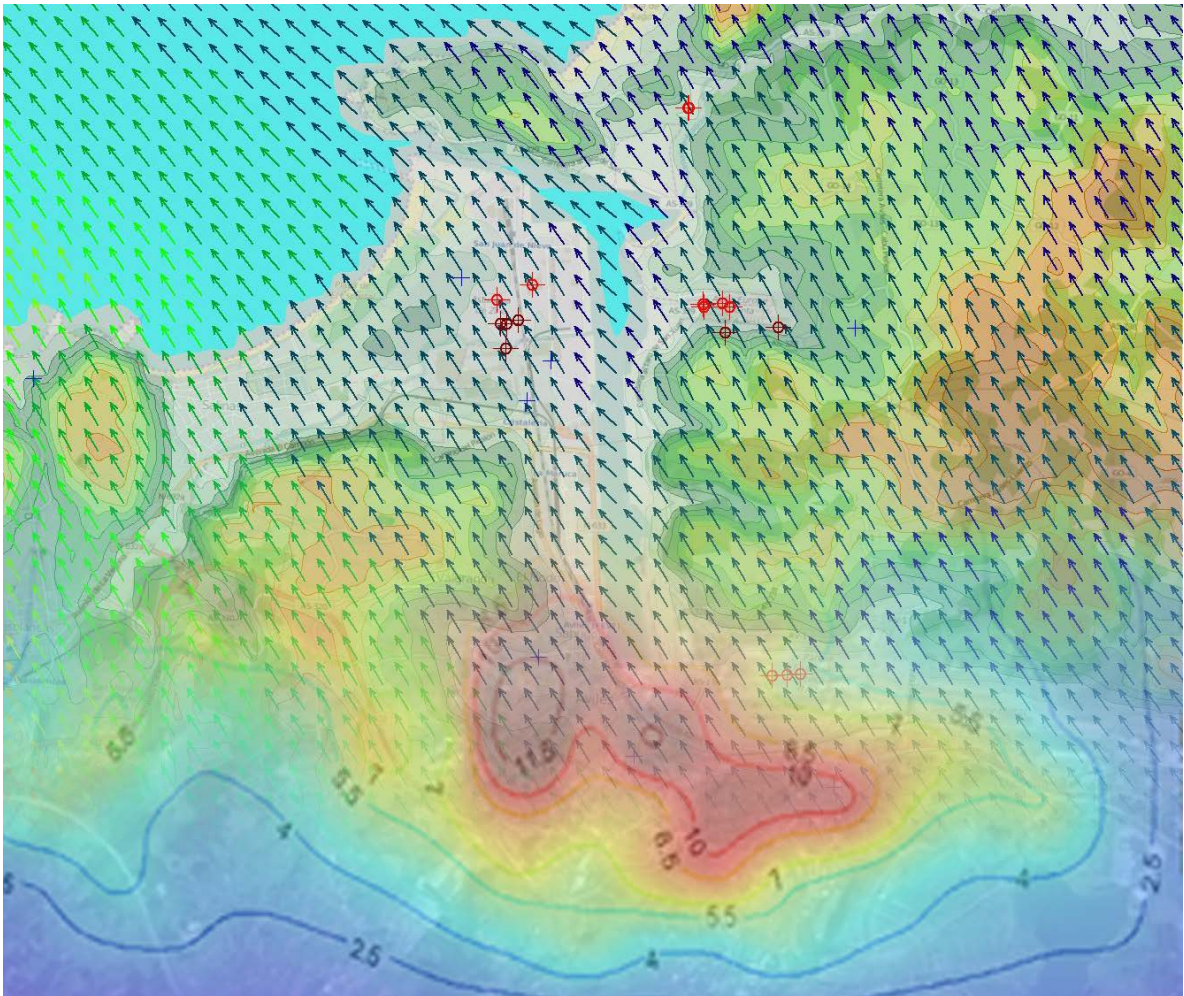


## **MODELIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR PARTÍCULAS PM10 EN EL ÁREA DE AVILÉS**





## Contenido

1.	<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>1</b>
2.	<b>OBJETO DEL ESTUDIO Y METODOLOGÍA .....</b>	<b>6</b>
3.	<b>ÁMBITO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>7</b>
4.	<b>DATOS DE PARTIDA Y SU PROCESAMIENTO.....</b>	<b>8</b>
4.1.	DATOS METEOROLÓGICOS OBSERVACIONALES.....	8
4.2.	MODELO DIGITAL DEL TERRENO .....	10
4.3.	USOS DEL SUELO.....	11
4.4.	DATOS METEOROLÓGICOS DE PRONÓSTICO .....	12
4.4.1.	Modelo WRF .....	12
4.4.2.	Validación del modelo .....	16
4.5.	FUENTES DE EMISIÓN .....	23
4.5.1.	Emisiones Industriales .....	23
4.5.2.	Emisiones debidas al tráfico rodado urbano y autonómico y nacional.....	26
4.5.3.	Emisiones Portuarias .....	28
4.6.	ESTACIONES DE CALIDAD DEL AIRE – PUNTOS DE CONTROL.....	32
5.	<b>MODELIZACION .....</b>	<b>33</b>
6.	<b>VALIDACIÓN DE LA MODELIZACION .....</b>	<b>34</b>
6.1.	EVALUACIÓN ESTADÍSTICA .....	34
6.2.	EVALUACIÓN A TRAVÉS DE GRÁFICOS.....	39
6.3.	CONCLUSIONES EN CUANTO A LA VALIDACIÓN .....	44
7.	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>46</b>
7.1.	CONTRIBUCIÓN POR SECTORES.....	46
7.1.1.	Contribución por sectores en el ámbito de estudio .....	46
7.1.2.	Contribución por sectores en el núcleo urbano de Avilés.....	59
7.1.3.	Contribución por sectores en los puntos de control .....	62
7.2.	CONTRIBUCIÓN POR FOCOS.....	70
8.	<b>SÍNTESIS DE CONCLUSIONES .....</b>	<b>77</b>
9.	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>79</b>

## Listado de Figuras

Figura 1. Ámbito de estudio de la modelización del Área de Avilés e identificación de los principales emisores de PM10.....	7
Figura 2. Rosa de viento e histograma de las estaciones meteorológicas de Campo de Tiro y Matadero para las series de datos de 2012 y 2013 .....	9
Figura 3. Modelo Digital del Terreno del ámbito de estudio .....	10
Figura 4. Usos del suelo (CORINE Land Cover) del ámbito de estudio.....	11
Figura 5. Albedo, Razon de Bowen y Flujo de calor al suelo de acuerdo con los usos del suelo categorizados en el ámbito de estudio .....	11
Figura 6. Dominios anidados en el modelo WRF .....	12
Figura 7. Líneas de corriente de viento superficial en D-1.....	13
Figura 8. Líneas de corriente de viento superficial en D-2.....	14
Figura 9. Líneas de corriente de viento superficial en D-3.....	14
Figura 10. Representación tridimensional de vectores de viento en 3 niveles de altura dentro del dominio D-3 correspondientes a las 8:00 del día 31/08/2013 .....	15
Figura 11. Dispersión y concordancia por cuantiles de valores de temperatura modelizada y observada en la estación de Campo de Tiro .....	17
Figura 12. Concordancia por cuantiles de valores de temperatura modelizada y observada en la estación de Campo de Tiro por estaciones .....	18
Figura 13. Serie anual y medias móviles de temperatura modelizada y observada en la estación de Campo de Tiro .....	19
Figura 14. Dispersión de valores de velocidad de viento modelizada y observada en la estación de Campo de Tiro .....	19
Figura 15. Serie anual y medias móviles de valores de velocidad de viento modelizada y observada en la estación de Campo de Tiro.....	20
Figura 16. Dispersión y concordancia por cuantiles de valores de dirección de viento modelizada y observada en la estación de Campo de Tiro .....	21
Figura 17. Serie anual y medias móviles de valores de dirección de viento modelizada y observada en la estación de Campo de Tiro.....	22
Figura 18. Focos industriales considerados en el ámbito de estudio .....	23
Figura 19. Fuentes de emisión del tráfico rodado del área de Avilés y de las carreteras Autonómicas y Nacionales en el ámbito de estudio junto con estaciones de calidad del aire de referencia.....	26

Figura 20. Muelles del Puerto de Avilés. Fuente: Autoridad Portuaria de Avilés .....	28
Figura 21. Localización de las áreas, muelles y vías principales de emisión de partículas en el Puerto de Avilés .....	31
Figura 22. Ubicación de las estaciones de calidad del aire consideradas como puntos de control en el estudio de modelización .....	32
Figura 23. Rosa de contaminación de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) calculada en el punto de control de Plaza de la Guitarra en el año 2013 .....	40
Figura 24. Rosa de contaminación de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) medida en la estación de Plaza de la Guitarra en el año 2013.....	40
Figura 25. Rosa de contaminación de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de valores calculados y normalizados en el punto de control de Plaza de la Guitarra en el año 2013 .....	42
Figura 26. Rosa de contaminación de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de valores medidos y normalizados en la estación de Plaza de la Guitarra en el año 2013.....	42
Figura 27. Rosa de contaminación de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de valores calculados y normalizados en el punto de control de Plaza de la Guitarra en el año 2013 por estaciones del año.....	43
Figura 28. Rosa de contaminación de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de valores medidos y normalizados en la estación de Plaza de la Guitarra en el año 2013.....	43
Figura 29. Distribución espacial del sector de mayor contribución en “P50” de los valores de concentración de PM10 modelizados y la ubicación de las estaciones de calidad del aire .....	48
Figura 30. Distribución espacial del sector de mayor contribución en “P90” de los valores de concentración de PM10 modelizados y la ubicación de las estaciones de calidad del aire .....	48
Figura 31. Niveles de isoconcentración de PM10 del Percentil 50 de los valores modelizados para todos los focos de emisión y ubicación de las estaciones de calidad del aire .....	50
Figura 32. Niveles de isoconcentración de PM10 del Percentil 90.4 de los valores modelizados para todos los focos de emisión y ubicación de las estaciones de calidad del aire .....	51
Figura 33. Curvas de porcentaje de contribución del sector industrial. P50 .....	53
Figura 34. Curvas de porcentaje de contribución del sector industrial. P90 .....	53
Figura 35. Curvas de porcentaje de contribución del sector portuario. P50 .....	54
Figura 36. Curvas de porcentaje de contribución del sector portuario. P90 .....	54
Figura 37. Curvas de porcentaje de contribución de las emisiones procedentes del tráfico urbano. P50 .....	55
Figura 38. Curvas de porcentaje de contribución emisiones procedentes del tráfico urbano. P90.....	55

