica utilizada: Gaussianos, Lagrangianos y Eulerianos.

La **DIRECTIVA 2008/50/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO**, de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa (Diario Oficial de la Unión Europea nº L 152/1 del 11.06.2008), incorpora el uso de la modelización matemática de la contaminación atmosférica entre las técnicas de evaluación de la calidad del aire. Concretamente en el punto 6 de su introducción se señala “Cuando sea posible, deben aplicarse técnicas de modelización que permitan interpretar los datos puntuales en función de la distribución geográfica de la concentración, lo que podría servir de base para calcular el grado de exposición colectiva de la población residente en la zona”, indicando, en su ANEXO I, los objetivos de calidad de los datos para la evaluación de la calidad del aire ambiente por esta metodología.

A nivel estatal, se establece en el **Real Decreto 102/2011** de 18 de octubre, que podrán utilizarse otras técnicas (distintas a la medición) para evaluar y predecir la calidad del aire, como los modelos matemáticos. Aunque hasta el momento no existe un modelo regulatorio a nivel estatal ni a nivel europeo, sí se han publicado guías de aplicación de los modelos más adecuados para cada caso, realizados por el grupo de trabajo de modelización para el V Seminario de Calidad del Aire de España, auspiciado por el Ministerio de Medio Ambiente en España.

Por su parte, La Agencia de Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA – Environmental Protection Agency) establece una serie de modelos recomendados para abordar distintos problemas de calidad del aire.

El proceso de selección de modelos recomendados es muy riguroso, aunque lento, de tal forma que los modelos son sometidos a pruebas exhaustivas para verificar su capacidad de reproducir los procesos atmosféricos (evaluación frente a datos de experimentos de campo) y su validez frente a otros modelos (intercomparación con otros modelos), de forma que se puede afirmar que tienen una fiabilidad contrastada.

3.1.- VALORES DE REFERENCIA DE CALIDAD DEL AIRE

En el *Real Decreto 102/2011*, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire, se establecen, tanto para la protección de la salud como para la protección de la vegetación, los diferentes Valores límite y Objetivos de calidad del aire que son de aplicación para cada contaminante.

Dióxido de Azufre (SO₂)



SO ₂	Período	Valor	Fecha Cumplimiento
Valor límite horario para la protección de la salud	1 hora	350 µg/m³ No puede superarse en más de 24 ocasiones por año civil	01/01/2005
Valor límite diario para la protección de la salud	24 horas	125 µg/m³ No puede superarse en más de 3 ocasiones por año civil	01/01/2005
^[1]Nivel crítico para la protección de la vegetación	Año Civil e invierno (01/10-31/03)	20 µg/m³	11/06/2008
Umbral de Alerta del SO₂	Se considerará superado cuando durante tres horas consecutivas se exceda dicho valor cada hora, en lugares representativos de la calidad del aire en un área de, como mínimo, 100 km ² o en una zona de aglomeración entera, tomando la superficie que sea menor.		

^[1] Para la aplicación de este valor sólo se tomarán en consideración los datos obtenidos en las estaciones de medición dirigidas a la protección de los ecosistemas naturales y de la vegetación, las cuales han de estar situados a una distancia superior a 20 km de las aglomeraciones o a más de 5 km de otras zonas edificadas, instalaciones industriales o carreteras. A título indicativo, un punto de medición estará situado de manera que sea representativo de la calidad del aire en sus alrededores dentro de un área de al menos 1000 km². Las Administraciones competentes podrán establecer que un punto de medición esté situado a una distancia menor o que sea representativo de la calidad del aire en una zona de menor superficie, teniendo en cuenta las condiciones geográficas o la posibilidad de proteger zonas particularmente vulnerables.

Óxidos de Nitrógeno (NO₂ y NO_x)

NO ₂ / NO _x	Período	Valor	Fecha Cumplimiento
Valor límite horario para la protección de la salud	1 hora	200 µg/m³ No puede superarse en más de 18 ocasiones por año civil	01/01/2010
Valor límite anual para la protección de la salud	1 año civil	40 µg/m³	01/01/2010
^[2]Nivel crítico para la protección de la vegetación	1 año civil	30 µg/m³ de NO_x (expresado como NO ₂)	11/06/2008
Umbral de Alerta del NO₂	Se considerará superado cuando durante tres horas consecutivas se exceda dicho valor cada hora, en lugares representativos de la calidad del aire en un área de, como mínimo, 100 km ² o en una zona de aglomeración entera, tomando la superficie que sea menor.		

^[2] Para la aplicación de este valor sólo se tomarán en consideración los datos obtenidos en las estaciones de medición dirigidas a la protección de los ecosistemas naturales y de la vegetación, las cuales han de estar situados a una distancia superior a 20 km de las aglomeraciones o a más de 5 km de otras zonas edificadas, instalaciones industriales o carreteras. A título indicativo, un punto de medición estará situado de manera que sea representativo de la calidad del aire en sus alrededores dentro de un área de al menos 1000 km². Las Administraciones competentes podrán establecer que un punto de medición esté situado a una distancia menor o que sea representativo de la calidad del aire en una zona de menor superficie, teniendo en cuenta las condiciones geográficas o la posibilidad de proteger zonas particularmente vulnerables.



Partículas en Suspensión PM_{10}

PM_{10}	Período	Valor	Fecha Cumplimiento
Valor límite diario para la protección de la salud	24 horas	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ No puede superarse en más de 35 ocasiones por año civil	01/01/2005
Valor límite anual para la protección de la salud	1 año civil	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	01/01/2005

Partículas en Suspensión $PM_{2,5}$

$PM_{2,5}$	Período	Valor	Margen de tolerancia	Fecha cumplimiento
Valor objetivo anual para la protección de la salud	1 año civil	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	01/01/2010
Valor límite anual (fase I) para la protección de la salud	1 año civil	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20% el 11 de junio de 2008, que se reducirá el 1 de enero siguiente y, en lo sucesivo, cada 12 meses, en porcentajes idénticos anuales hasta alcanzar un 0% el 1 de enero de 2015, estableciéndose los siguientes valores: 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2008; 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2009 y 2010; 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2011; 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2012; 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2013 y 2014	01/01/2015
^[3] Valor límite anual (fase II) para la protección de la salud	1 año civil	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	01/01/2020

^[3] Valor límite indicativo que deberá ratificarse como valor límite en 2013 a la luz de una mayor información acerca de los efectos sobre la salud y el medio ambiente, la viabilidad técnica y la experiencia obtenida con el valor objetivo en los Estados Miembros de la Unión Europea.

Monóxido de Carbono (CO)

CO	Período	VL	Fecha Cumplimiento VL
Valor límite anual para la protección de la salud	Máxima Diaria de las medias móviles octohorarias	10 mg/m^3	01/01/2005

Benceno (C_6H_6)

Benceno	Período	Valor	Fecha Cumplimiento
Valor límite anual para la protección de la salud	1 año civil	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	01/01/2010



Ozono (O₃)

O ₃	Período	Valor	Fecha Cumplimiento
Valor objetivo para la protección de la salud	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias en un año civil	120 µg/m³ que no deberá superarse más de 25 días por cada año civil de promedio en un período de 3 años	01/01/2010
Valor objetivo para la protección de la vegetación	AOT40 calculado a partir de valores horarios de mayo a junio	18000 (µg/m³)·h de promedio en un período de 5 años	01/01/2010
Umbral de información	Promedio horario	180 µg/m³	En vigor
Umbral de alerta	Promedio horario	240 µg/m³	En vigor

4.- METODOLOGÍA

Para la realización del presente estudio de dispersión se ha utilizado el modelo lagrangiano de calidad del aire “CALPUFF” para la modelización de SO₂, NO₂, CO, PM₁₀ y C₆H₆. CALPUFF posee un módulo meteorológico propio, denominado CALMET, donde se procesan los datos meteorológicos de estaciones de superficie y altura o bien de modelos meteorológicos tridimensionales. En este proyecto, los datos necesarios para alimentar al modelo CALMET se han obtenido del modelo meteorológico WRF (ARW).

Por último, el modelo CALPUFF, y para realizar correctamente la dispersión, integra un módulo de terreno. En este módulo, los datos topográficos se han construido a partir de datos de usos del suelo así como un modelo digital de terreno de la zona de estudio, los cuales fueron obtenidos del GLCC (Global Land Cover Characterization) y SRTM₃ (Shuttle Radar Topography Mission), respectivamente. En los sucesivos capítulos se detallan las distintas etapas y procesos de esta metodología de modelización.

Para la modelización de O₃, se ha utilizado el modelo fotoquímico **Chimere**. Este modelo simula los procesos que sufren los contaminantes en la atmósfera resolviendo la ecuación de continuidad euleriana para cada especie contaminante, en un sistema tridimensional de mallas anidadas. Esta ecuación describe la dependencia con el tiempo de la concentración media de las especies en el volumen



de cada celda como la suma de todos los procesos físicos y químicos que se dan en ella.



Figura 2.- Diagrama de la metodología de modelización con CALPUFF



Figura 3.- Diagrama de la metodología de modelización con CHIMERE



5.- EL MODELO CALPUFF

El modelo CALPUFF (Scire et al., 2000) es un modelo lagrangiano de puffs, multicapa, multiespecie, de estado no estacionario, utilizado para el diagnóstico de la dispersión de contaminantes en la atmósfera.

El sistema de dispersión CALPUFF consta de 2 módulos principales: El modelo de diagnóstico meteorológico CALMET y el modelo de dispersión atmosférica CALPUFF.

5.1.- Modelo CALMET

Se trata de un modelo de diagnóstico meteorológico tridimensional. Este modelo utiliza estaciones en superficie y altura (radiosondeos) u otros modelos meteorológicos. Está formado por un módulo de diagnóstico del campo de vientos capaz de simular efectos locales, como los flujos de ladera, efectos cinemáticos y de bloqueo del terreno y un módulo de capa límite, por el cual se obtiene, por ejemplo, la altura de la base de la capa de mezcla. La ventaja comparativa de este modelo meteorológico frente a las soluciones tradicionales gaussianas (ej. Uso de una sola estación meteorológica en superficie) es evidente, puesto que es capaz de simular condiciones a escala local que cambian por completo el escenario meteorológico, y por tanto, la dispersión de los contaminantes.

En general, el modelo incluye tres pasos. El primer paso es interpolar o extrapolar los datos de viento medidos a la malla del dominio de estudio. El siguiente paso consiste en la parametrización para modelizar los efectos cinemáticos del terreno y del entorno. El tercer paso es ajustar los campos de vientos de modo que sean consistentes (condición de divergencia nula).

5.2.- Modelo CALPUFF

El modelo CALPUFF es usado para evaluar las concentraciones en superficie de contaminantes emitidos desde una gran variedad de fuentes de tipo industrial (fuentes puntuales, lineales, de área y de volumen). Se trata de un modelo de dispersión que trabaja simulando los efectos de las variaciones en el tiempo y en el espacio sobre el transporte, transformación y eliminación de los contaminantes.

Tiene en cuenta el depósito seco y húmedo, así como la sedimentación de partículas, downwash, la sobreelevación de penachos, separación de fuentes, ajuste al terreno, etc.

Puede aplicarse a escalas desde decenas a centenas de kilómetros e incluye algoritmos para tratar procesos a escala subgrid, así como, efectos a gran escala.

Se trata de un modelo regulatorio y recomendado actualmente por la US-EPA (agencia de protección ambiental del Gobierno de EE.UU.) para la evaluación de la calidad del aire.

En general, los modelos lagrangianos se utilizan para las evaluaciones del riesgo a la salud asociadas con emisiones de fuentes individuales, siendo el modelo CALPUFF uno de los más ampliamente usados (Levy et al., 2002; Zhou et al., 2003). En este



modelo las emisiones se tratan como “puffs” –o paquetes– que experimentan procesos de transformación química al mismo tiempo que se van desplazando a través de un campo meteorológico tridimensional. Por último, el uso de modelos lagrangianos de puffs está recomendado para condiciones de terreno y meteorológicas complejas, como es el presente estudio.

5.3.- DOMINIO Y PARAMETRIZACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

El dominio de simulación definido para el presente estudio (Figura 4) abarca, con 22 celdas en dirección X y 22 celdas en dirección Y, a una resolución de 500 m, un área de 121 km² cubriendo la totalidad del municipio de A Coruña.

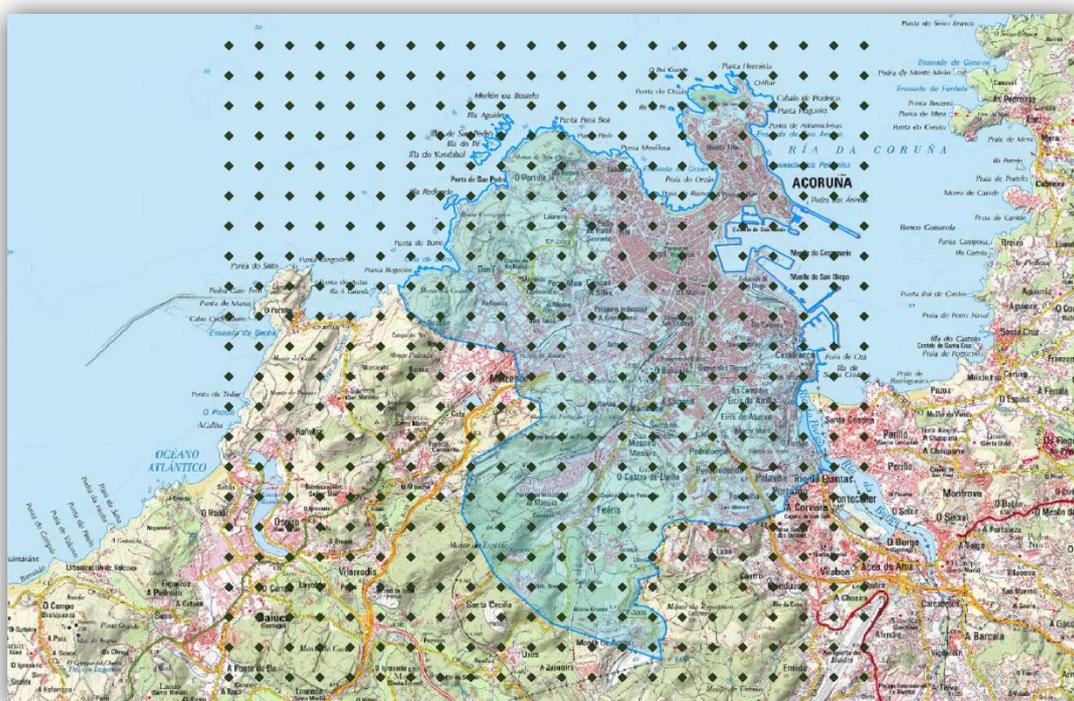


Figura 4.- Dominio de simulación donde se representa la malla de puntos de resolución de 500 m.

Así, la esquina inferior izquierda del dominio, queda definida por las coordenadas UTM (huso 29, WGS-84) $X= 539.998$ m e $Y= 4.793.839$ m.