Figura 39. Curvas de porcentaje de contribución emisiones procedentes del tráfico autonómico y nacional. P50 .....	56
Figura 40. Curvas de porcentaje de contribución emisiones procedentes del tráfico autonómico y nacional. P90 .....	56
Figura 41. Rosas de contaminación de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) modelizada obtenida en el punto de control de Plaza de la Guitarra en el año 2013 distribuida en cuartiles de espesor de la capa límite.....	58
Figura 42. Rosas de contaminación de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de datos medidos en Plaza de la Guitarra en el año 2013 distribuida en cuartiles de espesor de la capa límite.....	58
Figura 43. Rosas de contaminación de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) modelizada obtenida en el punto de control de Matadero en el año 2013 distribuida en cuartiles de espesor de la capa límite .....	59
Figura 44. Curvas de iso- contribución por sectores (%) en el núcleo urbano de Avilés. P50 .....	61
Figura 45. Resultados de modelo para 2013. Representación gráfica de la distribución por Sectores para “P90” y “P50” en los puntos de control.....	64
Figura 46.Representación sobre imagen de satélite de la distribución por sectores en la ubicación de las estaciones de calidad del aire. P50.....	68
Figura 47.Representación sobre imagen de satélite de la distribución por sectores en la ubicación de las estaciones de calidad del aire. P90.....	69
Figura 48. Contribución por empresa y por percentil en cada punto de control .....	71
Figura 49. Contribución por empresa y por percentil en cada punto de control. Considerando el conjunto de todos los sectores .....	73
Figura 50. Contribución por sectores y por focos en el punto de control de Plaza de la Guitarra. Percentil 90.4 .....	74

## Listado de Tablas

Tabla 1. Parámetros estadísticos de concordancia del modelo meteorológico en la estación de Campo de Tiro .....	16
Tabla 2. Focos principales en el Área de Avilés considerados en la modelización. Parámetros físicos y de emisión constantes .....	24
Tabla 3. Focos secundarios en el Área de Avilés considerados en la modelización. Parámetros físicos y de emisión .....	25
Tabla 4. Muelles del Puerto de Avilés .....	28
Tabla 5. Estaciones de calidad del aire contrastadas con el modelo. Puntos de control .....	32
Tabla 6. Estadísticos principales de concordancia del modelo .....	34
Tabla 7. Indicadores de calidad utilizados en el modelo CALIOPE .....	39
Tabla 8. Porcentaje de contribución por sectores en el área de Avilés .....	60
Tabla 9. Resultados de modelo para 2013. Distribución de la contribución por sectores (% PM10 por percentiles) y concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10) en cada punto de control considerado .....	63
Tabla 10. Contribución por foco y por percentil en cada punto de control. Considerando únicamente los focos industriales .....	75

## Anexos

Anexo I. Contribución por empresa para cada escenario en cada punto de control considerando todos los sectores incluidos en el estudio .....	81
Anexo II. Distribución del parque de vehículos y factores de emisión considerados en el estudio .....	83
Anexo III. Resultados del Modelo de dispersión. Mapas de concentración de PM10 .....	86

## 1. RESUMEN EJECUTIVO

---

La zona “Asturias Central” la cual incluye el Área de Avilés, ha incumplido tanto el valor límite diario como el valor límite anual de PM10 desde 2002 hasta 2014. En concreto el incumplimiento del VLD se debió al número de superaciones registradas en la estación de Matadero (código ES1320A), que en concreto para el año 2013, año de referencia del presente estudio, se superó en 121 días y tuvo un valor medio anual de 46  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

El *Plan Mejora de la Calidad del aire en la Zona Central de Asturias. Avilés*”, publicado en el BOPA nº 153, de 03/07/2014, mediante *Resolución de 18 de junio de 2014*, tiene como objetivo reducir la contaminación respecto a las partículas PM10 en dicho área. De entre las medidas contempladas figura la *Modelización de la contaminación por partículas PM10 en la zona afectada*, cuyo análisis y resultados se recoge en el presente informe. Por tanto, con el presente estudio se pretende conocer en detalle el fenómeno de dispersión de partículas PM10 emitidas por las fuentes existentes en el Área de Avilés y los niveles de concentración alcanzados en la zona, mediante herramientas de modelización atmosférica, con el fin de poder proponer las medidas adecuadas para su disminución.

La metodología que se ha llevado a cabo para el desarrollo del proyecto se puede resumir en las siguientes fases. Inicialmente se efectúa una etapa de definición del ámbito de estudio e identificación de las fuentes emisoras implicadas, posteriormente se realiza una fase de recopilación de datos de partida con su correspondiente auditoría y su tratamiento para obtener los datos que requiere el modelo. Una vez resueltas estas dos fases se puede “montar” el modelo y ejecutar la modelización, tras la cual, se realiza una validación de los resultados obtenidos, así como un análisis de los mismos desde el punto de vista de contribución de fuentes o sectores. Finalmente, se efectúa un análisis por cada foco industrial para poder acotar aún más el origen de la contaminación PM10 y poder establecer una base para una eventual toma de decisiones para reducción de la contaminación.

El tratamiento de datos ha requerido en primer lugar del pre-proceso de la información meteorológica y la información geofísica (modelo digital del terreno y usos del mismo) en el ámbito del estudio. Con objeto de completar la información meteorológica recogida en estaciones de superficie, se ha realizado una modelización meteorológica a través del modelo WRF AWR v.3.6.1 con una resolución de 2 km (que recoge la estructura vertical de la atmósfera, necesaria para una adecuada modelización de la dispersión de contaminantes). En segundo lugar, se ha pre-procesado la información de las fuentes de emisión, de tal manera que ésta pueda ser asimilada por un modelo de dispersión con resolución temporal horaria. Las fuentes de emisión de partículas PM10 consideradas son las siguientes:



- Industriales:

Industria	Puntual Principal	Puntual Secundario
<b>Asturiana de Zinc</b>	Hornos de fusión I,II,III,V	
	Horno de fusión IV,VI	-
	Horno de fusión VII	
<b>Saint Gobain Cristalería</b>	Horno F-400	-
<b>Alcoa INESPAL</b>	Lavados en seco nº2	-
	Lavados en seco nº 3	
		Baterías 1-2
<b>Arcelor Mittal</b>	-	Baterías 3-4
		Baterías 5-6
<b>Asturiana de fertilizantes</b>	-	Secadero de granulación
<b>Aleastur</b>	-	Horno de Inducción I
		Horno de Inducción II
<b>AZSA</b>	-	Zinc1
		Zinc2
		Zinc3
		Transporte
		Horno 3
<b>Alcoa INESPAL</b>	-	Horno 10
		Horno 11
		Planta reciclado

- Tráfico rodado en vías urbanas: Se ha considerado una malla de emisores cada 500 m para cubrir la totalidad del núcleo urbano de Avilés.
- Tráfico rodado autonómico y nacional: Se ha considerado una secuencia de emisores cada 200 m sobre el eje principal de cada carretera.
- Fuentes portuarias, se han tenido en cuenta las emisiones difusas debidas a la carga y descarga en los siguientes muelles, así como las emisiones debidas al tráfico rodado portuario y a los parques de almacenamiento.

Muelles Puerto de Avilés	
Raíces	Sur
Ampliación de Raíces	Valliniello
San Juan de Nieva	Alcoa-inespal
	Arcelor Mittal

En tercer lugar, se ha realizado el procesado de los datos observacionales, los meteorológicos de pronóstico, junto con la topografía y los usos del suelo mediante el modelo de diagnóstico CALMET.

Una vez pre-procesada la información de fuentes de partículas y el campo de vientos de CALMET, se ha corrido el módulo CALPUFF. CALPUFF es un modelo de dispersión tipo “puff”, Lagrangiano Gaussiano no estacionario, capaz de modelar el transporte y dispersión de contaminantes. Como resultado del post proceso de esta etapa se obtiene una información horaria de concentraciones superficiales de partículas PM10, específica para cada sector y/o foco de emisión, para todo el año 2013. Como paso final de la modelización se ha efectuado la validación y calibración del mismo, contrastando los datos modelizados en los puntos coincidentes con estaciones de calidad del aire del Principado de Asturias. El objeto de la verificación es comprobar si los resultados obtenidos son adecuados para el objeto que se pretende y establecer los límites en la explotación de los mismos. En este aspecto, se concluye que el modelo efectuado tiene una capacidad predictiva sobre los niveles de PM10 razonable (estadísticamente, entre buena-muy buena en este contexto). Sin embargo, existe un sesgo importante en la predicción provocado, en gran medida, porque el modelo no incluye las partículas de origen natural y una parte de las de origen antropogénico, lo cual es razonable ya que en los niveles modelizados no está contemplado el fondo regional y algunas emisiones de partículas de origen local. Todo esto, sumado a las limitaciones intrínsecas del modelo, sugiere que los valores predichos en términos absolutos han de interpretarse con cautela. Sin embargo, los valores modelizados para cada uno de los diferentes sectores o focos quedan afectados de igual manera por algunos de los errores debidos a las limitaciones del modelo en cuanto a la capacidad predictiva. Dichos efectos quedan en parte reducidos en los cálculos de contribución relativa, siendo, además, éstos muy robustos frente a los sesgos sistemáticos (al ser prácticamente cancelados en términos relativos). Esto implica que las conclusiones del presente estudio han de estar fundamentadas principalmente en las contribuciones relativas de los sectores/focos considerados en el estudio.

Finalmente, con el fin de establecer qué sector o foco es el que puede estar contribuyendo en mayor medida durante los días que se alcanzan los mayores valores de concentración de PM10, se ha empleado como indicador el corte del percentil 90.4 (“P90”), es decir, mediante esta herramienta se identifica qué sector es el que más contribuye o en qué medida o porcentaje lo hace durante los 35 días del año en los que se dan los peores valores de contaminación por PM10 para cada receptor o

punto de control del ámbito de estudio. Del mismo modo, se ha empleado el corte del percentil 50 (“P50”) (los 182 días con mayor nivel de contaminación) como herramienta de comparación frente al percentil 90.4, ya que de dicha comparación se puede extraer en qué medida contribuye cada sector o foco durante la los peores días del año en relación a su contribución media anual.

Los resultados obtenidos del análisis de contribución por fuentes o sectores y por focos industriales realizado en el presente estudio se pueden resumir en los siguientes puntos:

- La contribución del sector industrial sobre los niveles de partículas resultados de la modelización es predominante en el conjunto del ámbito de estudio y se observa cómo, en los días de mayor contaminación, aumenta el área de influencia en donde su contribución es superior al resto de sectores.
- Respecto a los puntos de control, se observa que los valores para el percentil 50 de las concentraciones medias diarias modelizadas de PM10 están entre  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para Arnao y  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de Matadero.
- En la zona del núcleo urbano de Avilés, las contribuciones a los niveles de partículas alcanzados tanto del sector industrial como el proveniente del tráfico son prácticamente equivalentes. En dicha zona, el sector portuario contribuye un 4% en el valor medio anual de PM10 resultado de la modelización.
- Los valores obtenidos en el punto de control de Matadero indican que las emisiones que recibe durante la mitad del año de mayor contaminación provienen principalmente del sector industrial, seguido de la actividad portuaria y en última instancia de las emisiones debidas al tráfico. Se trata de la ubicación en la que más peso tiene la actividad portuaria en cuanto a los niveles de partículas alcanzados (20%), porcentaje que se incrementa hasta el 17% durante los 35 días del año de mayor contaminación. Cabe destacar que los días de mayor contaminación en este punto se asocian principalmente a días con viento elevado, y no tanto a condiciones meteorológicas de inversión térmica. Esto es así probablemente debido a la cercanía de las fuentes y, sobre todo, que la emisión de partículas en el Puerto de Avilés está fuertemente influenciada por la velocidad y las rachas de viento.
- Los puntos de control Llaranes y Llanoponte presentan durante los 182 días del año de mayor contaminación, un porcentaje de contribución del sector industrial muy similar al asociado al tráfico, sin observarse contribución de la actividad portuaria. No obstante, en los 35 días de mayor concentración de PM10, ambas estaciones (al igual que Arnao y Portería) suman un 15% más en cuanto a la contribución del sector industrial. Es decir, existe una relación positiva entre los valores más altos obtenidos en estas ubicaciones y las emisiones debidas a los focos industriales de la zona.
- En el punto de control de Plaza de la Guitarra es donde más colaboran las emisiones del tráfico sobre los niveles de contaminación alcanzados. La contribución de fuentes durante los días de mayor contaminación es similar a la contribución media anual. La actividad portuaria tiene una mínima influencia sobre estos valores (1-2%).

- La ubicación de Campo de Tiro refleja una contribución del sector industrial del 73% para los 182 días de mayor contaminación anual, porcentaje que disminuye al analizar únicamente los 35 valores más altos. Se trata de la actividad portuaria la que más influencia tiene sobre los mayores valores en este punto debido a situaciones meteorológicas de viento elevado (de tal forma que provoca una mayor erosión sobre los almacenamientos portuarios). Cabe resaltar que el sector portuario duplica su contribución durante los 35 días de mayor contaminación de PM10.

Respecto a la contribución por focos industriales (considerando únicamente este sector para el cálculo de los porcentajes de contribución por focos) se puede concluir que:

- El punto de control de Balsa Jarosita es el que refleja el mayor valor medio de concentración de PM10 de los 35 días de mayor contaminación siendo el 60% de la contribución procedente de los focos de Asturiana de Zinc.
- En las ubicaciones de Portería y Arnao, las siguientes en orden de mayor valor medio alcanzado, destaca el horno de Cristalería Saint Gobain con más del 50% en la contribución de los niveles de partículas de los 35 días de mayor concentración. No obstante, cabe mencionar que en la modelización no se incluyeron las emisiones de la factoría de Arnao por su lejanía a la zona principal de estudio (el entorno de la ría de Avilés) por lo que los resultados en este punto de control no responden a la realidad.
- Se observa como Arcelor Mittal es la principal industria responsable de los valores de PM10 procedentes del sector industrial que se registran en los puntos de control de Llanoponte, Llaranes y Plaza de la Guitarra, con una contribución media en torno al 80%, seguido del horno 4 de Cristalería Saint Gobain con un 15%.

## 2. OBJETO DEL ESTUDIO Y METODOLOGÍA

---

El objeto del presente estudio es conocer en detalle el fenómeno de dispersión de partículas PM10 emitidas por las fuentes existentes en el entorno de Avilés y los niveles de concentración alcanzados en la zona de estudio, mediante herramientas de modelización atmosférica, con el fin de poder proponer las medidas adecuadas para su disminución.

La metodología que se ha llevado a cabo para el desarrollo del proyecto se puede resumir en las siguientes fases. Una fase inicial de **definición del ámbito de estudio e identificación de las fuentes emisoras** implicadas, posteriormente una fase de **recopilación de datos** de partida con su consecuente auditoría y **tratamiento** para obtener los datos que requiere el modelo. Una vez resueltas estas dos fases se puede montar el modelo y ejecutar la **modelización**, tras la cual se realiza una **validación de los resultados** obtenidos, así como un análisis de los mismos desde el punto de vista **de contribución de fuentes o sectores** y finalmente un análisis por **foco** industrial concreto para acotar sobre quién actuar en el momento de la toma de decisiones para reducir las emisiones.

### 3. ÁMBITO DEL ESTUDIO

El ámbito de estudio engloba un dominio de 10x10 km centrado en la estación de calidad del aire de Matadero de la red del Principado de Asturias.

Las industrias presentes en el ámbito de estudio y que se han considerado en el estudio están relacionadas con la producción y procesamiento de metales y producción de vidrio. Al igual que en otras zonas urbanas el tráfico es otra de las fuentes de emisiones de contaminantes atmosféricos en Avilés, y entre ellos de partículas PM10, además de estas actividades otra fuente de contaminación atmosférica son las actividades del puerto (industrial y pesquero).

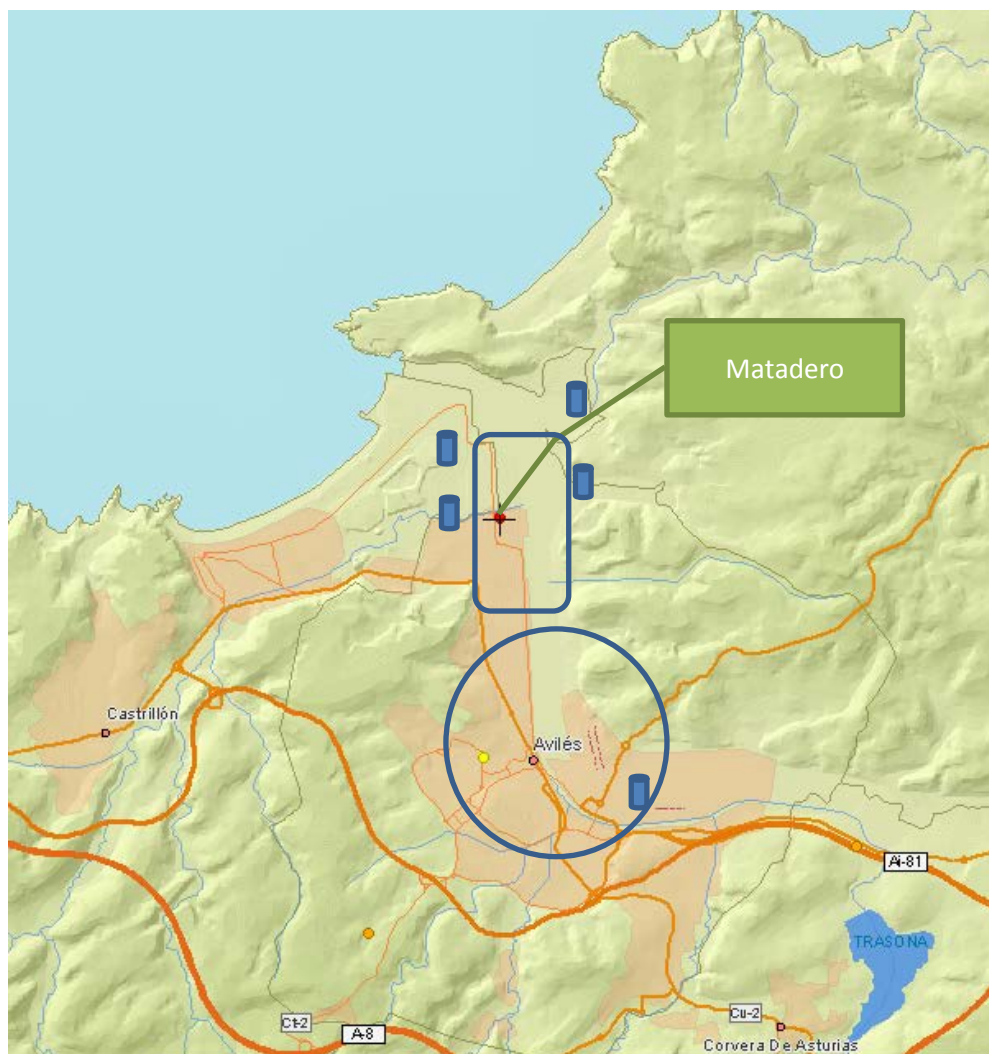


Figura 1. Ámbito de estudio de la modelización del Área de Avilés e identificación de los principales emisores de PM10

## 4. DATOS DE PARTIDA Y SU PROCESAMIENTO

---

La recopilación de los datos de partida y su posterior procesado es sin duda la fase clave para obtener un resultado fiable de la modelización de la dispersión de la contaminación.

Los modelos no crean información, sino que permiten obtener el máximo beneficio de la información disponible, por lo que los resultados tendrán, como máximo, la misma calidad que los datos disponibles.

### 4.1. DATOS METEOROLÓGICOS OBSERVACIONALES

---

Tras realizar una auditoría de la calidad de los datos meteorológicos disponibles en la zona de estudio, se ha seleccionado la serie de datos de la estación de Campo de Tiro ya que es aquella que ofrece mayor fiabilidad y representatividad para su posterior procesado en el modelo de diagnóstico CALMET. Del mismo modo se ha seleccionado el año 2013 por disponer de una serie más completa que la serie de 2012.

A modo de resumen de la auditoría realizada, en la siguiente gráfica se representan las rosas del viento y los histogramas correspondientes a las series de datos de 2012 Y 2013 de las dos estaciones que se han evaluado para su posible inclusión en el modelo de dispersión.