Para este dominio se incorporaron datos de topografía para construir el modelo digital de terreno obtenido a partir del “Shuttle Radar Topography Mission” (SRTM), con una alta resolución (90 m). En la Figura 5, se expone el modelo digital de terreno construido para la simulación:



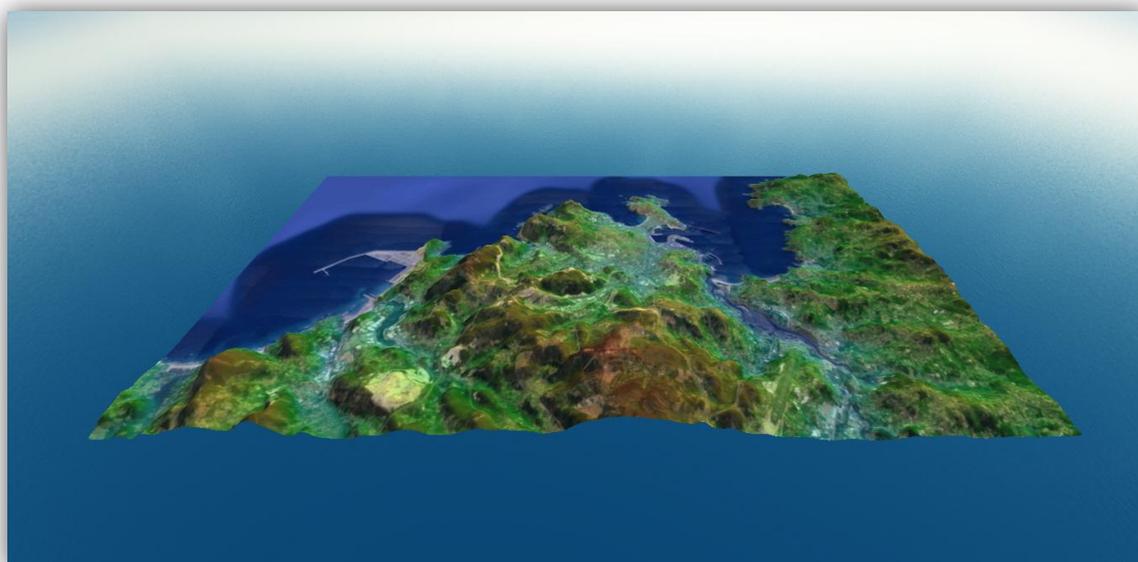


Figura 5.- Modelo digital de terreno de la zona de estudio enfocado al dominio utilizado.

Las opciones de dispersión consideradas para la ejecución del modelo CALPUFF fueron las regulatorias por defecto, considerando las opciones de topografía compleja (seguimiento de terreno) y atribuyendo una ocupación del terreno de tipo rural.

Estaciones de calidad del aire

El Ayuntamiento de A Coruña dispone actualmente de dos estaciones automáticas para el control de la calidad del aire clasificadas como de fondo urbano, estando ambas orientadas a la protección de la salud humana: Santa Margarita y Castrillón. Adicionalmente, el Ayuntamiento ha dispuesto un punto de control de material particulado en suspensión en San Diego (Os Castros).

Por otro lado, en el término municipal existen también dos estaciones de vigilancia de la calidad del aire gestionadas por la Xunta de Galicia y otras dos para control industrial de gestión privada: A Grela, Torre, Riazor y San Pedro.

A continuación se resume la metainformación de todas ellas y se presenta el plano general de las ubicaciones:

Tabla 1.- Coordenadas y altitudes de las estaciones de calidad del aire de A Coruña.

Nombre Estación	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Tipo
A Grela	43°21'15,00"N	8°25'29,76"O	45	Industrial
Torre	43°22'58,00"N	8°24'33,12"O	20	Fondo
Riazor	43°22'01,50"N	8°25'14,12"O	30	Tráfico
San Pedro	43°22'38,69"N	8°26'12,71"O	134	Industrial



Nombre Estación	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Tipo
Santa Margarita	43°21'46,48"N	8°24'39,46"O	32	Fondo
Castrillón	43°20'51,71"N	8°23'51,78"O	61	Fondo
San Diego	43°21'16,00"N	8°23'22,00"O	14	Industrial

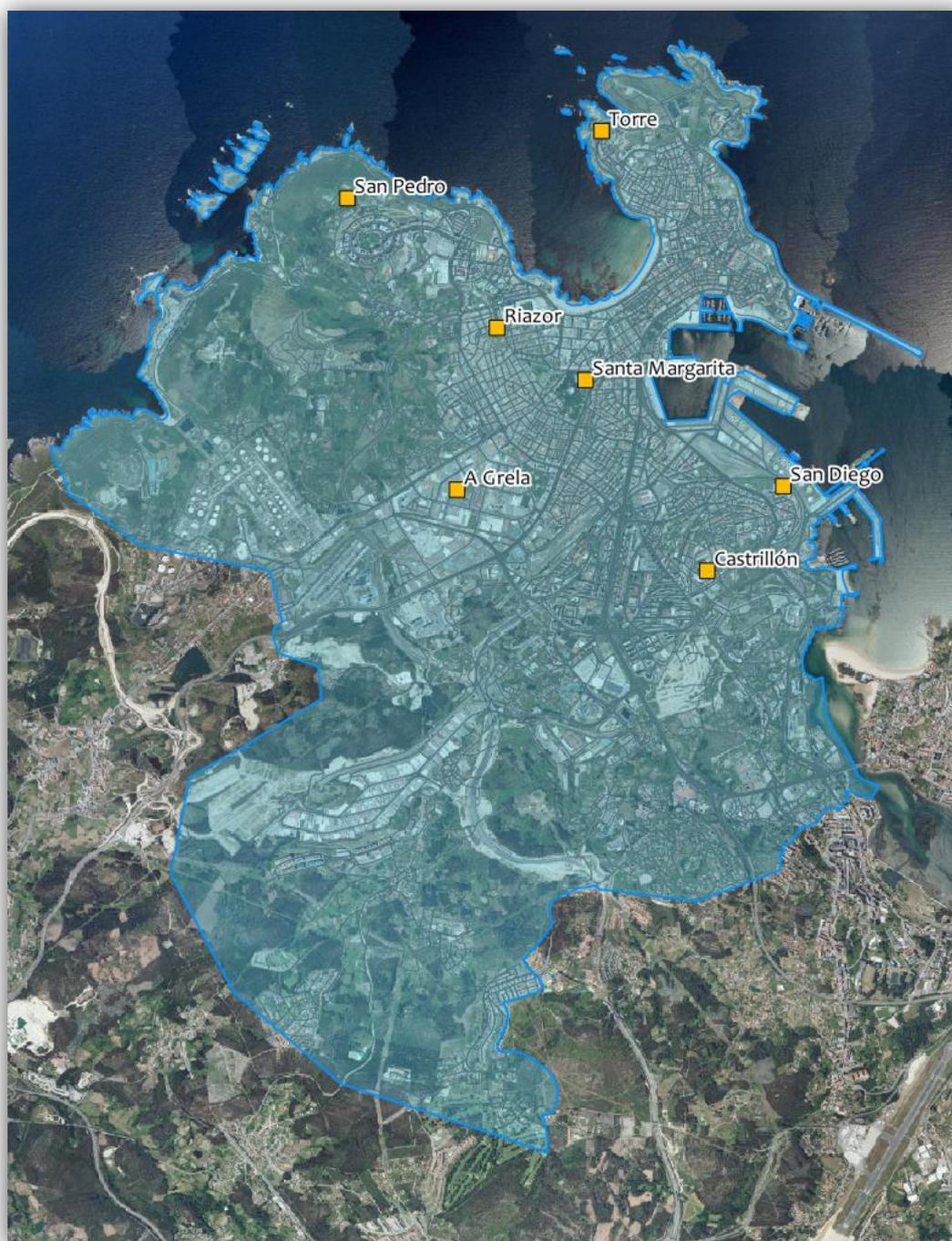


Figura 6.- Situación de las estaciones de calidad del aire de A Coruña.



6.- MODELO CHIMERE

Este estudio de diagnóstico de ozono se realizó a alta resolución para toda España, la comunidad gallega y el municipio de A Coruña, en este último sobre una malla de 3 km y con un horizonte temporal de 1 año (año 2016) en base a las salidas meteorológicas horarias generadas a partir del modelo WRF e inicializadas a partir de reanálisis del NCAR, con una resolución de 4 km.

Dado el carácter regional de los flujos de ozono, y el transporte que se sucede desde zonas muy distantes al municipio, es importante también valorar las concentraciones de ozono en A Coruña desde un punto de vista de mesoescala.

6.1.- Aplicaciones

Este modelo se usa en un amplio rango de actividades de investigación, entre las que se pueden incluir:

- » Análisis de sensibilidad tanto a emisiones antropogénicas como biogénicas.
- » simulación de contaminantes de origen fotoquímico.

6.2.- Transporte de contaminantes

El transporte horizontal se calcula por convergencia de flujo para cada contaminante que atraviesa los límites de cada celda, utilizando como método numérico el Parabolic Piecewise Method. Verticalmente, el transporte se calcula asumiendo condiciones de convergencia nula con el transporte horizontal, y la turbulencia aplicando la formulación KZ.

Mecanismo químico

Chimere ofrece la opción de incluir diferentes mecanismos químicos en fase gas. El original, el mecanismo completo, denominado MELCHIOR1, describe más de 300 reacciones de 80 especies en fase gas. La degradación de hidrocarburos se trata de modo similar a como lo hace EMEP, con ciertas adaptaciones incluidas para la gestión de condiciones de baja concentración de NOx y la química del NOx-nitrato. Además, todas las constantes de reacción fueron actualizadas posteriormente para responder a los avances que se produjeron en este campo. También se incluye formulación para tener en cuenta la formación heterogénea de HONO por deposición de NO2 en superficies húmedas.

Con todo esto, y para reducir el tempo de cálculo, se desarrolló un mecanismo reducido basado en MELCHIOR1 de 44 especies y 116 reacciones químicas, siguiendo el concepto de “operadores químicos”. Este mecanismo fue el utilizado a lo largo de este trabajo y recibe el nombre de MELCHIOR2.

Para el cálculo de las velocidades de reacción fotolíticas se emplea además un archivo de velocidades de fotólisis en función de la altura. Las velocidades de



fotólisis que se incluyen con el modelo fueron calculadas bajo condiciones de cielo despejado utilizando el modelo de TUV. Posteriormente, son aplicadas correcciones en función de la nubosidad. **Chimere** puede realizar el cálculo del transporte de contaminantes hasta los 14.000 m de altura, pero solo puede computar reacciones químicas hasta los 9000 m, al no contar con tablas de velocidades de fotólisis más allá de esta distancia.

6.3.- Deposición seca

La deposición seca se considera para 23 especies del modelo y está parametrizada como un flujo de salida de la capa inferior del modelo, que está descrita siguiendo una analogía con la suma de resistencias.

6.4.- Deposición húmeda

La deposición húmeda se trata en el **Chimere** teniendo en cuenta cuatro situaciones tipo, aplicando diferentes parametrizaciones en cada caso:

- » Gases en el interior de nubes.
- » Gases en el interior de gotas de lluvia por debajo de las nubes.
- » Partículas en el interior de nubes.
- » Partículas en el interior de gotas de lluvia debajo de las nubes.



7.- METEOROLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO

7.1.- Valores climatológicos de A Coruña

El clima de A Coruña es un clima oceánico mediterráneo con temperaturas que se mantienen suaves todo el año. La amplitud térmica anual es baja. A Coruña se sitúa en el piso de la región eurosiberiana - piso colino, representado ampliamente en toda Galicia, con superficies entre 0 y 500 metros de altitud.

Al tratarse de una localidad costera, tiene un clima marítimo que impide que exista una gran diferencia de temperatura entre las distintas estaciones del año. Los inviernos son suaves y los veranos templados, y se tienen precipitaciones combinadas con temporadas de sol.

Los inviernos son suaves con temperaturas mínimas que se registran en el mes de febrero, con una media de 10-11 °C.

Los veranos coruñeses son frescos y el mes de agosto es el más caluroso, alcanzando la media de 19-20 °C.

La temperatura media anual es de 15 °C, no registrándose grandes diferencias entre los registros extremos diarios y anuales.

Las precipitaciones se hallan distribuidas en las cuatro estaciones del año, alternadas con temporadas de sol. El año tiene unos 130 días con precipitaciones y 2.000 horas de sol. La media de lluvias de invierno es de 130 mm, en verano es más baja, de hasta 35 mm. La humedad ambiente es muy elevada, promediando el 70% durante todo el año.

El régimen de vientos se asemeja a la situación sinóptica de Galicia al encontrarse en plena costa gallega. Son características dos situaciones:

En invierno, la entrada de frentes procedentes del océano Atlántico en el noroeste peninsular origina vientos de dirección sur-suroeste, que son constantes y energéticos. En verano, el anticiclón se centra en las islas Azores, y entra en Galicia originando vientos de dirección noreste. En general suelen ser suaves, aunque en ocasiones también muy energéticos.

A continuación se expone la rosa anual de los valores normales de viento para la estación de A Coruña de AEMET¹, la estación de registro climático con observaciones entre 1971 y 2000:

¹Fuente: AEMET



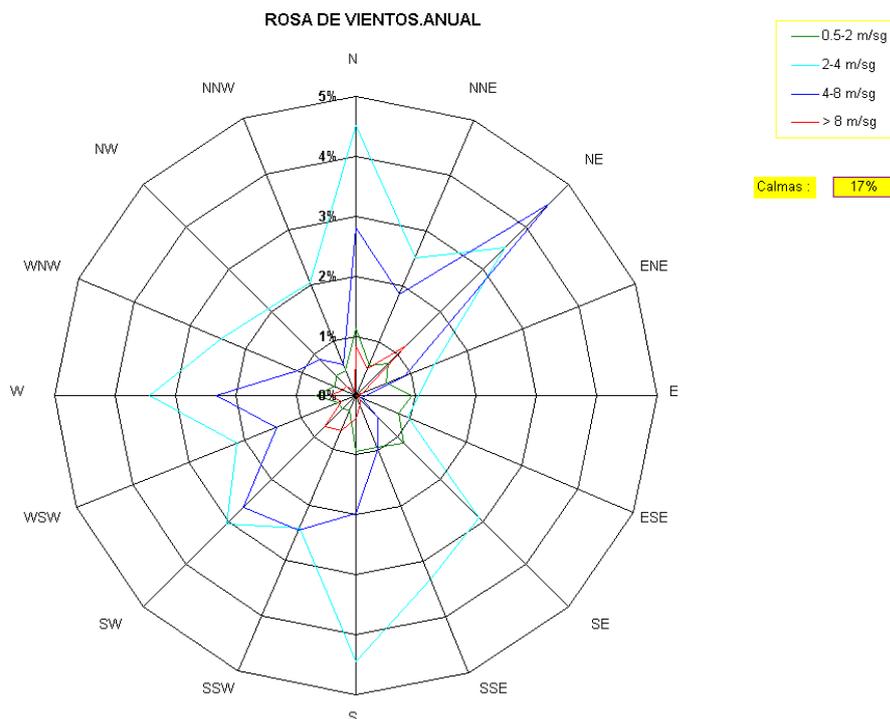


Figura 7.- Rosa de vientos en la estación A Coruña para el período 1971-2000. FUENTE: AEMET

Los datos climatológicos normales (Tabla 2) se corresponden con los datos recogidos para el período 1981-2010 por la estación de A Coruña, coordenadas geográficas 43° 21' 57" N - 8° 25' 17" O y altitud de 58 m.

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	10,8	13,5	8,1	112	75	14	0,1	1,6	1	0,1	3,6	102
Febrero	11,1	14,1	8	88	73	12	0,1	1,1	1,3	0	3,6	121
Marzo	12,4	15,5	9,2	75	72	11,5	0	1,1	1,2	0	4,4	160
Abril	13	16,2	9,9	88	73	13,3	0	1,7	1,5	0	3,5	175
Mayo	15	18,1	12	74	75	11,1	0	1,8	3	0	2,3	201
Junio	17,4	20,6	14,3	44	76	6,7	0	1	4,7	0	4,3	225
Julio	19	22,1	15,9	34	77	5,5	0	1,2	6,7	0	5,4	239
Agosto	19,6	22,8	16,4	35	77	5,7	0	1,1	6,2	0	5,2	244
Septiembre	18,6	22	15,2	64	76	7,9	0	1,6	5,2	0	5,7	192
Octubre	16,1	19,1	13	130	77	12,9	0	1,3	3,2	0	3,5	149
Noviembre	13,3	16	10,5	138	77	14,3	0	1,8	1,6	0	2,7	108
Diciembre	11,5	14,1	8,9	131	75	14,6	0	1,5	1,3	0	4,6	94
Año	14,8	17,8	11,8	1.014	75	129,6	0,2	16,8	37	0,1	48,6	2.010

Tabla 2.- Datos climatológicos de la estación meteorológica A Coruña. (FUENTE: AEMET)



Leyenda

T	-- Temperatura media mensual/anual (°C)
TM	-- Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)
Tm	-- Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)
R	-- Precipitación mensual/anual media (mm)
H	-- Humedad relativa media (%)
DR	-- Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm
DN	-- Número medio mensual/anual de días de nieve
DT	-- Número medio mensual/anual de días de tormenta
DF	-- Número medio mensual/anual de días de niebla
DH	-- Número medio mensual/anual de días de helada
DD	-- Número medio mensual/anual de días despejados
I	-- Número medio mensual/anual de horas de sol

7.2.- MODELIZACIÓN METEOROLÓGICA

En la mayor parte de las localizaciones en las que se desarrollan trabajos de modelización de la dispersión de contaminantes atmosféricos, existe la dificultad añadida de que no existen datos de estaciones meteorológicas de superficie y/o de radiosondeos (datos meteorológicos en altura). Es por ello que en el estado del arte actual se utilizan frecuentemente datos de modelos meteorológicos para suplir estos datos de medidas, tanto en superficie como en altura.

El modelo WRF

El WRF (<http://www.wrf-model.org>) es un modelo meteorológico de última generación que permite obtener campos de viento, presión, temperatura y humedad con alta resolución espacio-temporal, los cuales son de suma importancia como datos de entrada de los modelos de calidad de aire. El modelo WRF tiene la particularidad de poder ser configurado localmente para representar dominios espaciales en diferentes escalas de acuerdo al estudio que desee realizarse.

En lo referente a este estudio, se ejecutó WRF para un año de datos, tomando los períodos de enero a diciembre de 2016, inicializado a partir de los datos de re-análisis FNL del National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Partiendo de condiciones a escala sinóptica del FNL, se siguió un patrón de dominios anidados hasta obtener un dominio de modelado a alta resolución (4 km), centrado sobre la esquina NW de la península, obteniendo datos horarios de más de 20 parámetros meteorológicos y a 32 niveles diferentes de altura.



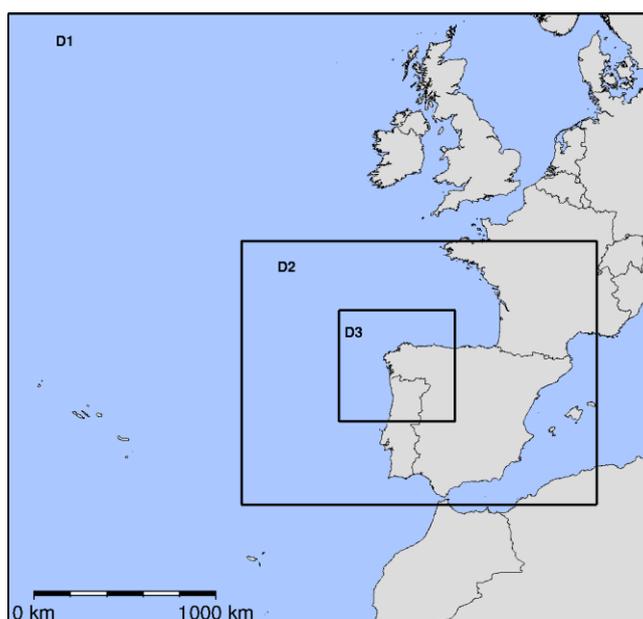


Figura 8.- Dominio utilizado para el modelo meteorológico WRF.

El WRF está diseñado para utilizarse tanto en funciones de predicción como de reanálisis. Presenta una arquitectura modular, pudiendo ser aplicadas diferentes parametrizaciones de tipo dinámico o físico, entre otros. Ofrece también diversos sistemas de asimilación de datos reales, así como un paradigma de desarrollo software que permite su ejecución tanto en ordenadores personales como en grandes estaciones de computación paralela. WRF es adecuado para un amplio espectro de aplicaciones a distintas escalas, pudiendo trabajar a resoluciones de cientos de metros hasta miles de kilómetros.

Modelización con CALMET

El modelo CALMET 3D se ha ejecutado para un año de datos meteorológicos, y ha sido alimentado por el modelo mesoescalar WRF, mediante la metodología que se describe a continuación:

Se extrajeron los datos relativos al año 2016 del modelo WRF con una resolución de 4 km sobre la zona de estudio. Una vez realizada esta fase, la salida de este dominio inferior (4 km) ha sido tratada por la rutina CALWRF, que se encarga de leer la salida del modelo WRF y transformarla en un fichero 3D.dat, formato aceptado para la ingesta por el modelo CALMET. Este fichero contiene todos los datos meteorológicos en altura y superficie que contiene el modelo WRF. En CALMET se realiza el “downscaling” meteorológico - aumento de la resolución de la salida del modelo WRF – hasta los 500 m, y posteriormente se ejecutó el modelo CALPUFF. La ingesta del modelo CALMET a través del modelo WRF supone una mejora sustancial debido a que este nos proporciona mucha más información en superficie y altura que las medidas.

Así mismo, se han modelizado 12 niveles en altura: 0, 20, 40, 79, 176, 290, 439, 640, 1.180, 1.580, 2.062, 3.354, 4.162 m.



Para comprobar que las condiciones meteorológicas del estudio reflejan las situaciones sinópticas y regímenes de viento característicos de la zona de estudio, se han generado rosas de viento de las salidas del modelo CALMET y se han comparado con los datos meteorológicos de dicha zona.

A continuación se expone la rosa de vientos obtenida para el período enero-diciembre de 2016 para el dominio modelizado mediante el modelo CALMET (500 m de resolución), extraídas para las coordenadas que corresponden a la estación de calidad del aire de Santa Margarita:

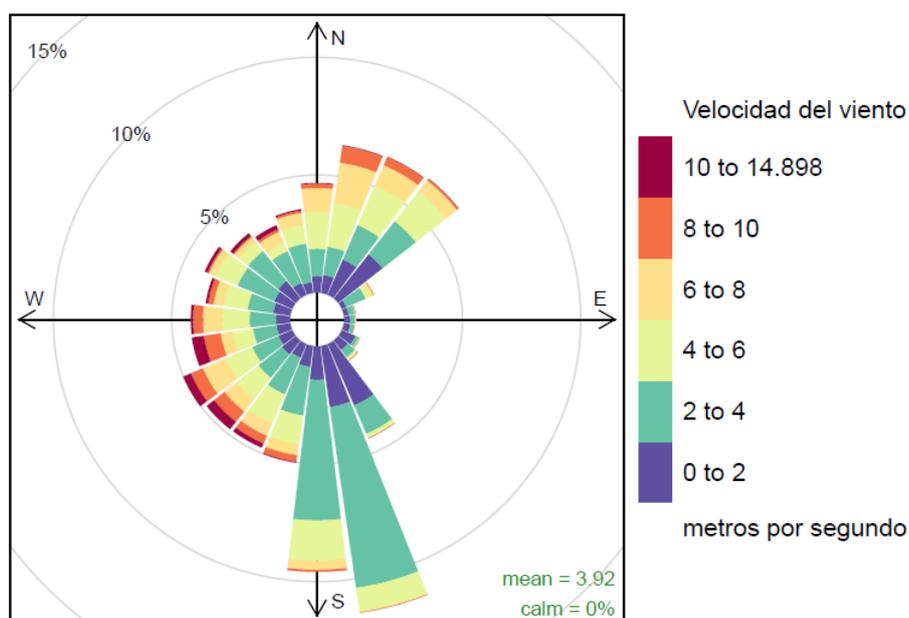


Figura 9.- Rosa de vientos anual para el dominio modelizado por CALMET para las coordenadas de la estación da calidad del aire Santa Margarita.

En la rosa de vientos obtenidos por CALMET para la zona, la cual representa las frecuencias de los vientos distribuidas según las direcciones de viento y sus velocidades, se observa que los rumbos predominantes en la zona de estudio muestran una predominancia de los vientos de dirección sur (S) seguidas de los de dirección noreste (NE) con menores velocidades.

Estos regímenes de vientos calculados por el sistema de modelos WRF-CALMET son similares a los datos aportados en la Figura 7 correspondientes a la estación meteorológica de A Coruña de AEMET.



8.- ESTIMACIÓN DE EMISIONES

Las emisiones introducidas en el modelo se corresponden con las recogidas en el trabajo “*Inventario De Emisiones De A Coruña Actualización 2017*” en el cual se reúnen las emisiones al aire de focos emisores móviles (tráfico vehicular en el municipio), focos emisores de origen doméstico-institucional-servicios, así como fuentes fijas industriales.

Los sectores diferenciados en el inventario son el sector industrial, tráfico, residencial-institucional-servicios y otras fuentes móviles. En la modelización del presente trabajo que han agrupado las emisiones de los sectores residencial-institucional-servicios y otras fuentes móviles en uno solo.

El cálculo de las emisiones de cada sector siguen diferentes metodologías pueden consultarse en “*Adenda al Inventario de Emisiones del Ayuntamiento de A Coruña*” y parten de datos proporcionados por diferentes fuentes oficiales. La desagregación geográfica de las mismas se ha realizado a partir de diferentes capas de información temáticas como pueden ser el uso de suelo, la población o el trazado de los viales de tráfico y se han asignado a las celdas que componen la cuadrícula que forma el mallado del dominio de simulación establecido para la ejecución del modelo.

Con todo esto, las emisiones se introducen en el modelo de forma estacionaria (constantes en el tiempo) excepto en el caso del tráfico donde se introduce una variación temporal a partir de los perfiles semanales de tráfico elaborados para el inventario de emisiones.

A continuación se muestra un resumen de los resultados de las emisiones totales obtenidos en el inventario de emisiones, agrupados por sectores y con el cómputo total:

Sector Industrial

Tabla 3.- Emisiones del sector industrial. Actualización 2017.

SO ₂ (t/año)	PM ₁₀ (t/año)	PM _{2.5} (t/año)	NO _x (t/año)	COVNM (t/año)	CO (t/año)	NH ₃ (t/año)	CO ₂ (t/año)
FUENTES FIJAS							
4.030,5	195,4	109,0	2.786,5	935,9	7.390,5	265,0	1.366.896
FUENTES DE ÁREA							
0	58,7	8,2	0	860,4	0	0	0
TOTALES							
4.030,5	254,1	117,2	2.786,5	1.796,3	7.390,5	265,0	1.366.896



Sector Residencial-Institucional-Servicios

Tabla 4.- Emisiones del sector Residencial-Institucional-Servicios. Actualización 2017.

SO ₂ (t/año)	PM ₁₀ (t/año)	PM _{2.5} (t/año)	NO _x (t/año)	COVNM (t/año)	CO (t/año)	NH ₃ (t/año)	CO ₂ (t/año)
36,6	60,8	59,3	178,4	56,6	361,3	5,1	134.061

Tráfico

Tabla 5.- Emisiones de tráfico. Actualización 2017.

SO ₂ (t/año)	PM ₁₀ (t/año)	PM _{2.5} (t/año)	NO _x (t/año)	COVNM (t/año)	CO (t/año)	NH ₃ (t/año)	CO ₂ (t/año)
1,2	65,9	43,5	781,6	580,2	1.603,4	9,0	182.775

Otras Fuentes Móviles

Tabla 6.- Emisiones de otras fuentes móviles. Actualización 2017.

SO ₂ (t/año)	PM ₁₀ (t/año)	PM _{2.5} (t/año)	NO _x (t/año)	COVNM (t/año)	CO (t/año)	NH ₃ (t/año)	CO ₂ (t/año)
261,3	77,9	71,8	797,9	55,5	105,8	2,2	43.353

Emisiones Totales

Tabla 7.- Resumen de emisiones. Actualización 2017.

SO ₂ (t/año)	PM ₁₀ (t/año)	PM _{2.5} (t/año)	NO _x (t/año)	COVNM (t/año)	CO (t/año)	NH ₃ (t/año)	CO ₂ (t/año)
SECTOR INDUSTRIAL							
4.030,5	254,1	117,1	2.786,5	1.796,3	7.390,5	265,0	1.366.896
SECTOR RESIDENCIAL-INSTITUCIONAL-SERVICIOS							
36,6	60,8	59,3	178,4	56,6	361,3	5,1	134.061
TRÁFICO							
1,2	65,9	43,5	781,6	580,2	1.603,4	9,0	182.775
OTRAS FUENTES MÓVILES							
261,3	77,9	71,8	797,9	55,5	105,8	2,2	43.353
TOTAL							
4.329,6	458,7	291,7	4.544,4	2.488,6	9.461,0	281,3	1.727.085



9.- RESULTADOS

En este capítulo se realiza un resumen de los resultados obtenidos y se exponen los mapas con las concentraciones predichas en las simulaciones por los modelos. A su vez, se comparan sus resultados frente a los valores límite regulados por el *Real Decreto 102/2011, de 28 de enero*, relativo a la mejora de la calidad del aire.

9.1.- Validación de los resultados

Una parte esencial de la modelización consiste en el ajuste del modelo a las concentraciones observadas, es decir, las obtenidas en las estaciones de calidad del aire.

Una vez realizado el ajuste, se comparan los resultados de los valores de inmisión del modelo con las medidas tomadas en las estaciones de calidad del aire de A Coruña (Figura 6).