Como puede observarse a la vista de la rosa de vientos y el histograma de la estación de Matadero un elevado porcentaje de los datos de velocidad de viento son calmas y por lo tanto no poseen la calidad suficiente para incorporarlos al modelo de diagnóstico meteorológico.

Por su parte, a la vista de las rosas de vientos e histogramas de la estación de Campo de Tiro ambas series podrían ser válidas ya que los cambios horarios de dirección son suaves y las velocidades de viento están dentro del orden de magnitud esperable. Sin embargo la serie del año 2012 tiene gran porcentaje de datos incompletos mientras que la serie de 2013 está prácticamente completa.

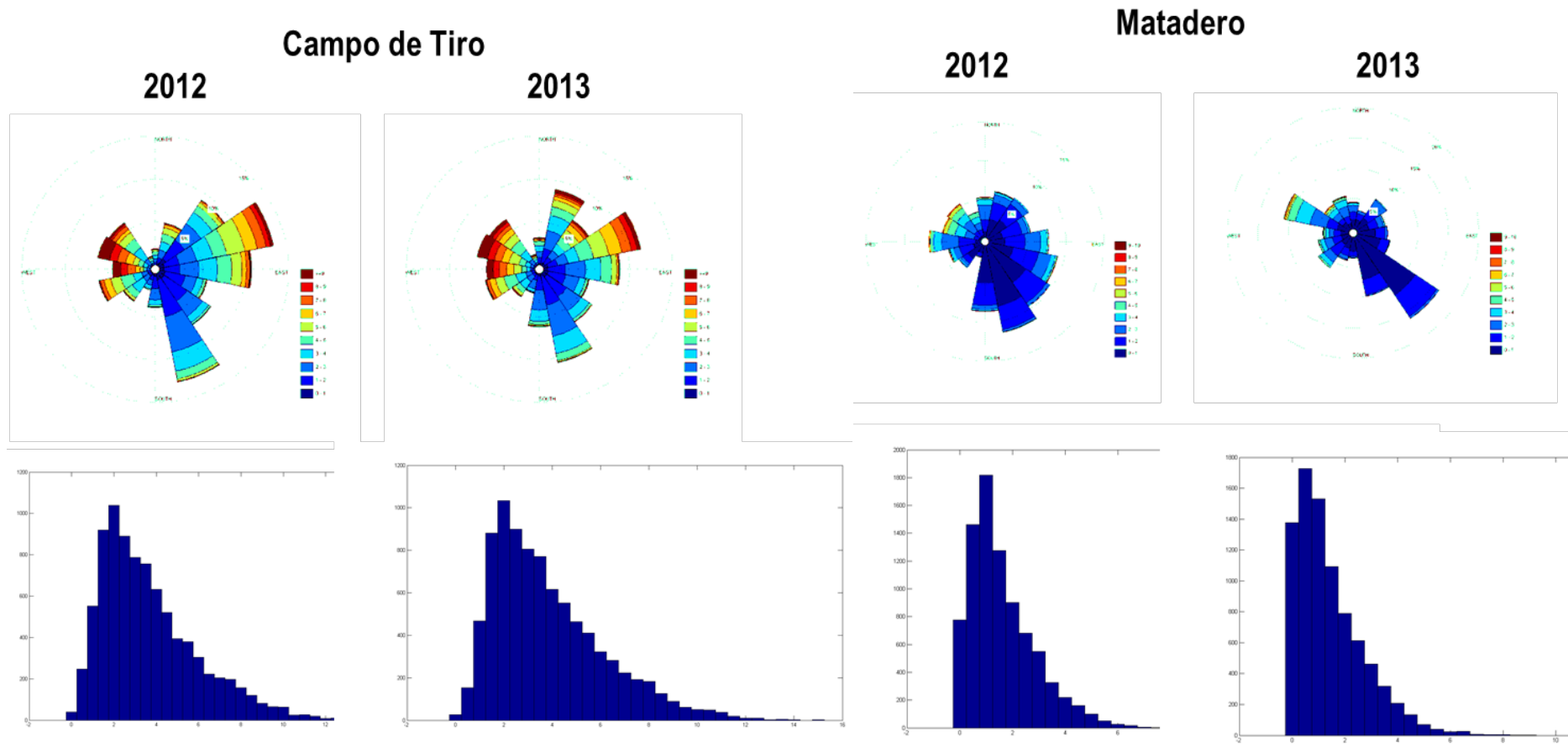


Figura 2. Rosa de viento e histograma de las estaciones meteorológicas de Campo de Tiro y Matadero para las series de datos de 2012 y 2013



## 4.2. MODELO DIGITAL DEL TERRENO

El Instituto Geográfico Nacional a través del Centro Nacional de Información geográfica pone a disposición varios Modelos Digitales del Terreno (MDT) con diferentes pasos de malla. Para realizar este estudio se ha empleado el MDT5 con un paso de malla cada 5m. En la siguiente imagen se muestra dicho MDT una vez incorporado al modelo de dispersión (CALPUFF).

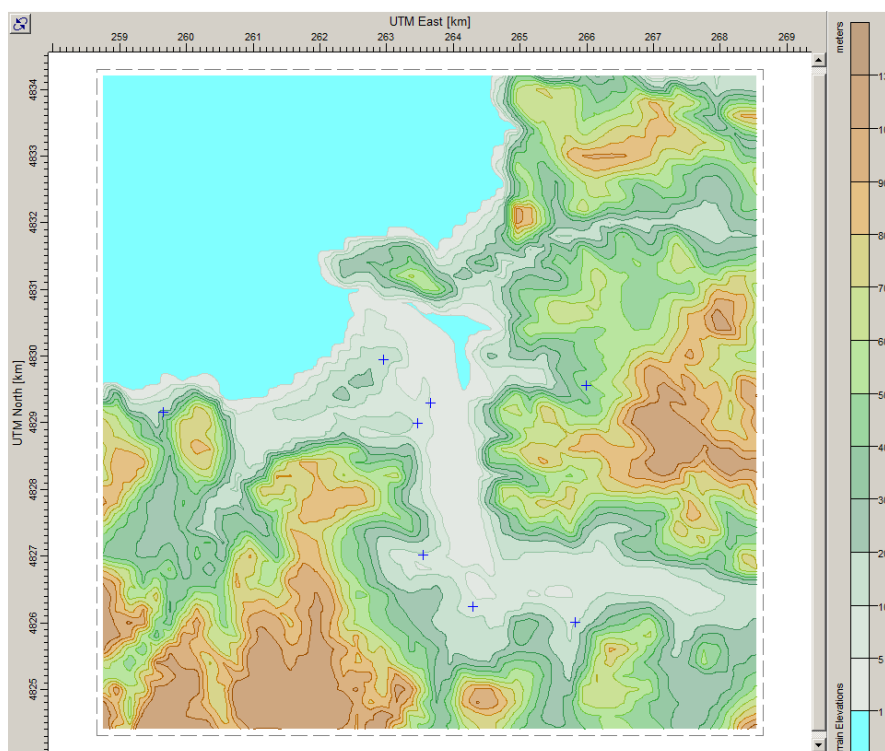


Figura 3. Modelo Digital del Terreno del ámbito de estudio

### 4.3. USOS DEL SUELO

La información sobre usos del suelo que se ha empleado es aquella disponible en la base de datos CORINE Land Cover 2006. Esta información se requiere para obtener parámetros que el modelo necesita y que dependen de las características del suelo o cobertura vegetal. Entre estos valores se encuentra el albedo terrestre y la razón de Bowen que intervienen en el balance radiativo y por el cual finalmente puede estimarse la altura de capa de mezcla diurna.

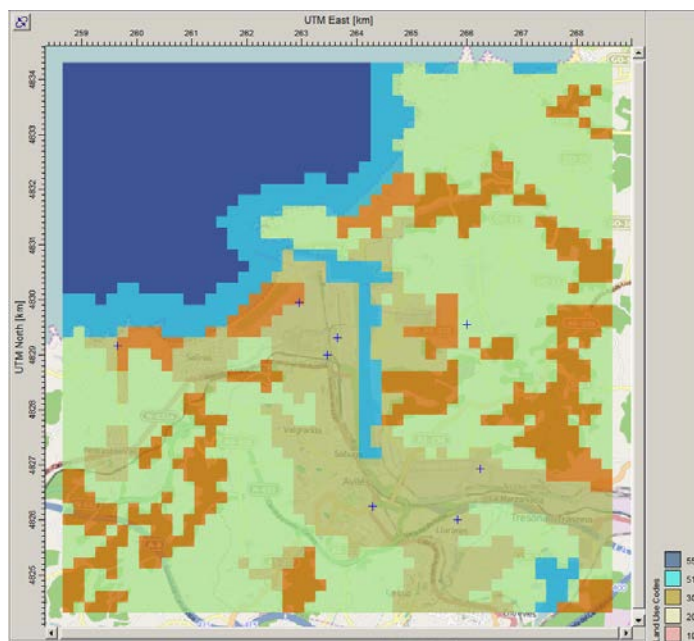


Figura 4. Usos del suelo (CORINE Land Cover) del ámbito de estudio

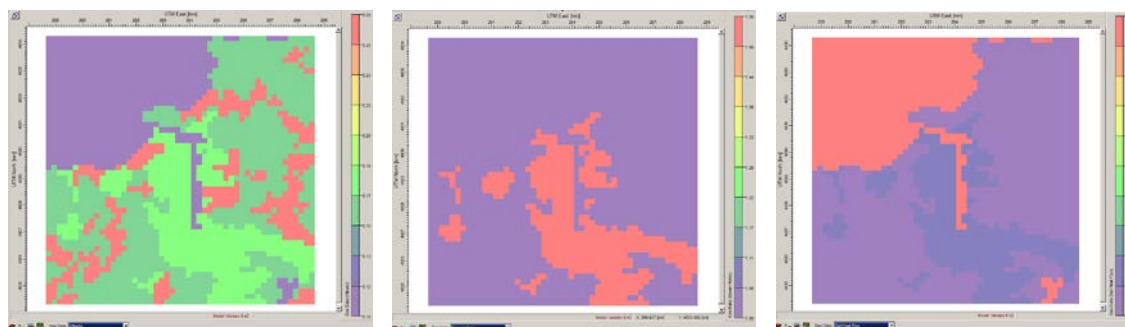


Figura 5. Albedo, Razon de Bowen y Flujo de calor al suelo de acuerdo con los usos del suelo categorizados en el ámbito de estudio

#### 4.4. DATOS METEOROLÓGICOS DE PRONÓSTICO

##### 4.4.1. Modelo WRF

Para poder efectuar la modelización de dispersión de partículas, el modelo CALPUFF puede utilizar datos meteorológicos de pronóstico (que tienen la ventaja de recoger la estructura vertical de a la atmósfera y poder abarcar todo el dominio del estudio, pero con una resolución espacial y temporal baja), datos meteorológicos observacionales (estaciones meteorológicas, que no recogen bien la estructura vertical de la atmósfera y las variaciones espaciales de las variables meteorológicas en el ámbito de estudio) o ambos (mediante un proceso de “nudging”, en cuanto que los datos de pronóstico son “forzados” a adaptarse a los datos observacionales). En este caso, se ha optado por la utilización de ambos como mejor solución posible.