Dióxido de Azufre (SO₂)

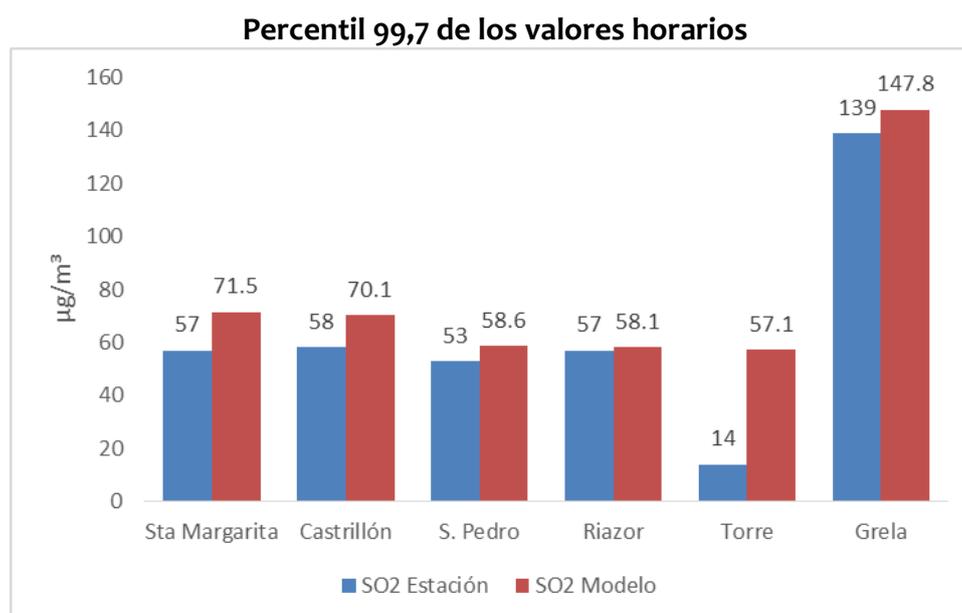


Figura 10.- Percentil 99,7 de los valores horarios de SO₂ en el año 2016 obtenidos en las estaciones (azul) y por el modelo (rojo)



Percentil 99,2 de los promedios diarios

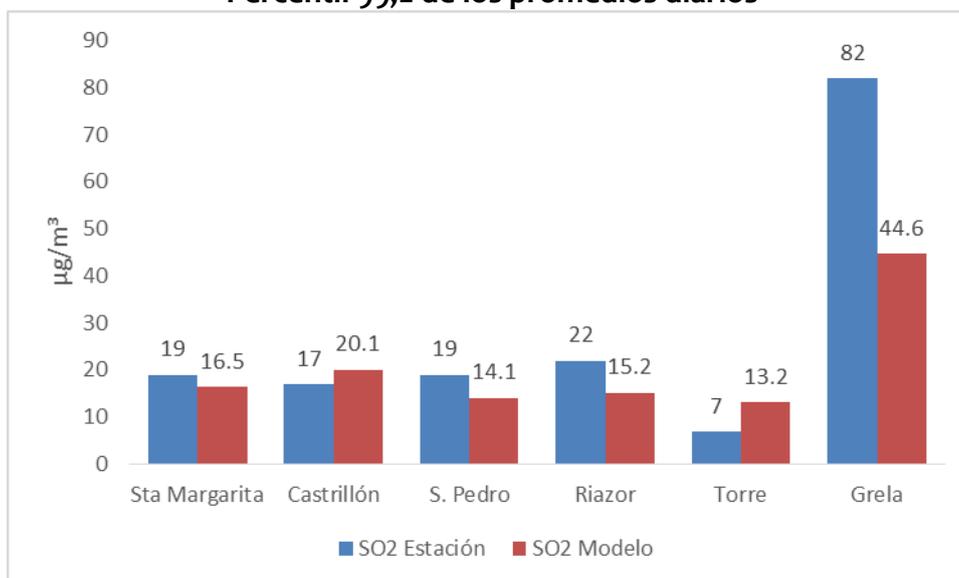


Figura 11.- Percentil 99,2 de los valores diarios de SO₂ en el año 2016 obtenidos en las estaciones (azul) y por el modelo (rojo)

Promedio Anual

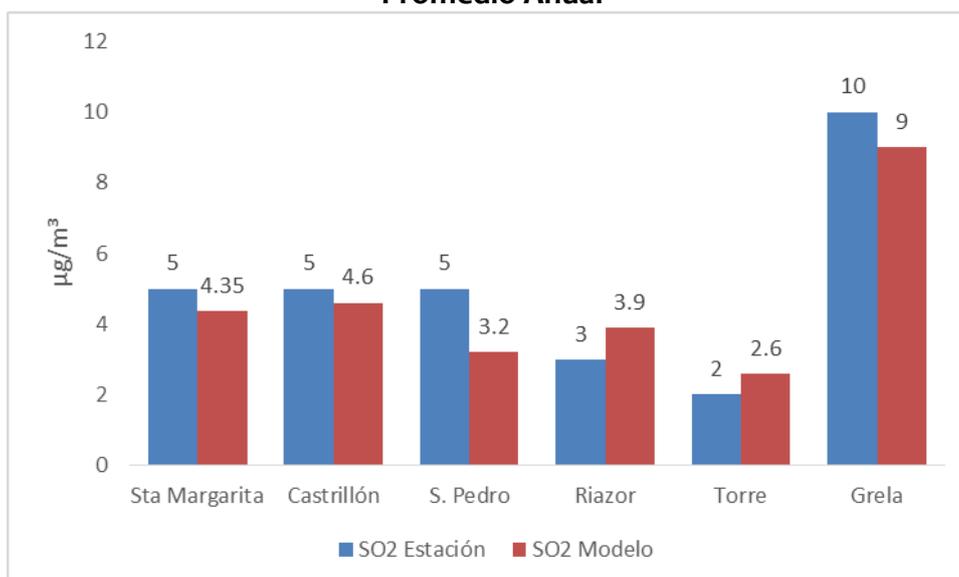


Figura 12.- Promedio anual de SO₂ en el año 2016 obtenidos en las estaciones (azul) y por el modelo (rojo)



Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

Percentil 99,8 de los valores horarios

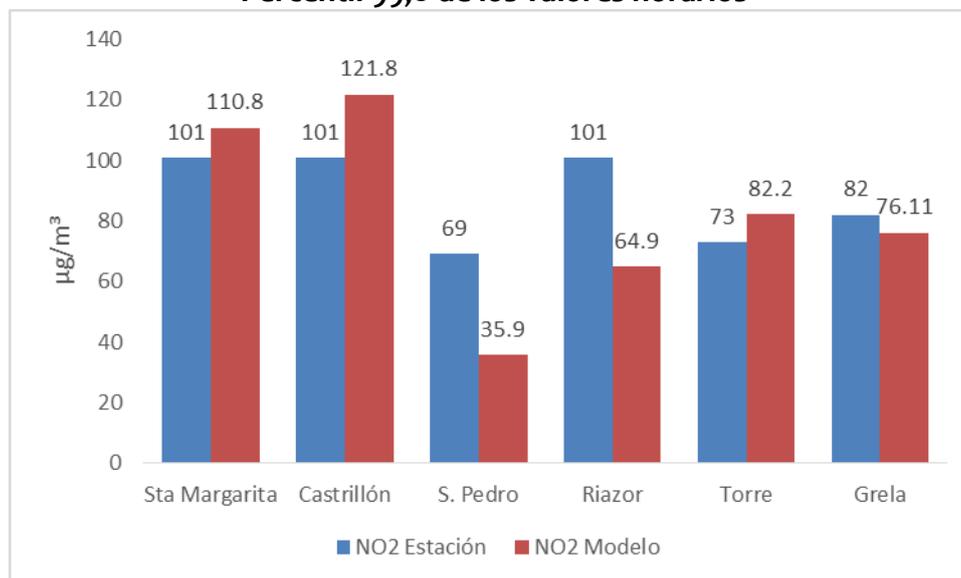


Figura 13.- Percentil 99,8 de los valores horarios de NO₂ en el año 2016 obtenidos en las estaciones (azul) y por el modelo (rojo)

Promedio anual

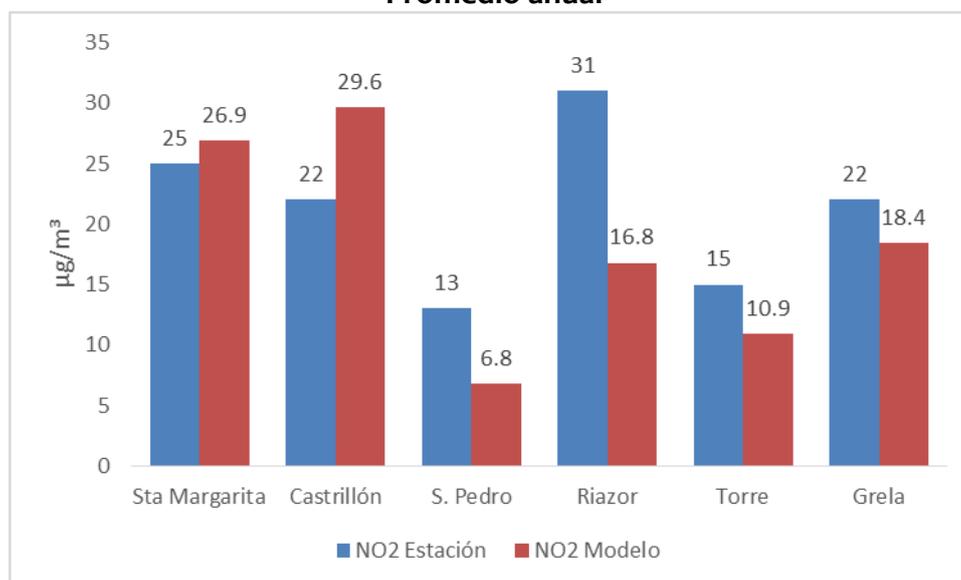


Figura 14.- Promedio anual de NO₂ en el año 2016 obtenidos en las estaciones (azul) y por el modelo (rojo)



Partículas en suspensión PM_{10}

Percentil 90,4 de los valores promedio diarios

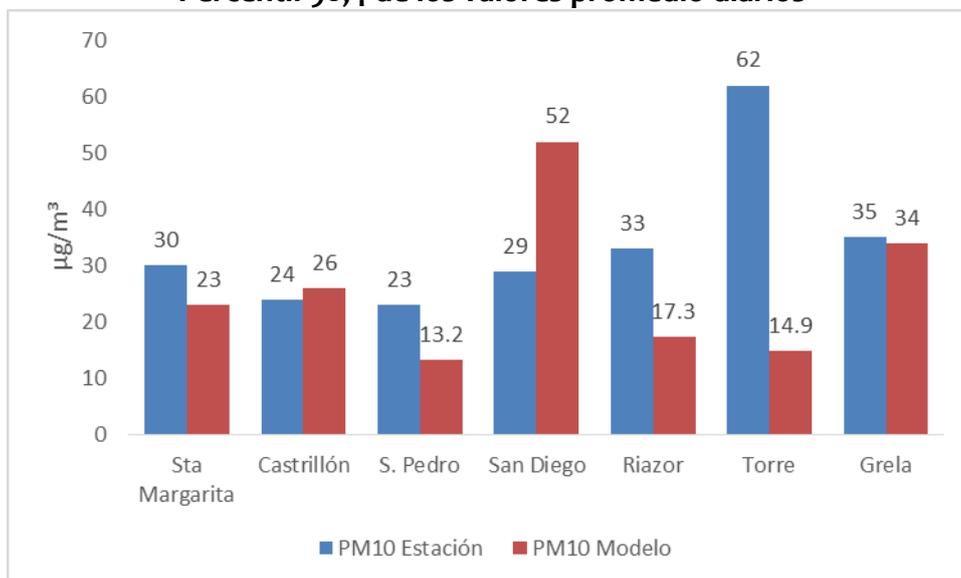


Figura 15.- Percentil 90,4 de los valores diarios de PM_{10} en el año 2016 obtenidos en las estaciones (azul) y por el modelo (rojo)

Promedio anual

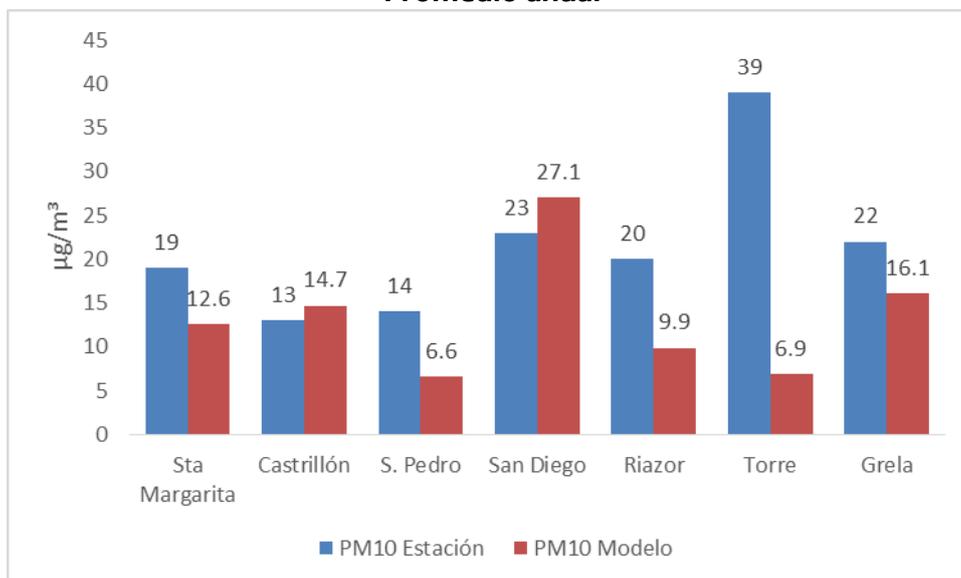


Figura 16.- Promedio anual de PM_{10} en el año 2016 obtenidos en las estaciones (azul) y por el modelo (rojo)



Partículas en suspensión PM_{2.5}

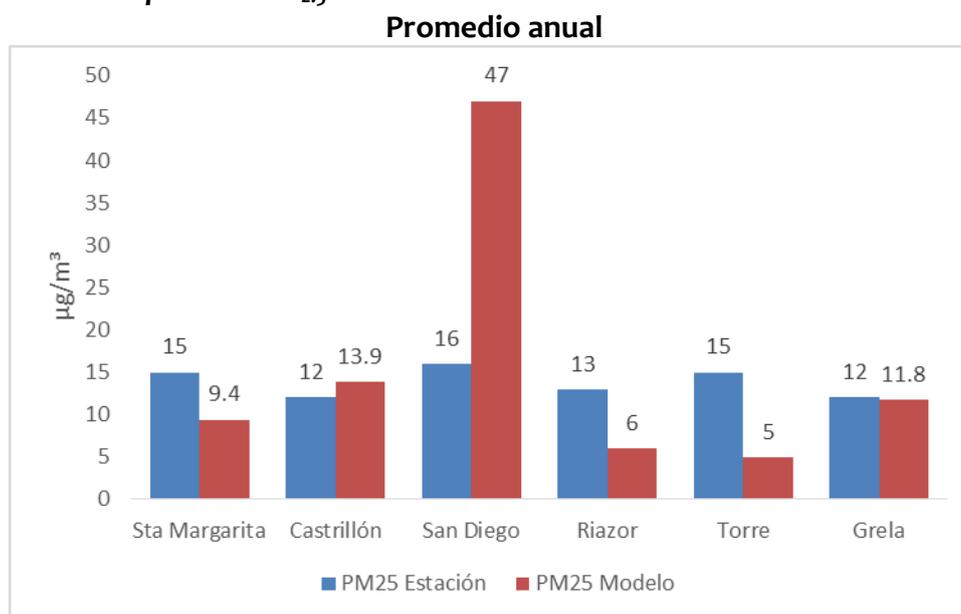


Figura 17.- Promedio anual de PM_{2.5} en el año 2016 obtenidos en las estaciones (azul) y por el modelo (rojo)

Monóxido de Carbono (CO)

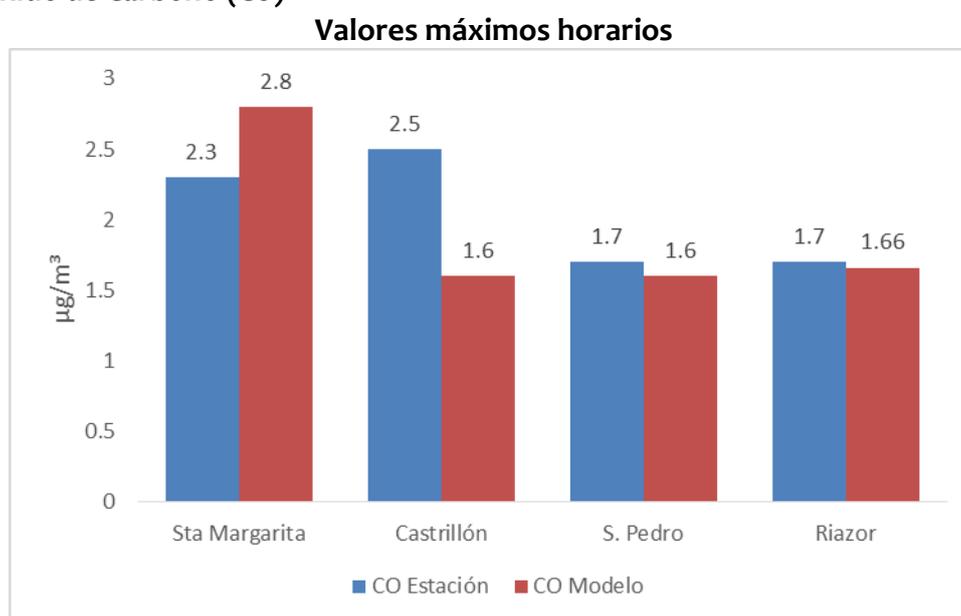


Figura 18.- Máximos horarios de CO en el año 2016 obtenidos en las estaciones (azul) y por el modelo (rojo)



Benceno

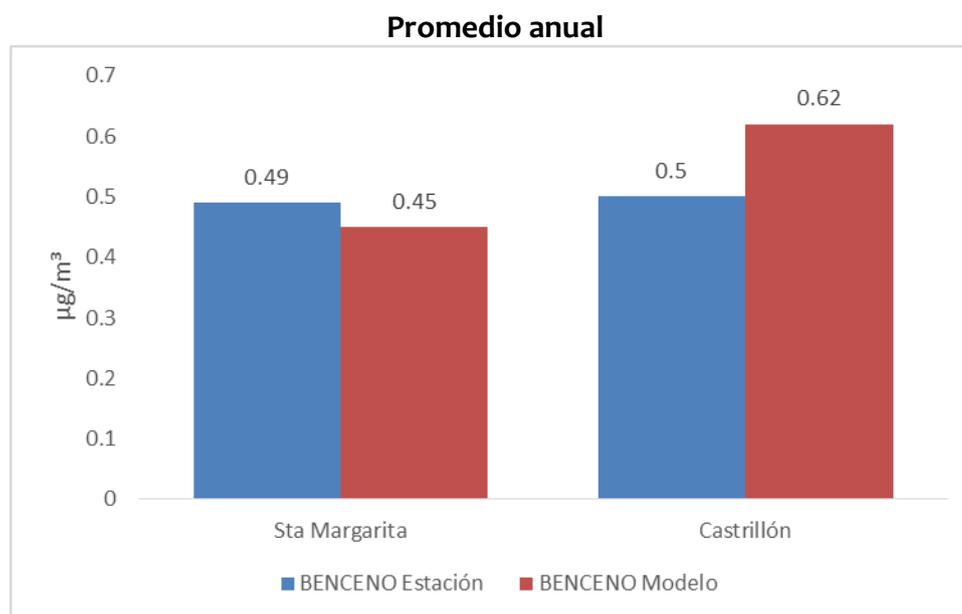


Figura 19.- Promedio anual de C6H6 en el año 2016 obtenidos en las estaciones (azul) y por el modelo (rojo)

Los resultados obtenidos por el modelo presentan un buen ajuste frente a los datos observados, si bien existen importantes diferencias en algunos contaminantes. Así, son destacables las subestimaciones que se dan para los valores de partículas en suspensión en la estación de Torre; lo que se explica debido a que dicha estación tiene una gran influencia costera y que se debe por tanto al aerosol marino que incrementa los niveles de partículas en las medidas de la estación. Este aporte natural no está contemplado en las emisiones del modelo.

Al contrario ocurre con los valores de partículas en la estación de San Diego, cuyos elevados valores predichos por el modelo deben de ser explicados a través de las medidas anti-contaminación llevadas a cabo en el área portuaria a la hora de realizar actividades de carga y descarga de materiales, que son a menudo interrumpidas cuando se dan ciertas condiciones meteorológicas, y que tampoco están incluidas en el modelo de emisiones.



9.2.- Dióxidos de Azufre (SO₂)

Valores máximos horarios

A continuación, se expone el mapa de dispersión de las concentraciones de máximos horarios de dióxido de azufre (SO₂) en términos del percentil 99,7 (equivalente al valor límite horario de protección a la salud) obtenido a partir de la modelización con datos meteorológicos del año 2016:

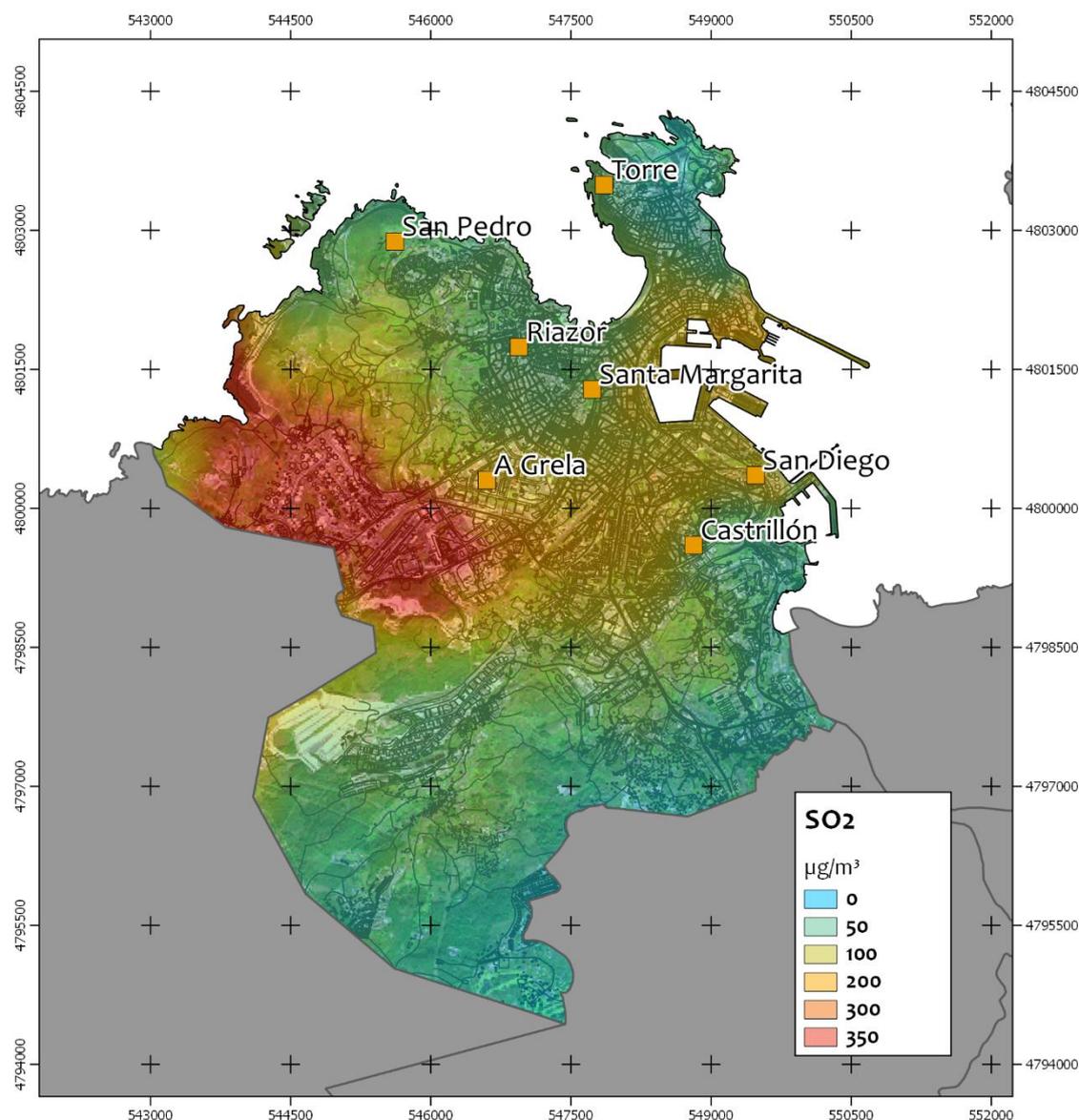


Figura 20.- Mapa de dispersión del Percentil 99,7 de las concentraciones horarias obtenidas por el modelo para SO₂.

En la figura anterior se observa que la mayor contribución de SO₂ a la calidad del aire de la zona, en términos del percentil 99,7 de las concentraciones horarias, se produciría - según los resultados del modelo - principalmente en la zona oeste del municipio debido a las emisiones de carácter industrial que se producen en dicha zona.



Valores promedio diarios

A continuación, se expone el mapa de dispersión de las concentraciones de promedios diarios de dióxido de azufre (SO₂) en términos del percentil 99,2 (equivalente al valor límite diario de protección a la salud) obtenido a partir de la modelización con datos meteorológicos del año 2016:

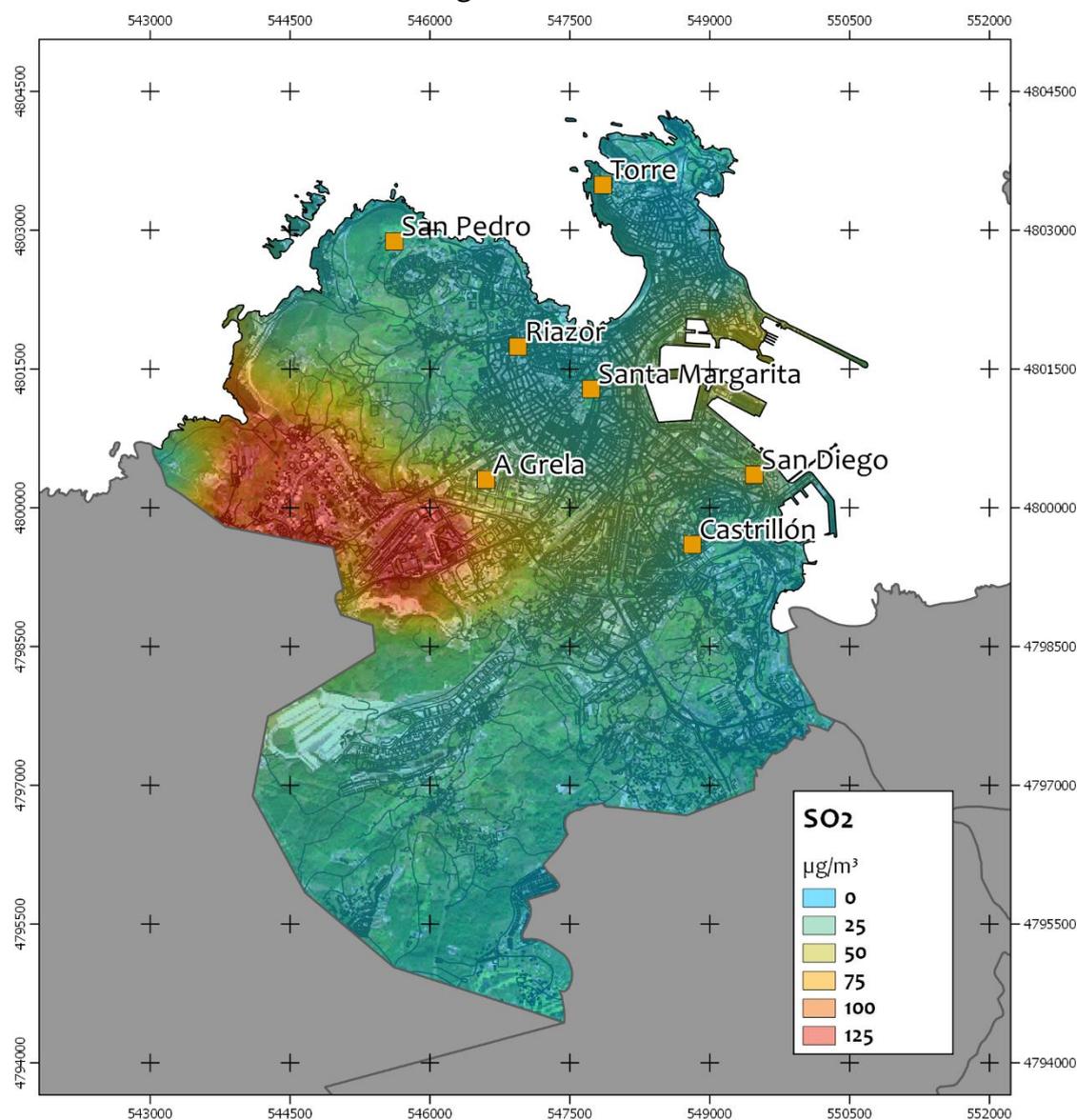


Figura 21.- Mapa de dispersión del Percentil 99,2 de las concentraciones promedio diarias obtenidas por el modelo para SO₂.

En la figura anterior se observa que la mayor contribución de SO₂ a la calidad del aire de la zona, en términos del percentil 99,7 de los máximos horarios, se produciría según los resultados del modelo de nuevo en la zona oeste del municipio correspondiéndose con las emisiones del área industrial.