Para el cálculo de los datos meteorológicos de pronóstico se utiliza el modelo WRF AWR v.3.6.1, que es de tipo mesoescala, euleriano, no hidrostático. Este modelo se usa para cambios de escala en la modelización de tiempo atmosférico y clima, a partir de una escala global hacia escalas menores en áreas limitadas, útil para derivar parámetros meteorológicos requeridos por los modelos de calidad del aire.

El modelo WRF ha probado ser una gran herramienta para la comunidad científica dado que soporta anidamiento, lo que permite que la simulación meteorológica se enfoque sobre una región amplia hasta llegar al área de interés, mejorando los resultados del dominio más fino. Esto es debido a que la mayoría de aplicaciones que involucran datos de campos meteorológicos para calidad del aire requieren un mallado fino.

El área o dominios de modelización considerados en este estudio se pueden apreciar en la figura siguiente:



Figura 6. Dominios anidados en el modelo WRF

Con WRF se diseñó una triple interacción de dos vías, partiendo de un dominio regional, que abarca parte de Francia y llega al Norte de África, (D1), otro dominio que abarca aproximadamente el Norte de la Península Ibérica (D2) y un dominio centrado en Asturias (D3).

La topografía y uso del suelo se interpolaron de MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) con una resolución espacial apropiada de 10 km, 5 km y 2 km para los dominios D1, D2 y D3, respectivamente. El año base para la modelización es el 2013.

Las condiciones iniciales y de frontera se toman a partir de los datos NCEP FNL (Final) "Operational Global Analysis", que son fuente de datos atmosféricos, tienen una resolución horizontal de 1 grado y son preparados operacionalmente cada 6 horas. Este producto se encuentra en el Global Data Assimilation System (GDAS), que recoge continuamente datos de observación del Global Telecommunications System (GTS), y otras fuentes, para muchos análisis. Los FNLs son hechos con el mismo modelo que NCEP usa en el Global Forecast System (GFS), pero los FNLs son preparados alrededor de una hora o más después que el GFS es inicializado. Los FNLs son demorados de tal manera que existen más datos observacionales que pueden ser utilizados. Los análisis están disponibles sobre la superficie de la Tierra, en 26 niveles obligatorios de 1000mb a 10mb, en la capa límite superficial y algunas capas sigma, la tropopausa y algunos otros niveles. Los parámetros incluyen presión superficial, presión al nivel de mar, altura geo-potencial, temperatura, temperatura superficial del mar, valores de los parámetros del suelo, cobertura de hielo, humedad relativa, componente zonal U y meridional V del viento, movimiento vertical, verticidad y ozono.

Los datos están disponibles en formato GRIB1 y GRIB2, y desde el 30 de Septiembre de 1999. Para más información ver: <http://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2/>

En las figuras siguientes, se ejemplifica el campo de velocidades (líneas de corriente) de las salidas del modelo WRF en los 3 dominios en una hora del año 2013.

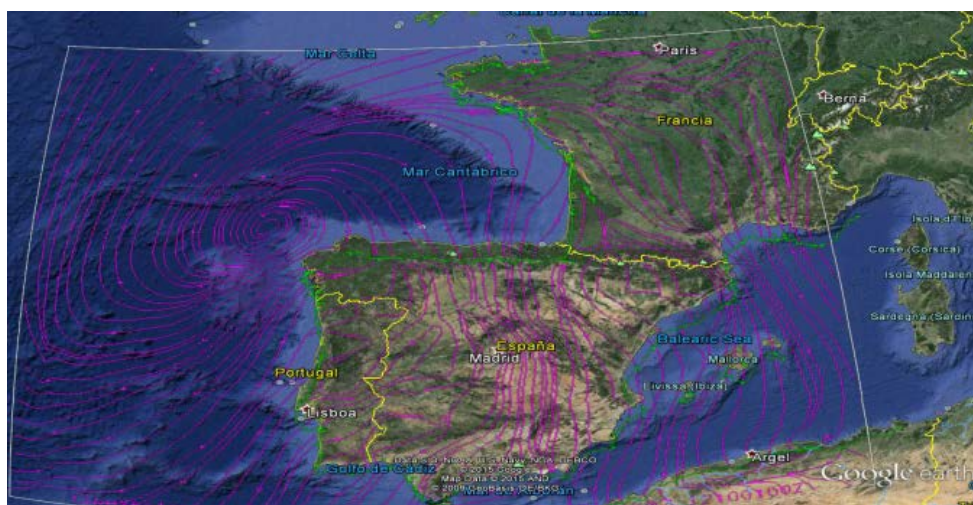


Figura 7. Líneas de corriente de viento superficial en D-1

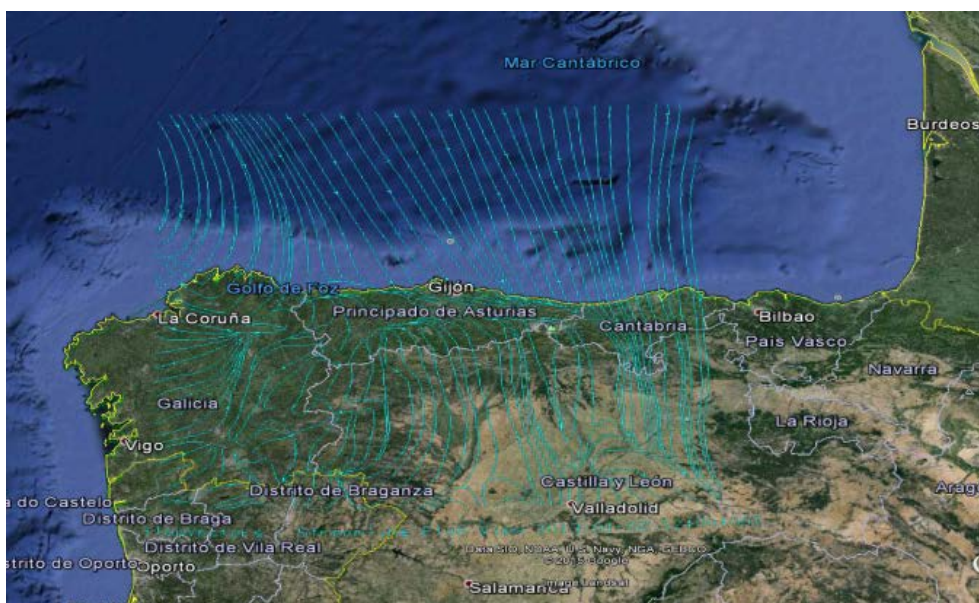


Figura 8. Líneas de corriente de viento superficial en D-2



Figura 9. Líneas de corriente de viento superficial en D-3

WRF suministra las variables meteorológicas 3D, de tal manera que se tiene en cuenta el estado de la atmósfera en su conjunto, lo cual es clave para el estudio de dispersión de contaminantes con el modelo CALPUFF. Estando considerado como uno de los mejores modelos mesoescalares existentes, es capaz de interpretar adecuadamente situaciones sinópticas como el estancamiento meteorológico o fenómenos locales como la influencia del mar (brisas marinas).

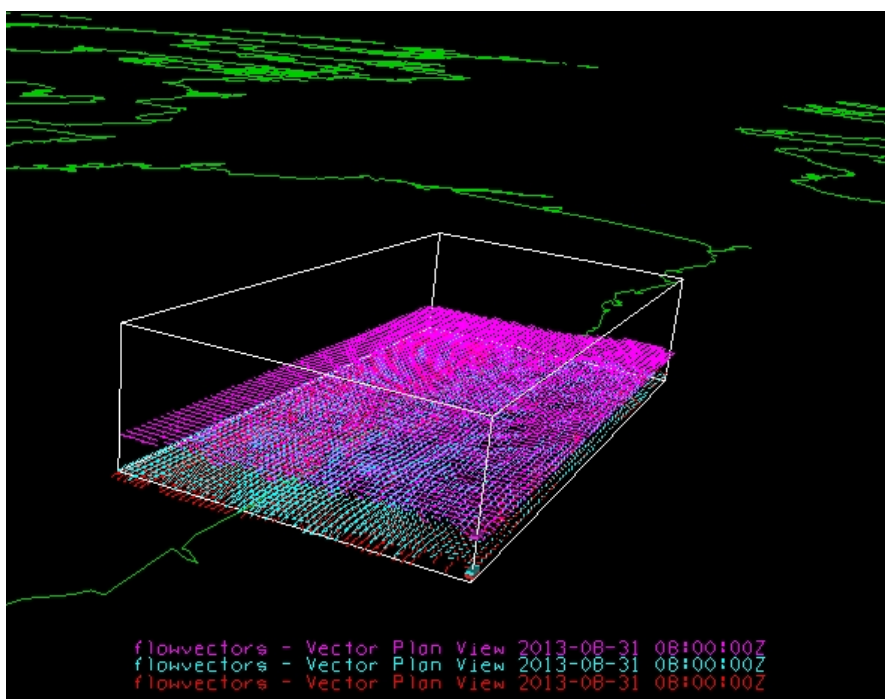


Figura 10. Representación tridimensional de vectores de viento en 3 niveles de altura dentro del dominio D-3 correspondientes a las 8:00 del día 31/08/2013

#### 4.4.2. Validación del modelo

Con objeto de evaluar la bondad de la modelización, se contrastan los datos meteorológicos obtenidos con los datos meteorológicos medidos en las estaciones superficiales para todo el año 2013. Se ha seleccionado la estación de Campo de Tiro por considerar que tiene una mayor completitud de datos.