Valores promedio anuales

A continuación, se expone el mapa de dispersión de las concentraciones de promedios anuales de dióxido de azufre (SO_2) obtenido a partir de la modelización con datos meteorológicos del año 2016:

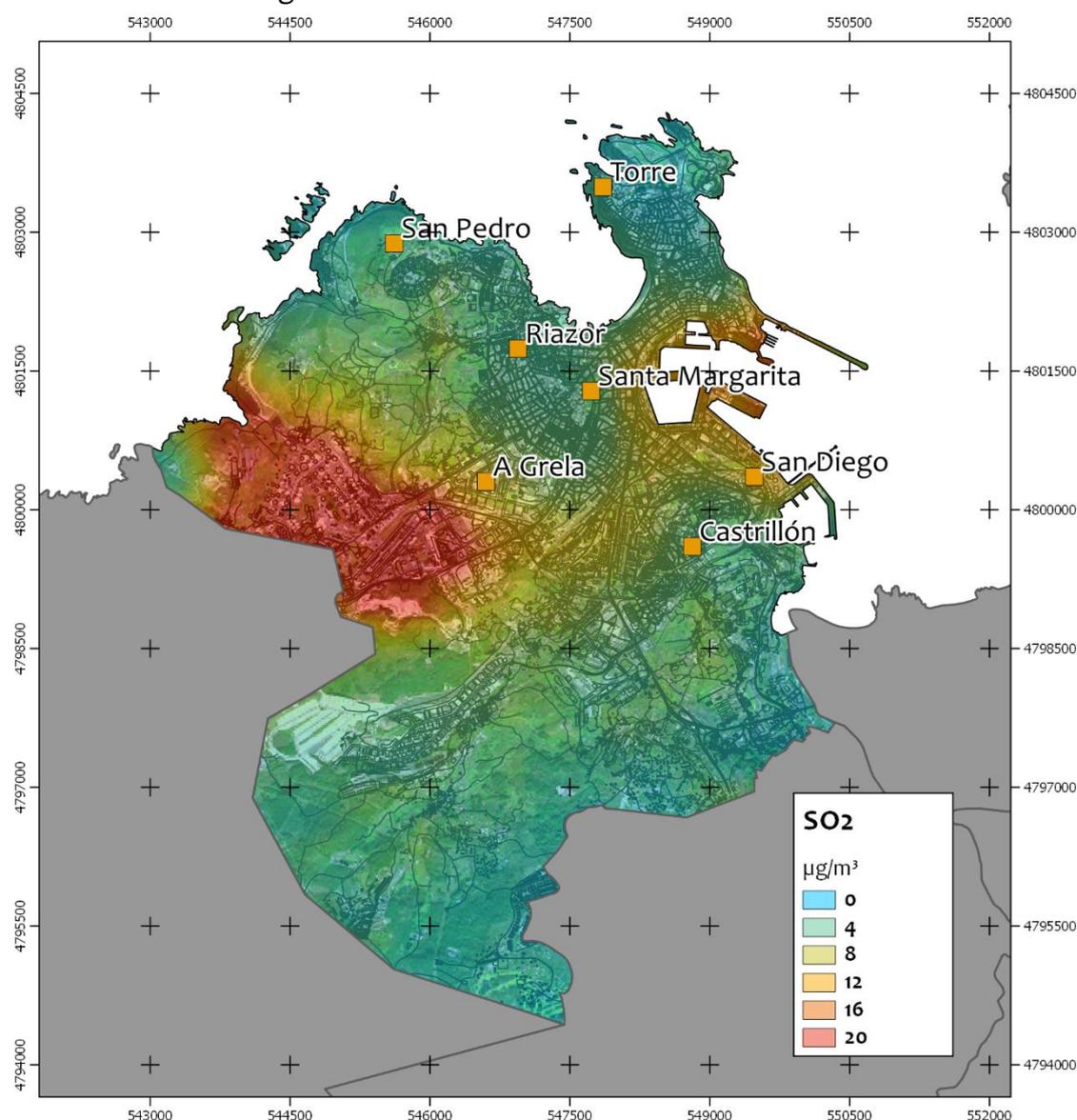


Figura 22.- Mapa de dispersión de la concentración promedio anual obtenida por el modelo para SO_2

En la figura anterior se observa que la mayor contribución anual de SO_2 a la calidad del aire de la zona se produciría de nuevo al oeste del municipio en el entorno industrial.

Sin embargo debe tenerse en cuenta que para la aplicación de este valor sólo se tomarán en consideración los datos obtenidos en las estaciones de medición dirigidas a la protección de los ecosistemas naturales y de la vegetación, las cuales han de estar situados a una distancia superior a 20 km de las aglomeraciones o a



más de 5 km de otras zonas edificadas, instalaciones industriales o carreteras. Al no darse esta condición, este valor límite no sería aplicable en este caso.

9.3.- Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

Valores máximos horarios

A continuación, se expone el mapa de dispersión de las concentraciones de máximos horarios de dióxido de nitrógeno (NO₂) en términos del percentil 99,8 (equivalente al valor límite de protección a la salud) obtenido a partir de la modelización con datos meteorológicos del año 2016:

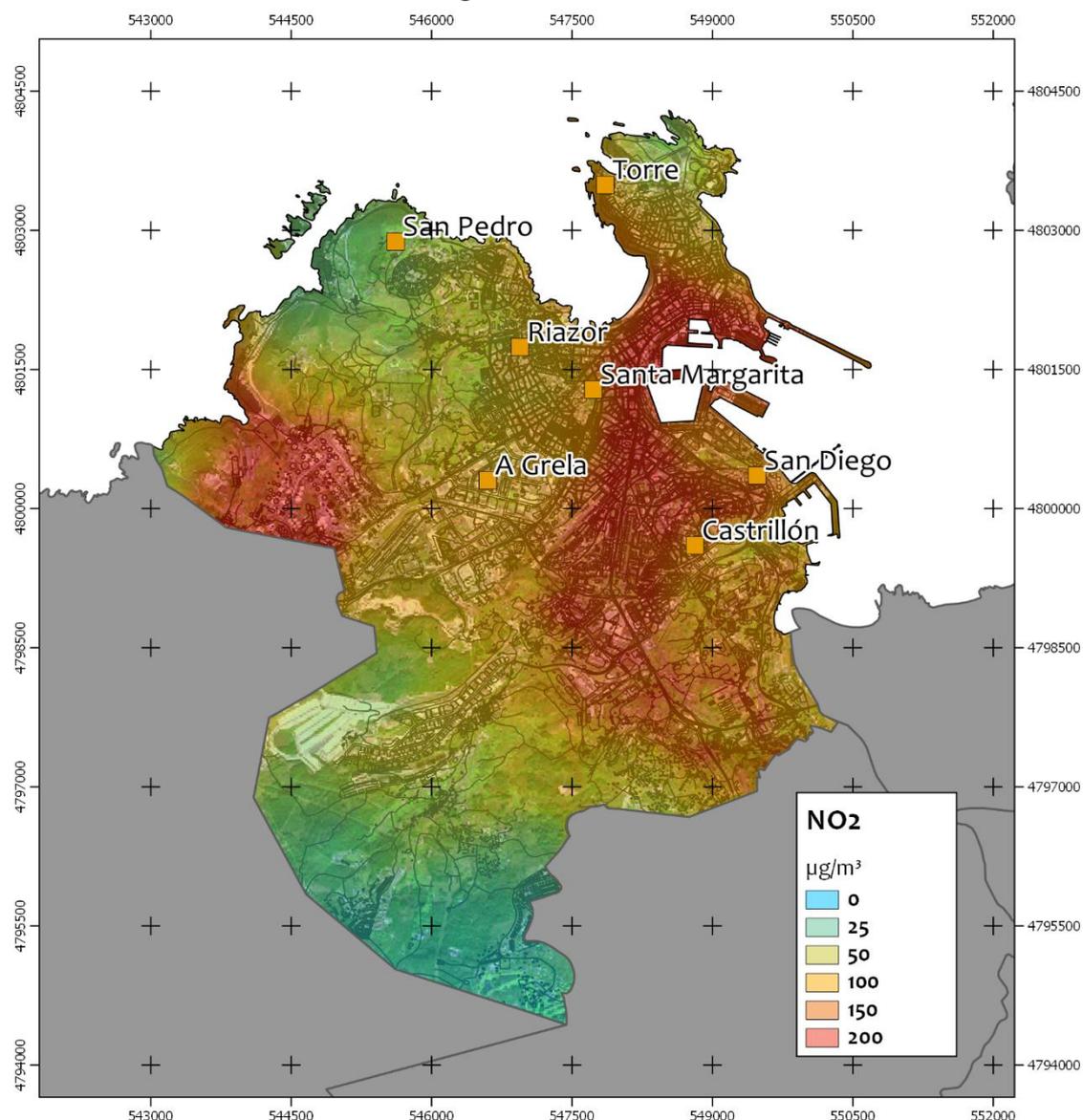


Figura 23.- Mapa de dispersión del Percentil 99,8 de las concentraciones máximas horarias obtenidas por el modelo para el NO₂.

En la figura anterior se observa que la mayor contribución de NO₂ a la calidad del aire de la zona, en términos del percentil 99,8 de los valores horarios, se produciría



principalmente en las inmediaciones del área industrial al oeste del municipio, así como en tramos de carretera con alto tránsito de vehículos.

Valores promedio anuales

A continuación, se expone el mapa de dispersión de las concentraciones de promedios anuales de dióxido de nitrógeno (NO₂) obtenido a partir de la modelización con datos meteorológicos del año 2016:

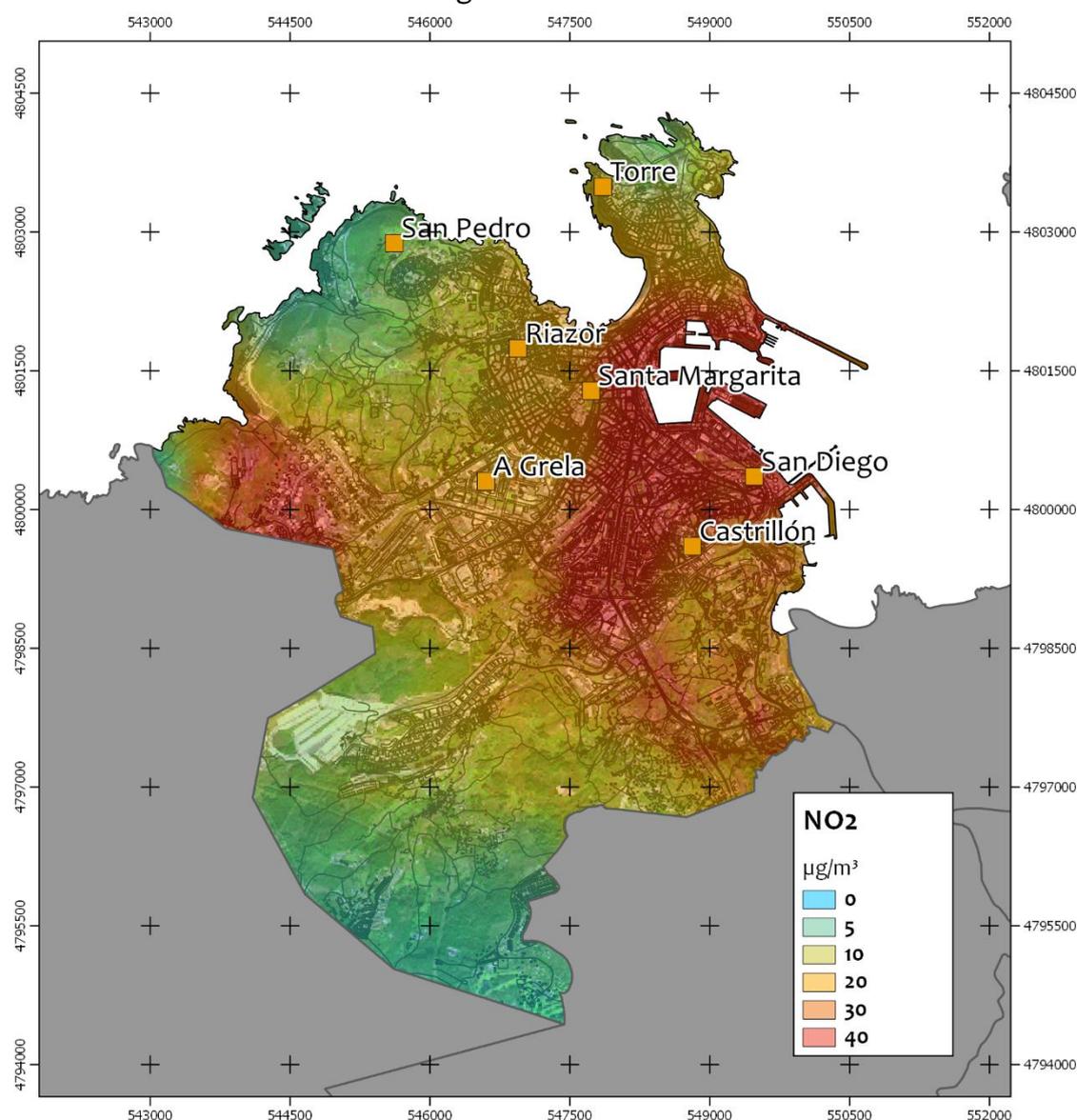


Figura 24.- Mapa de dispersión de la concentración de promedio anual obtenida por el modelo para el NO₂.

En la figura anterior se observa que la mayor contribución anual de NO₂ a la calidad del aire de la zona se originaría también en las inmediaciones del área industrial al oeste del municipio y en zonas con una intensidad alta de tráfico.



9.4.- Partículas en suspensión PM_{10}

Valores promedio diarios

A continuación, se expone el mapa de dispersión de las concentraciones de promedios diarios de partículas en términos del percentil 90,4 (equivalente al valor límite diario de protección a la salud humana) obtenido a partir de la modelización con datos meteorológicos del año 2016:

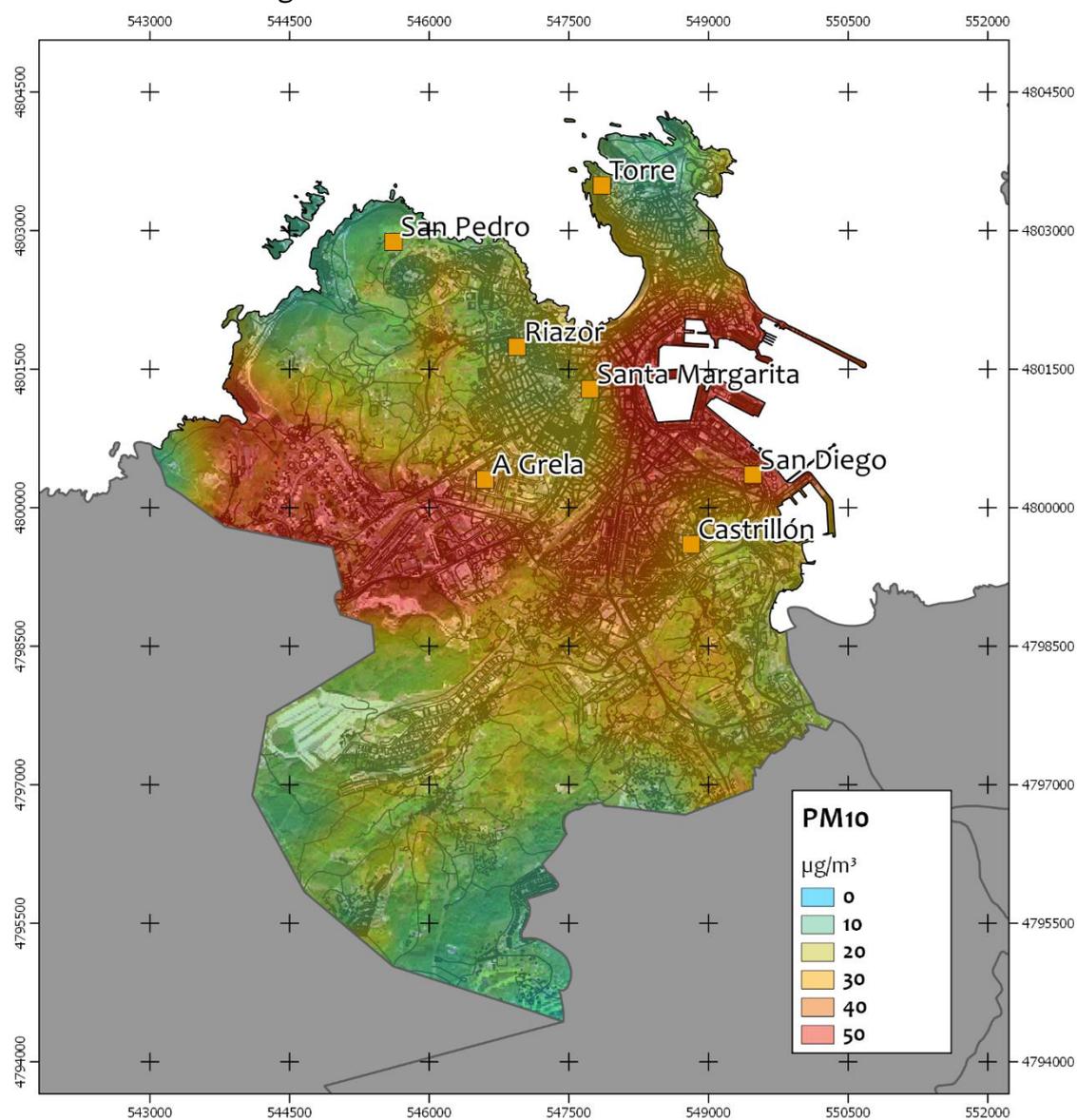


Figura 25.- Mapa de dispersión del Percentil 90,4 de las concentraciones promedio diarias obtenidas por el modelo para el contaminante partículas en suspensión PM_{10} .

En la figura anterior se observa que la mayor contribución diaria de las partículas en suspensión a la calidad del aire de la zona, en términos del percentil 90,4 de los promedios diarios, estaría originado principalmente al oeste del municipio debido a las emisiones producidas por la actividad industrial, así como también en zonas con



una alta influencia de tráfico (desgaste de los neumáticos, combustión, resuspensión de materiales sólidos, etc).

Otra zona donde el modelo predice altas concentraciones de partículas en suspensión sería en las inmediaciones del área portuaria, debido fundamentalmente a la carga y descarga de materiales. Sin embargo, hay que aclarar que la Autoridad Portuaria lleva a cabo determinadas acciones para evitar la afección a la población que no están contempladas en el modelo. Dichas acciones consisten en evitar ciertas actividades en circunstancias meteorológicas que harían que la dispersión de las partículas afectara a la población cercana.

Valores promedio anuales

A continuación, se expone el mapa de dispersión de las concentraciones de promedios anuales de partículas obtenido a partir de la modelización con datos meteorológicos del año 2016:

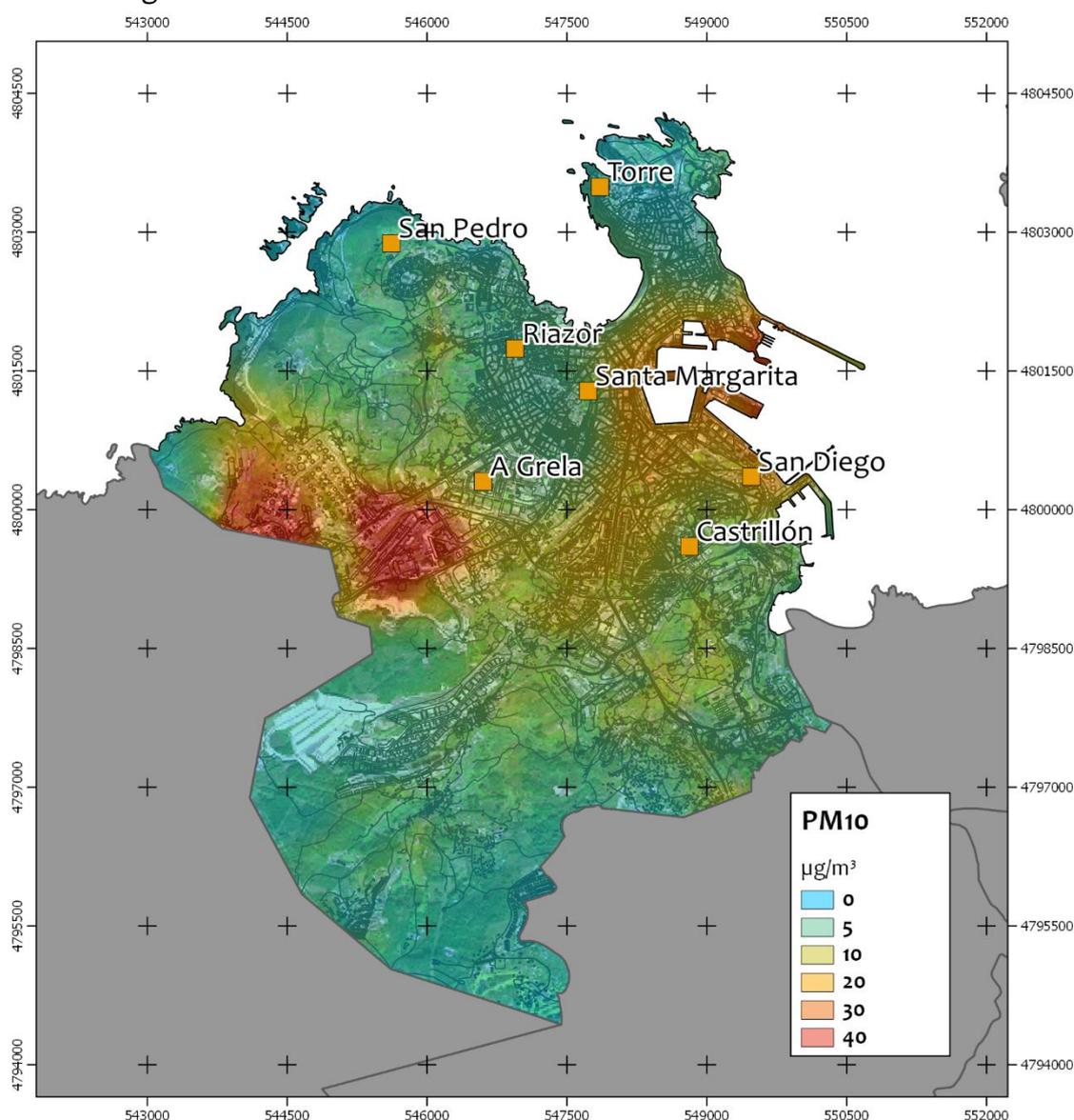


Figura 26.- Mapa de dispersión de la concentración promedio anual obtenida por el modelo para el contaminante partículas en suspensión PM_{10} .

En la figura anterior se observa que la mayor contribución anual de partículas a la calidad del aire de la zona estaría producida - según los resultados del modelo - de nuevo en las inmediaciones del área industrial, al oeste del municipio, y la zona contigua al puerto.

9.5.- Partículas en suspensión $PM_{2.5}$

Valores promedio anuales

A continuación, se expone el mapa de dispersión de las concentraciones de promedios anuales de partículas obtenido a partir de la modelización con datos meteorológicos del año 2016:

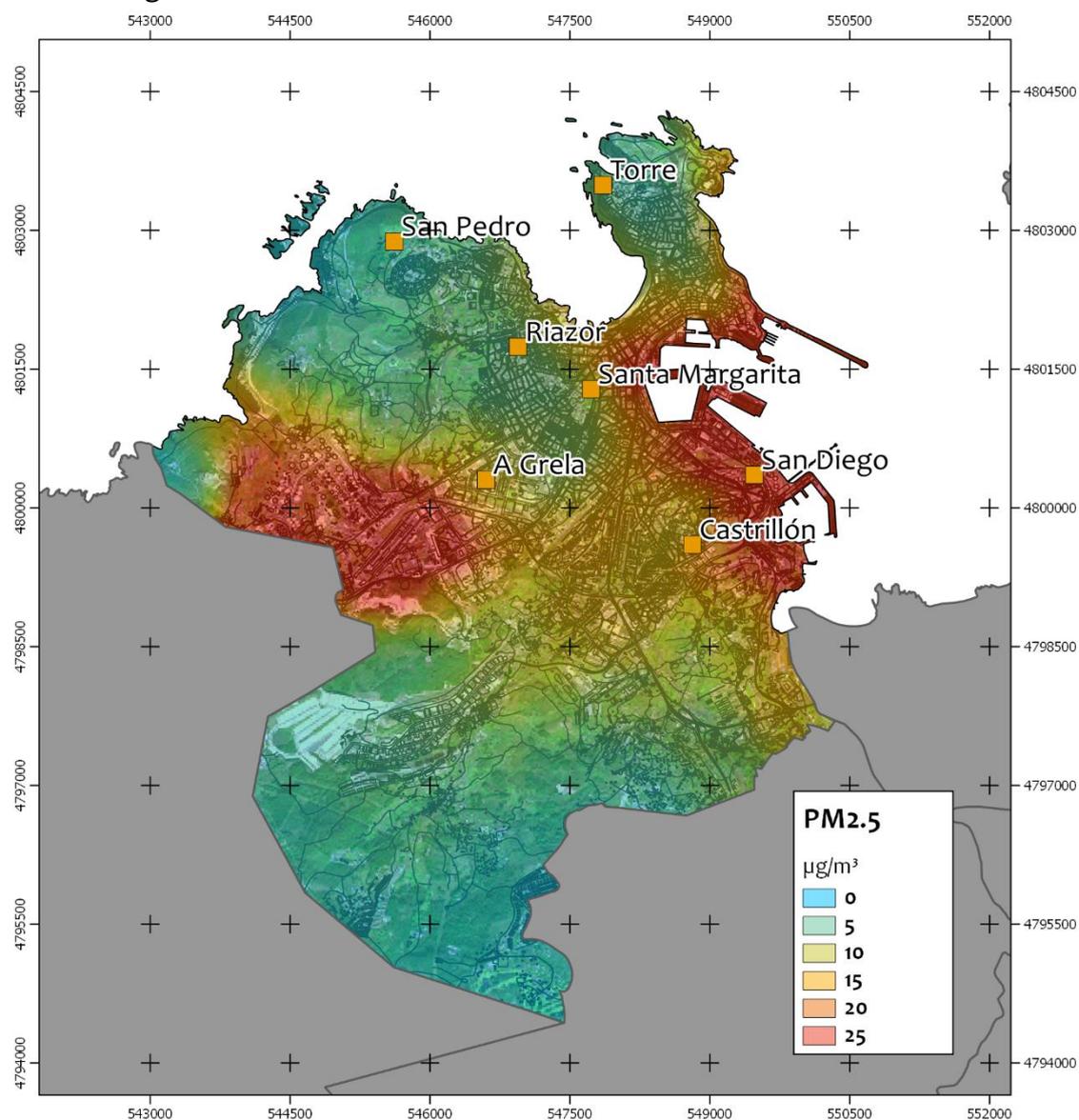


Figura 27.- Mapa de dispersión de la concentración promedio anual obtenida por el modelo para el contaminante partículas en suspensión $PM_{2.5}$.



En la figura anterior se observa que la mayor contribución anual de partículas $PM_{2.5}$ a la calidad del aire de la zona se produciría de nuevo en las inmediaciones del área industrial al oeste del municipio y las zonas próximas a la actividad portuaria.

9.6.- Monóxido de carbono (CO)

Valores máximos horarios

A continuación, se expone el mapa de dispersión de las concentraciones de máximos horarios de monóxido de carbono (CO) obtenido a partir de la modelización con datos meteorológicos del año 2016:

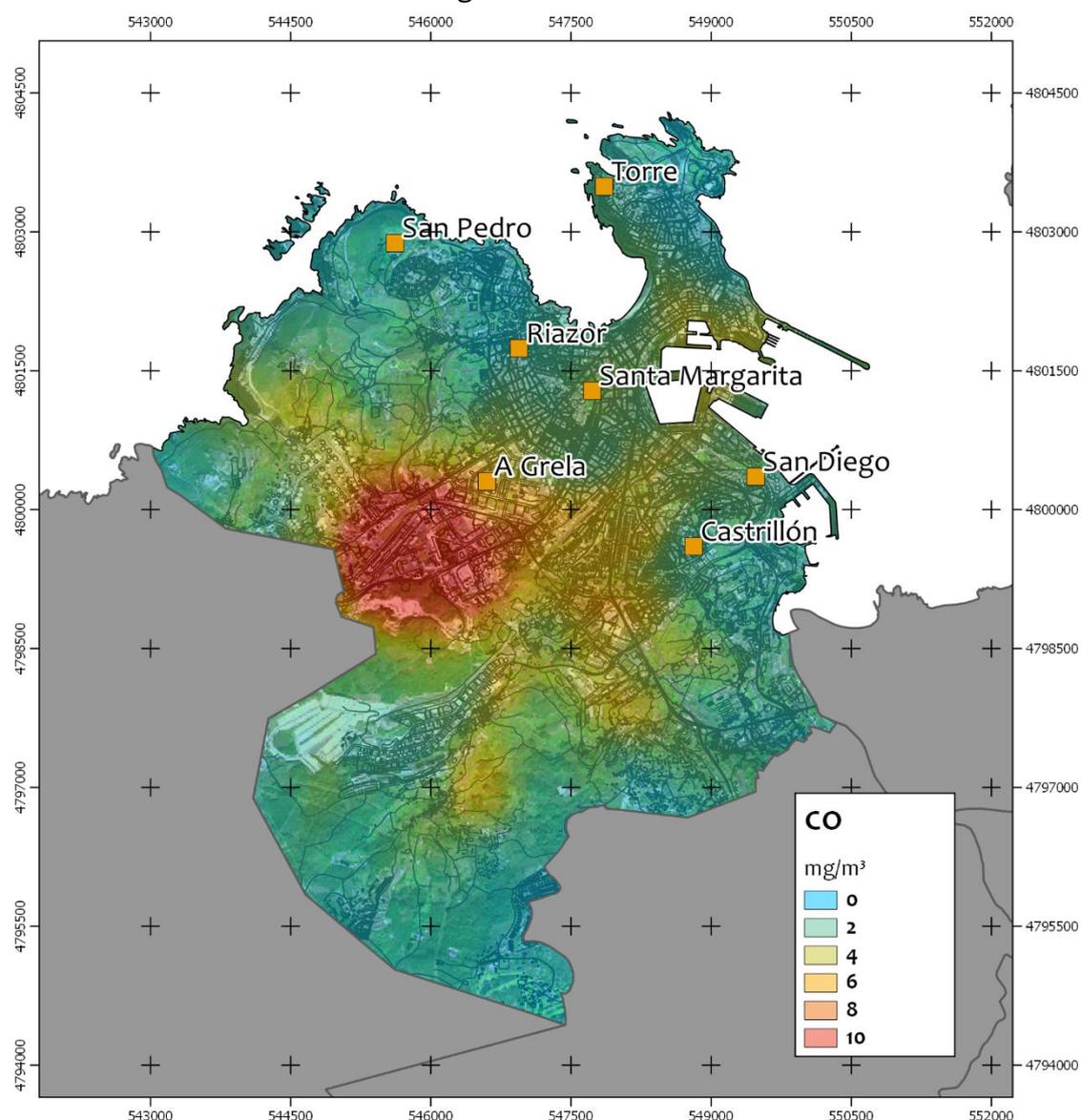


Figura 28.- Mapa de dispersión de las concentraciones máximas horarias obtenidas por el modelo para el monóxido de carbono (CO).