Tabla 1. Parámetros estadísticos de concordancia del modelo meteorológico en la estación de Campo de Tiro

	Temperatura	Velocidad	Dirección
<b>Número de muestras</b>	8750	8750	4550
<b>Sesgo medio</b>	-0.74	0.32	-16.03
<b>Sesgo medio normalizado</b>	-0.05	0.08	-0.07
<b>RMSE. Error cuadrático medio</b>	2.76	2.24	109.40
<b>r de Pearson</b>	0.83	0.59	0.44
<b>IOA (*)</b>	0.73	0.54	0.58

(\*) Es conocido, desde versiones muy tempranas, la tendencia del modelo WRF a sobre-estimar sistemáticamente velocidades en superficie en topografías tipo valle o planicie. (Ver Cheng, W.Y.Y., and W.J. Steenburgh, 2005: *Evaluation of Surface Sensible Weather Forecasts by the WRF and the Eta Models over the Western United States. Wea. Forecasting*, 20, 812–821)

A continuación, se presentan los diagramas de dispersión y de concordancia por cuantiles de los valores horarios de diversas variables meteorológicas modelizadas por WRF y los valores medidos en la estación de Campo de Tiro. De esta manera se puede apreciar gráficamente el grado bondad del modelo a través de la concordancia de observaciones y predicciones.

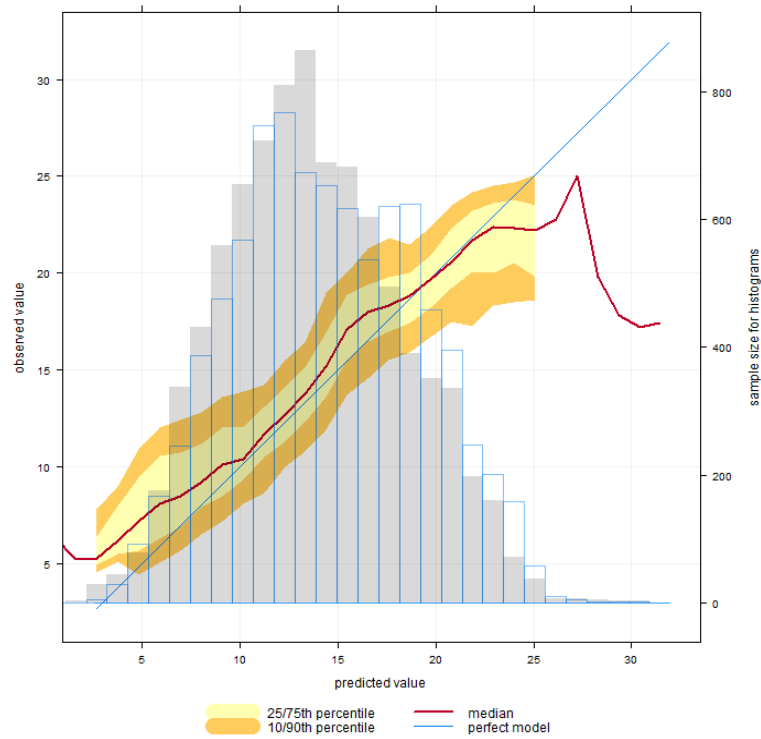
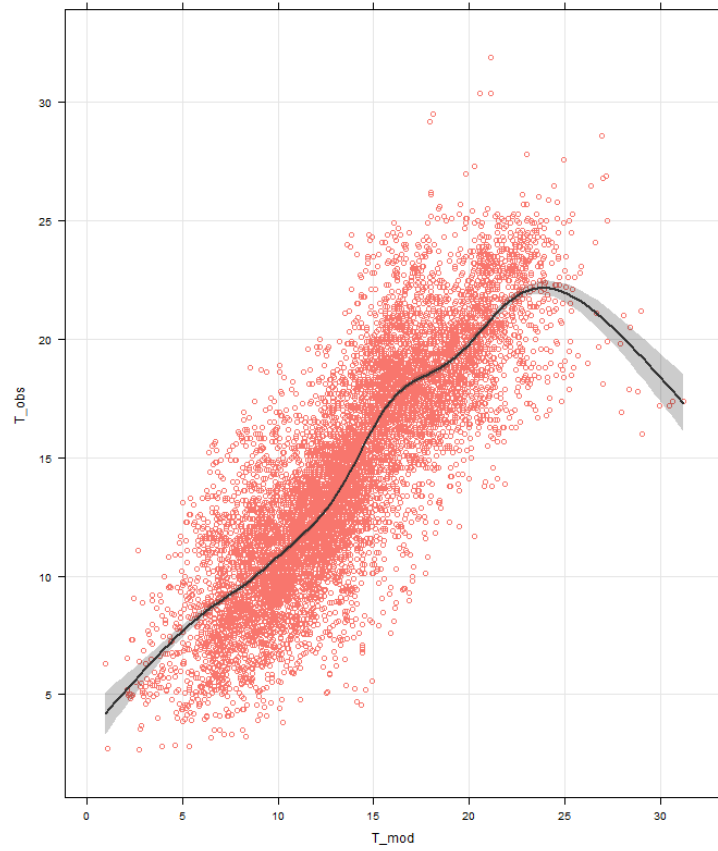


Figura 11. Dispersión y concordancia por cuantiles de valores de temperatura modelizada y observada en la estación de Campo de Tiro



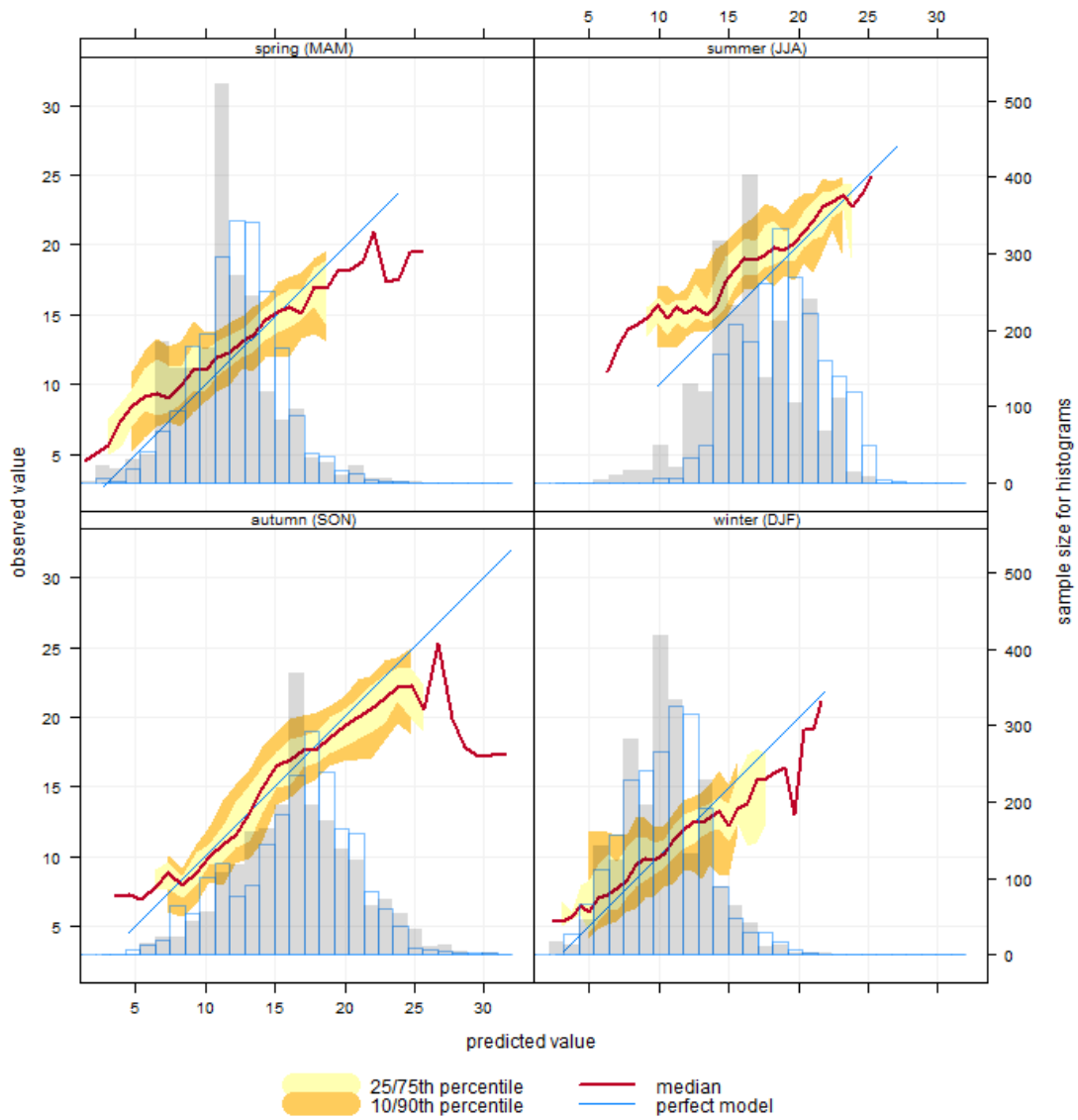


Figura 12. Concordancia por cuantiles de valores de temperatura modelizada y observada en la estación de Campo de Tiro por estaciones

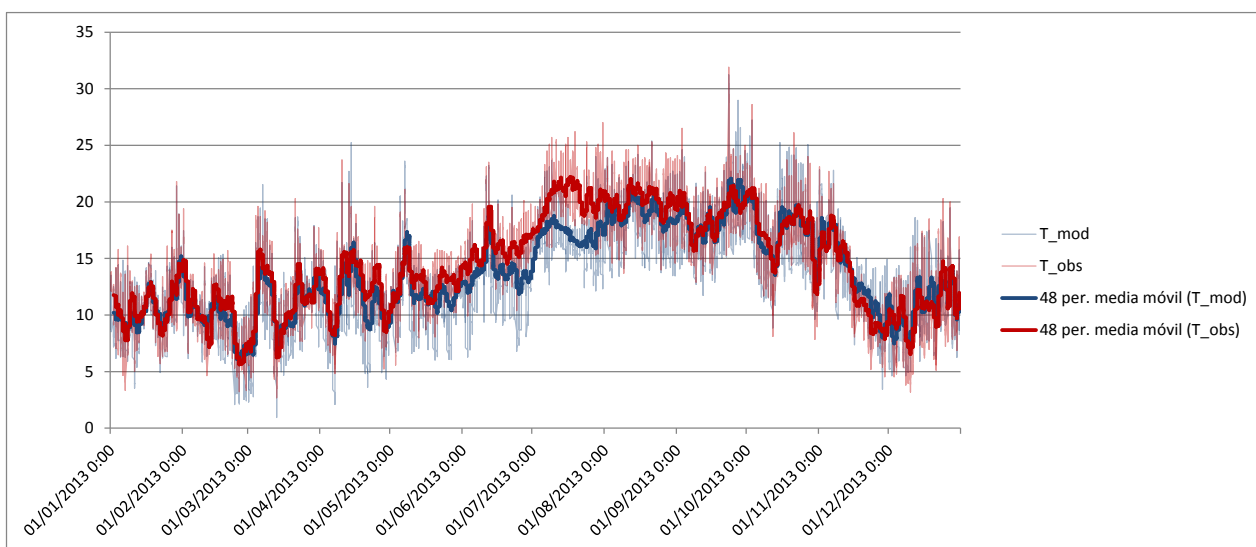


Figura 13. Serie anual y medias móviles de temperatura modelizada y observada en la estación de Campo de Tiro