En la figura anterior se observa que la mayor contribución de CO a la calidad del aire de la zona, en términos de los máximos horarios, estaría originada principalmente en las inmediaciones del área industrial, al oeste del municipio.

9.7.- Benceno (C₆H₆)

Valores promedio anuales

A continuación, se expone el mapa de dispersión de las concentraciones de promedios anuales de benceno obtenido a partir de la modelización con datos meteorológicos del año 2016:

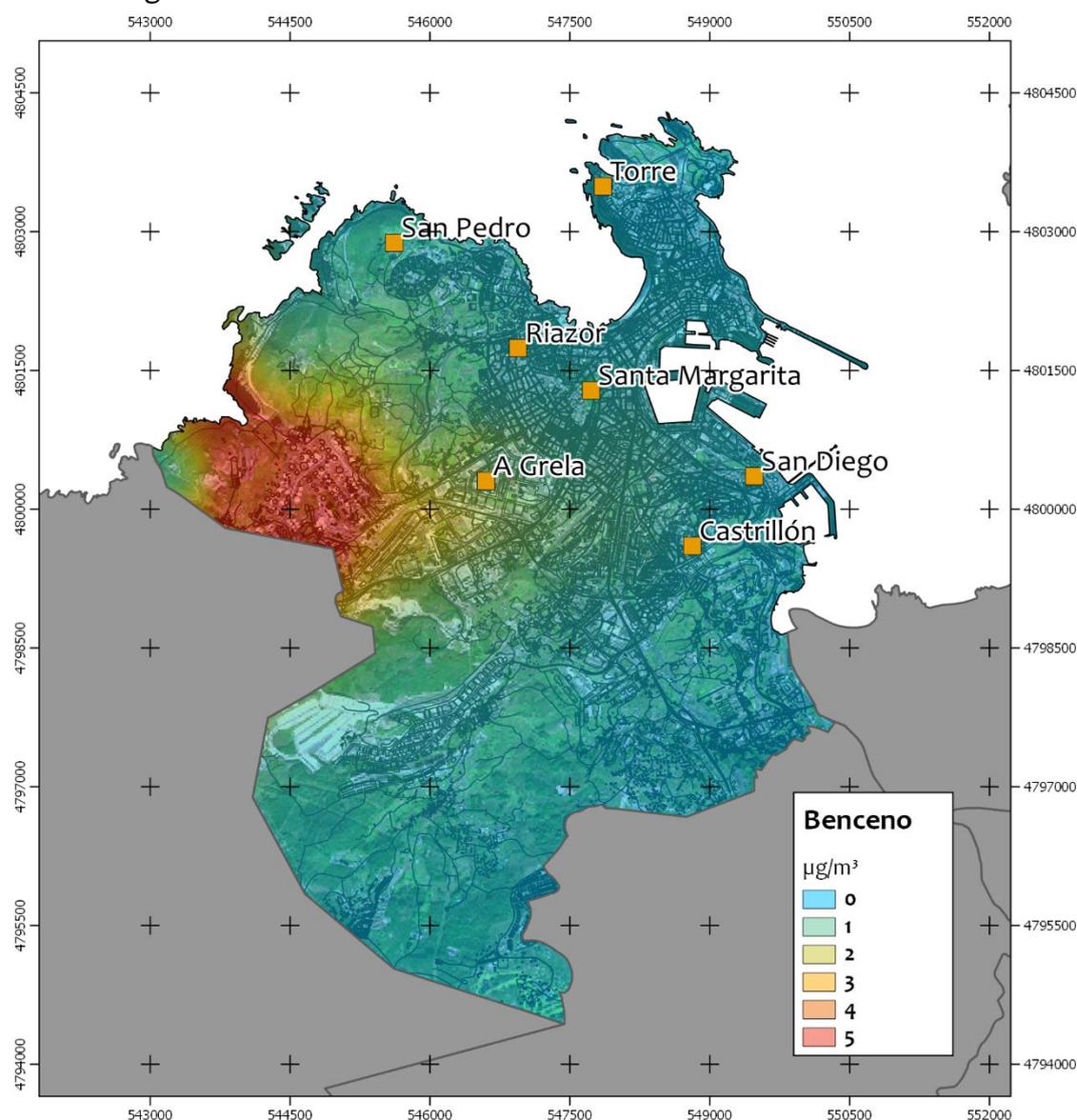


Figura 29.- Mapa de dispersión de la concentración promedio anual obtenida por el modelo para el benceno.

Se observa que la mayor contribución de benceno a la calidad del aire de la zona, en términos de promedio anual, se originaría - según los resultados del modelo - en las inmediaciones del área industrial al oeste del municipio.



9.8.- Ozono (O₃)

Valores máximos horarios

A continuación se expone el mapa de dispersión de las concentraciones de máximos horarios de Ozono peninsulares obtenidos a partir de la modelización con datos meteorológicos del año 2016:

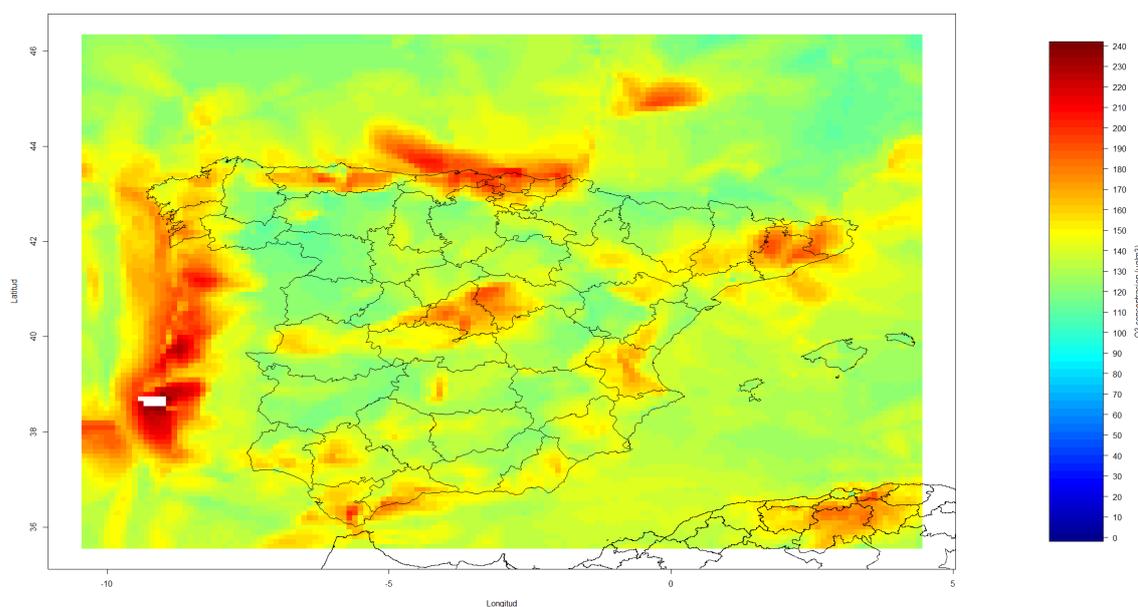


Figura 30.- Mapa de dispersión de la concentración máxima horaria en el año 2016 obtenida por el modelo para el ozono.

En la figura anterior se observa que todo el oeste peninsular es una zona con elevados niveles de O₃ troposférico. Además, es frecuente el flujo de ozono entre Portugal y Galicia (Borrego et al, 2013), tratándose de un fenómeno de transporte de contaminantes a nivel regional que debe considerarse en la evaluación de la calidad del aire.

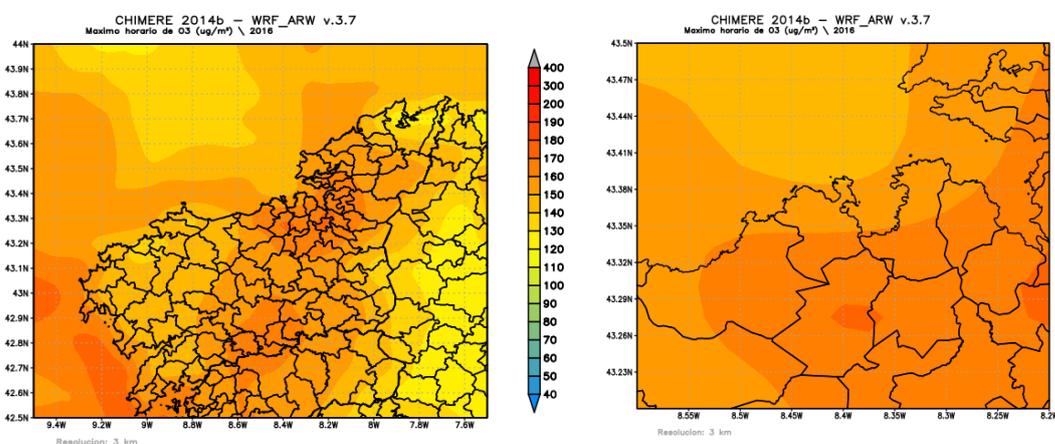


Figura 31.- Mapa de dispersión de la concentración máxima horaria en el año 2016 obtenida por el modelo para el ozono (izq., a nivel provincial, y dcha. a nivel municipal)



Por último, en las imágenes de detalle de la provincia y del municipio de A Coruña (Figura 31) se muestra que los valores máximos obtenidos por el modelo rondarían los $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la parte norte de la ciudad y $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la zona sur. Estos resultados coinciden con las medidas de las estaciones de calidad del aire, dónde el máximo horario alcanzado en el año 2016 fue de $164 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación de Castrillón. Por tanto, el modelo no contemplaría ninguna superación del umbral de información a la población (establecido en $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en una hora), aunque sí establece diferencias de concentraciones entre la zona sur y norte del municipio. Esta diferencia podría estar fundamentada en el transporte de precursores desde el centro de la ciudad de A Coruña hasta las afueras de la ciudad bajo situaciones anticiclónicas y vientos del norte.



10.- CONCLUSIONES

Meteorología

En la rosa de vientos obtenidos por los modelos meteorológicos para la zona, la cual representa las frecuencias de los vientos distribuidas según las direcciones de viento y sus velocidades, se observa que los rumbos predominantes en la zona de estudio muestran una predominancia de los vientos de dirección sur (S) seguidas de los de dirección noreste (NE), asociada esta última con menores velocidades.

Estos regímenes de vientos calculados por WRF y extraídos por CALWRF son similares a los observados en la estación de A Coruña (AEMET), elegida por ser la más cercana con registro climático.

Emisiones

La modelización se ha realizado a partir de las emisiones estimadas según el “*Inventario De Emisiones De A Coruña Actualización 2017*”, y los perfiles semanales de tráfico calculados para el mismo. Se han tenido en cuenta las emisiones para todos los sectores en los que se separa el inventario de emisiones (industrial, tráfico, residencial-institucional-servicios y otras fuentes móviles) y se han modelizado en su conjunto.

Las emisiones modelizadas con CALPUFF son únicamente de origen antropogénico y por tanto no se tienen en cuenta fuentes naturales como pueden ser los aerosoles marinos o incursiones de polvo de origen sahariano. Sólo en caso de la modelización de O₃ con CHIMERE, se tienen en cuenta las emisiones biogénicas de precursores.

Antes de mostrar los resultados se ha realizado el ajuste y la comparación de los valores de inmisión calculados por el modelo con los valores medidos en las estaciones del municipio para comprobar la validez de los modelos de calidad del aire.

Modelizaciones

Los niveles de inmisión predichos por el modelo como resultado de la dispersión de las emisiones, alcanzan valores más altos en las inmediaciones del área industrial al oeste del municipio de A Coruña, en los márgenes de las actividades portuarias así como en zonas donde existe una alta intensidad de tráfico rodado.

En base a lo anterior, los sistemas de modelos predicen superaciones de los valores límite regulados en el R.D. 102/2011 en ciertas zonas del municipio, y que deben de ser analizadas más profundamente. La delimitación de estas zonas y las actuaciones a llevar a cabo para verificar los resultados y, en su caso, reducir sus niveles, se detallan en el documento marco de la “*ESTRATEGIA PARA LA GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL AYUNTAMIENTO DE A CORUÑA*”.

Por último, cabe destacar que los valores límites del RD 102/2011 son de aplicación al Aire Ambiente, definido como (Art. 2): “el aire exterior de la baja troposfera”, excluidos los lugares de trabajo. Por este motivo, no serían de aplicación en recintos perimetrales industriales o portuarios.



11.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Borrego, C. and Souto, J. A. and Monteiro, A. and Dios, M. and Rodriguez, A. and Ferreira, J. and Saavedra, S. and Casares, J. J. and Miranda, A. I., (2013). The role of transboundary air pollution over Galicia and North Portugal area, *Environmental Science and Pollution Research*, 20, 5, 2924-2936
- Chang, J.C. y Hanna, S.R. 2004. Air quality model performance evaluation. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 87, 167-196.
- Dios, M., Saavedra, S., Rodríguez, A., Souto, J.A., Casares, J.J., Cartelle, D., Vellón, J.M., Borrego, C., Miranda, A. I., Ferreira, J., Monteiro, A., Gallego, N., Sáez, A., Macho, M.L., (2012). Evaluating the influence of regional gridded emissions distribution on air quality simulation, 32st NATO/SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application, Utrecht (Netherlands), 7-11 May 2012
- Levy, J. y J. Spengler. 2002. Modeling the Benefits of Power Plant Emission Controls in Massachusetts.
- LMD (C.N.R.S.), INERIS, LISA (C.N.R.S.) (2014). Documentation of the chemistry-transport model CHIMERE - [version chimere 2014b]
- Menut, L. et al (2012). On the impact of the vertical resolution on chemistry transport modeling. *Atmospheric Environment*. 96, 151-164
- Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.
- Real Decreto 39/2017, de 27 de enero, por el que se modifica el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.
- Scire, J.S., Robe, F.R., Fernau, M.F., and Yamartino, R.J. (2000a). A User's Guide for the CALMET Meteorological Model. Earth Tech, Inc, 521, 1-521.
- Scire, J. S., Strimaitis, D. G., & Yamartino, R. J. (2000). A user's guide for the CALPUFF dispersion model. Earth Tech, Inc, 521, 1-521.
- Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. G Duda, X.-Y. Huang, W. Wang, and J. G. Powers, 2008: A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR, 113 pp. doi:10.5065/D68S4MVH
- Zhou Y., J. Levy, J.K. Hammitt, y J.S. Evans. 2003. Estimating Population Exposure to Power Plant Emissions Using CALPUFF: A Case Study in Beijing, China.