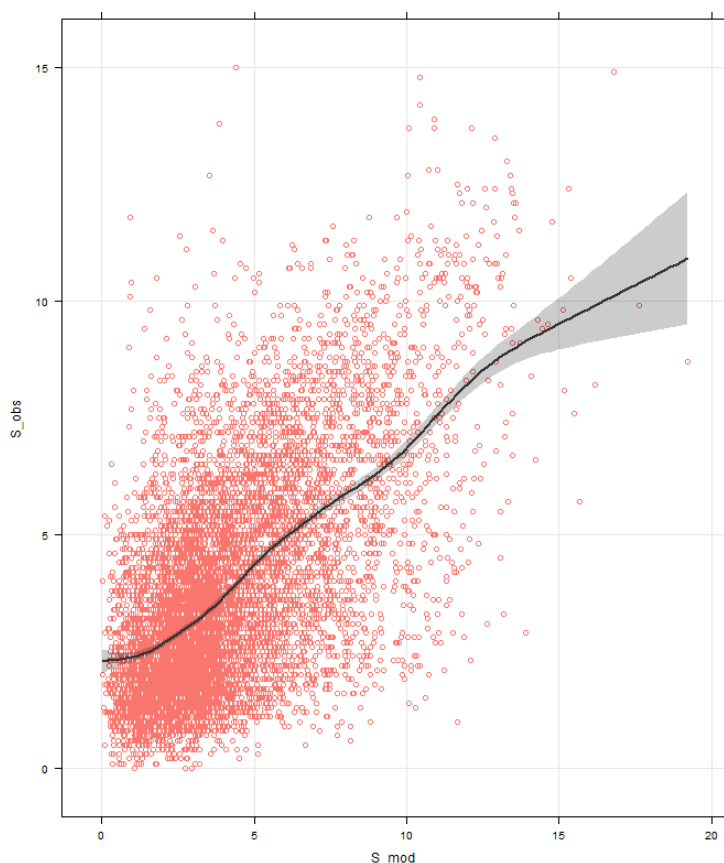


Figura 14. Dispersión de valores de velocidad de viento modelizada y observada en la estación de Campo de Tiro

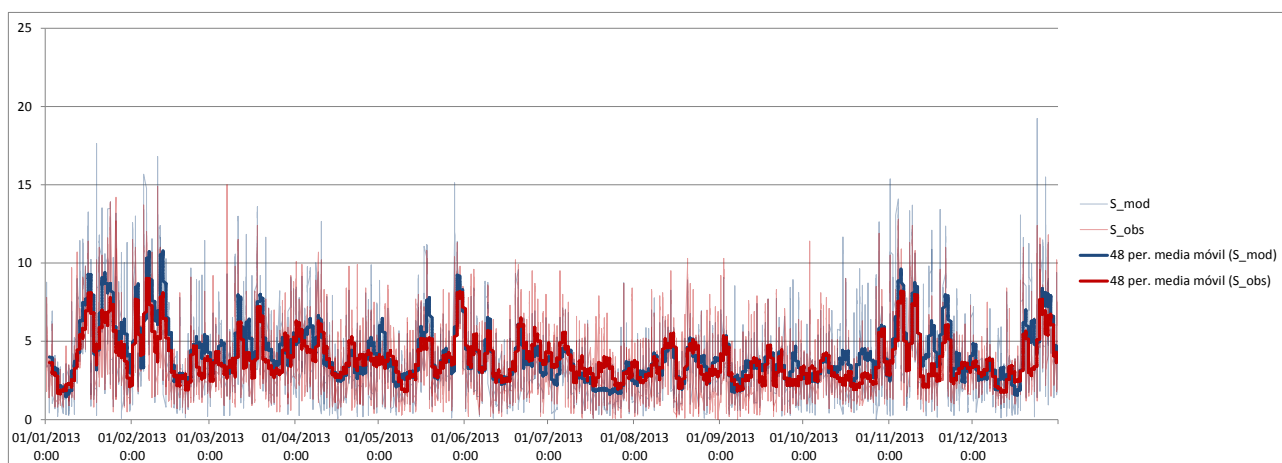


Figura 15. Serie anual y medias móviles de valores de velocidad de viento modelizada y observada en la estación de Campo de Tiro

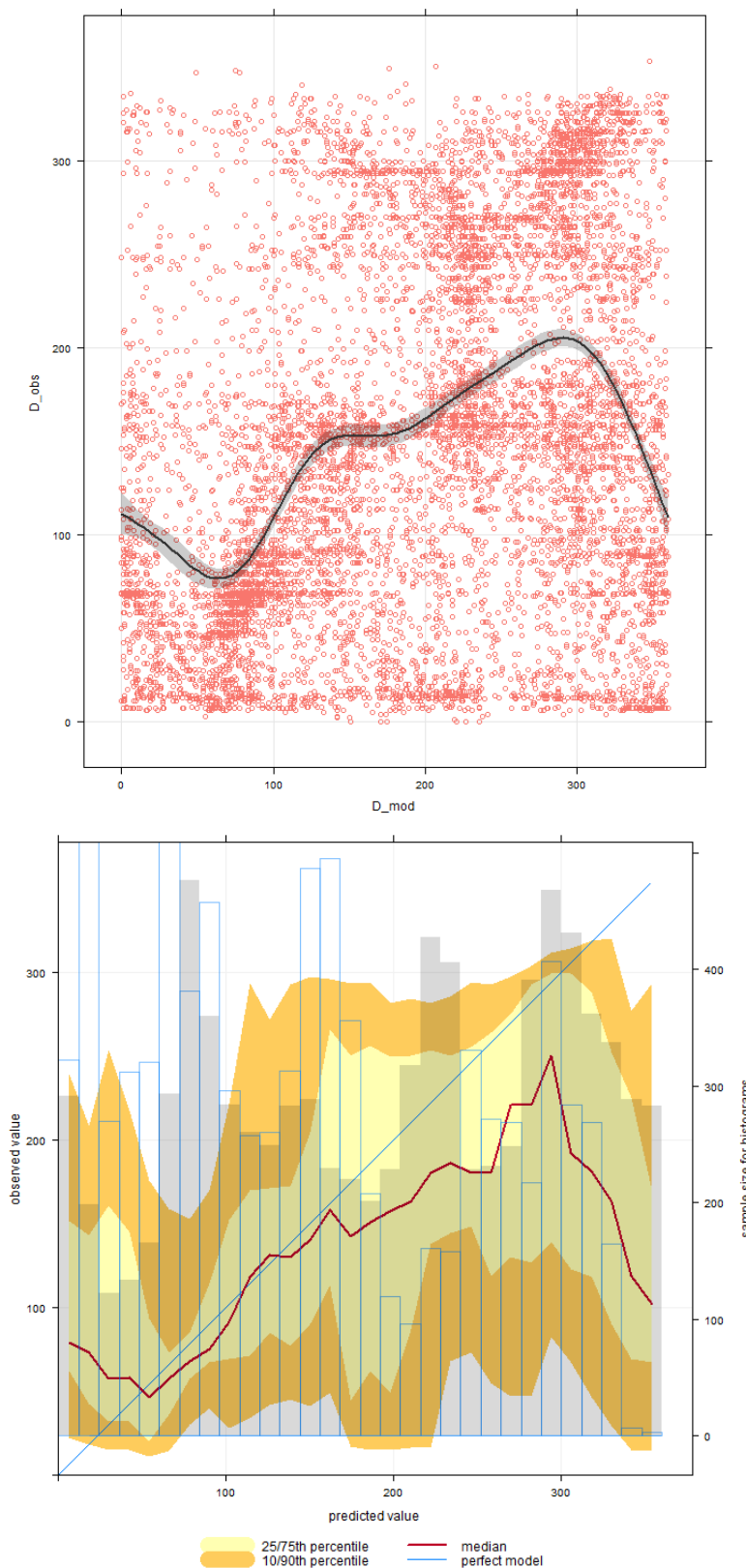


Figura 16. Dispersión y concordancia por cuantiles de valores de dirección de viento modelizada y observada en la estación de Campo de Tiro

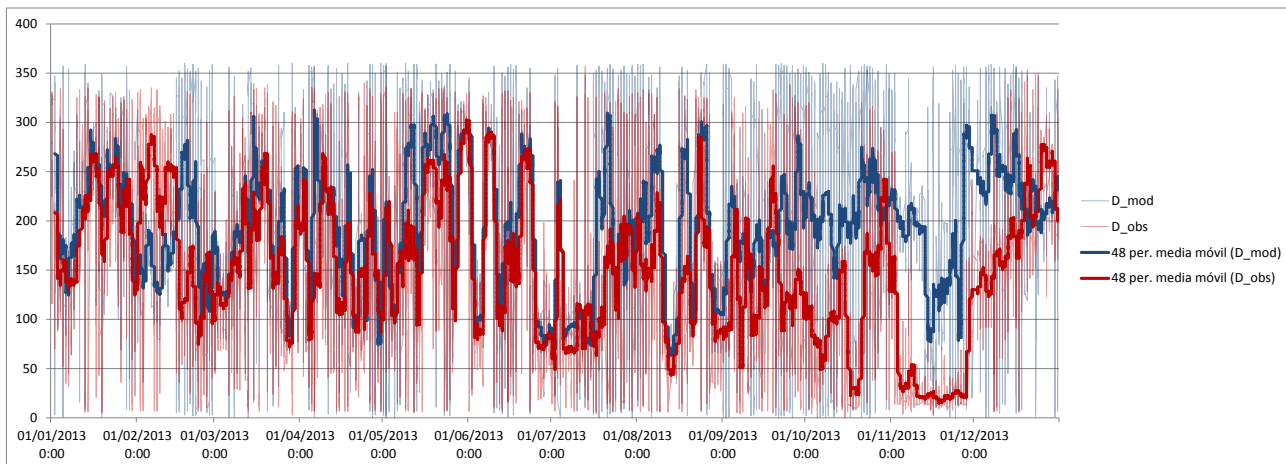


Figura 17. Serie anual y medias móviles de valores de dirección de viento modelizada y observada en la estación de Campo de Tiro

El análisis estadístico del modelo meteorológico sugiere lo siguiente:

- El nivel de concordancia de la variable temperatura es excelente en general, con tendencia a subestimar la temperatura en verano.
- La velocidad tiende a ser sobre-estimada en el modelo, con un sesgo medio de +0,32 m/s. Este sesgo sistemático positivo es típico del modelo WRF en este tipo de orografía.
- La dirección del viento tiene un índice de concordancia aceptable para todo el año, si bien, se observa que la correlación tiene carácter episódica (en concreto, en direcciones con componente casi-pura N), lo que pudiera ser debido a determinadas situaciones sinópticas más favorables o menos favorables en cuanto a la capacidad de predicción, algún problema de medida o algún tipo de obstáculo en el entorno de la estación.

Este resultado es habitual y es el esperable en modelos mesoescalares con orografías complejas y cercanas a masas de agua, ya que no se recogen con precisión las características del terreno en el entorno de cada estación que influyen mucho en las velocidades y dirección del viento (con direcciones con más o menos influencia sobre la predicción), sumado al posible error en la toma de datos de velocidad y dirección de viento, más susceptible a errores de medida tanto sistemáticos como aleatorios en relación a la medición de la temperatura. En cualquier caso, estos efectos locales quedarán recogidos con el módulo de CALMET al emplear también los datos observacionales en conjunto con los datos meteorológicos de pronóstico.

#### 4.5. FUENTES DE EMISIÓN

A continuación se detallan las fuentes de emisión tenidas en cuenta en la modelización. Se han considerado emisiones procedentes tanto de industrias como del tráfico urbano, autonómico y nacional y las emisiones debidas a la actividad portuaria.

##### 4.5.1. Emisiones Industriales

En concreto, en el ámbito de estudio, prácticamente la totalidad de las emisiones industriales de partículas se encuentran representadas Asturiana de Zinc, Alcoa, Saint Gobain Cristalería, Arcelor Mittal, Asturiana de Fertilizantes y Aleastur. Entre ellas, Asturiana de Zinc, Alcoa y Saint Gobain disponen de medición en continuo de las emisiones de distintos contaminantes en sus focos principales. El resto de focos incluidos en la modelización se han simulado con un valor constante anual de emisión de partículas, ya que no disponen de medidas en continuo, con el fin de partir del dato más cercano a la realidad posible.

Las emisiones debidas a fuentes difusas industriales en el Área de Avilés no se consideran significativas y en todo caso supondrían una afección muy local por lo que no se han considerado en el presente estudio, no así las debidas a los almacenamientos de graneles de la zona portuaria.

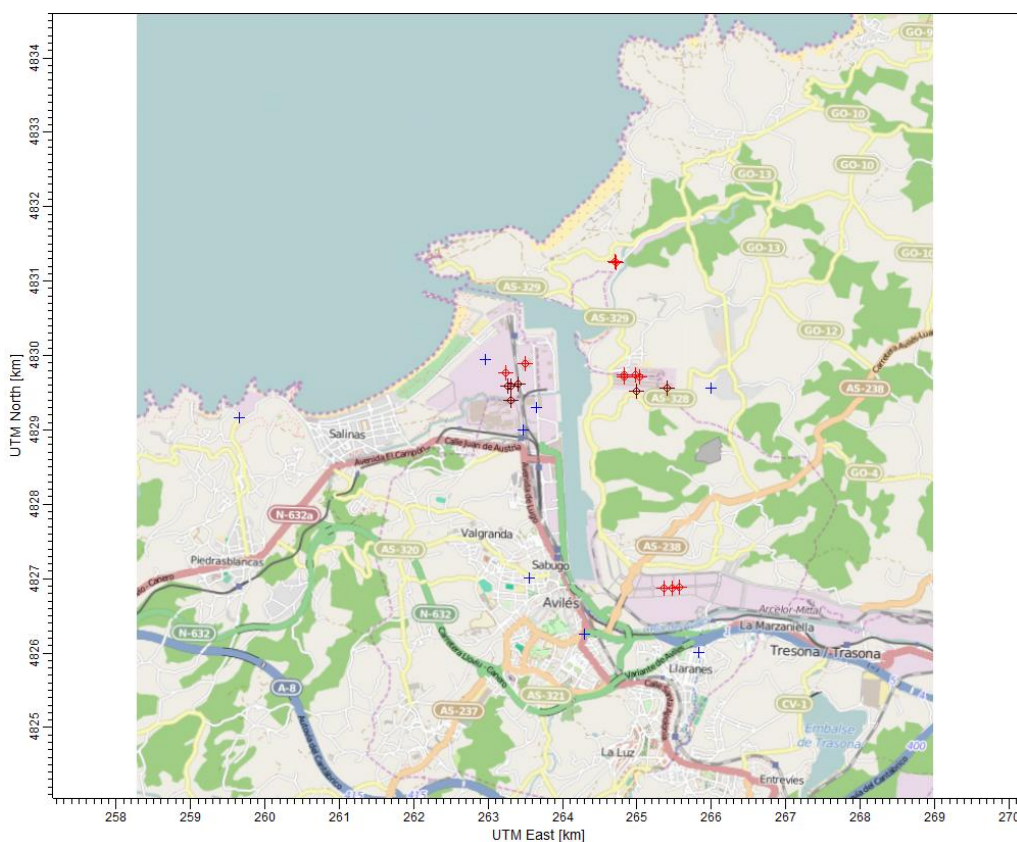


Figura 18. Focos industriales considerados en el ámbito de estudio

Toda modelización de dispersión de contaminación requiere disponer de los datos físicos de cada foco, tales como altura del foco, diámetro de coronación y coordenadas geográficas y de datos de emisión, es decir, concentración de partículas emitidas, caudal de emisión, temperatura de los gases de salida. Los datos de emisión son datos variables en el tiempo, a este respecto, se ha tomado como criterio general a la hora de recopilar los datos, considerar, siempre que estén disponibles, aquellos que posean mayor resolución temporal.

A continuación se recogen los focos puntuales principales. Todos ellos disponen de medidas horarias de concentración de partículas, no así los datos de caudal y temperatura de los gases que cuentan con menor resolución. Dado que el parámetro de entrada en la modelización es un caudal másico (g/s de PM10) cabe resaltar la importancia, para un estudio como el que se desarrolla, de disponer no sólo de la concentración horaria de partículas sino también de un caudal horario.

Además se enumeran otros focos secundarios incluidos en la modelización, para los que no se mide en continuo las emisiones pero se dispone de valores medios anuales de emisión de partículas (ver Tabla 3).

Tabla 2. Focos principales en el Área de Avilés considerados en la modelización. Parámetros físicos y de emisión constantes

Industria	Foco	Altura (m)	Diámetro (m)	Velocidad salida (m/s)	Temp (K)	X	Y
Asturiana de Zinc	Hornos de fusión I,II,III,V	19	0,65	11,5	314	263.261	4.829.589
	Horno de fusión IV,VI	19	1,025	10	335	263.305	4.829.588
	Horno de fusión VII	19	1,025	1	313	263.396	4.829.615
Saint Gobain Cristalería	Horno F-400	91	3	10,4	526	263.302	4.829.399
Alcoa INESPAL	Lavados en seco nº2	26,4	1,5	18,5	319	265.403	4.829.560
	Lavados en seco nº 3	26,4	1,5	18,6	316	262.991	4.829.516

Tabla 3. Focos secundarios en el Área de Avilés considerados en la modelización. Parámetros físicos y de emisión

Industria	Focos secundarios	X	Y	Altura	Diámetro	Velocidad salida	Temp	Tasa de emisión PM10
				[m]	[m]	[m/s]	[K]	g/s
Arcelor Mittal	Baterías 1-2	265.357	4.826.872	84,7	2,8	6,2	516,7	1,3
	Baterías 3-4	265.472	4.826.876	88	2,8	6,2	516,7	1,3
	Baterías 5-6	265.576	4.826.881	81,3	2,8	4,4	516,7	0,9
Asturiana de fertilizantes	Secadero de granulación	263.504	4.829.889	20	1,1	13,37	339	0,3
Aleastur	Horno de Inducción I	264.714	4.831.254	15	0,71	16,4	292,1	0,1
	Horno de Inducción II	264.708	4.831.256	17	0,9	16,15	293,7	0,1
AZSA	Zinc1	263.230	4.829.770	19,0	0,6	18,01	324,1	0,03
	Zinc2	263.230	4.829.770	19,0	0,6	21,36	307,6	0,05
	Zinc3	263.230	4.829.770	19,0	0,6	20,02	295,3	0,10
	Transporte	263.230	4.829.770	19,0	0,6	16,44	290,9	0,04
Alcoa INESPAL	Horno 3	264.976	4.829.741	30	0,7	9,34	490,2	0,01
	Horno 10	264.827	4.829.716	30	0,7	8,6	477	0,01
	Horno 11	264.824	4.829.739	30	0,7	9,36	492	0,01
	Planta reciclado	265.028	4.829.718	25	1,05	11,66	321,9	0,03



#### 4.5.2. Emisiones debidas al tráfico rodado urbano y autonómico y nacional

Las emisiones de contaminantes debidas al tráfico vehicular dependen de un gran número de factores entre ellos: (1) factores propios del vehículo como la tipología de vehículo, la antigüedad de éste, el peso, el combustible que usa o la velocidad a la que circula, (2) factores externos como la pendiente del tramo, el tipo de pavimento de la vía por donde circula, la carga de material resuspendible sobre el firme, la temperatura ambiente y (3) factores personales como la forma de conducir, etc. Dada la diversidad de variables se opta por una estimación que contemple principalmente los factores relacionados con la tipología del vehículo (parque móvil) y el flujo del tránsito horario\*km agregado por zonas o celdas (ver Figura 19). De esta manera se obtiene una distribución espacio temporal de las emisiones de partículas PM10 provocadas por el tráfico rodado en el área de estudio.

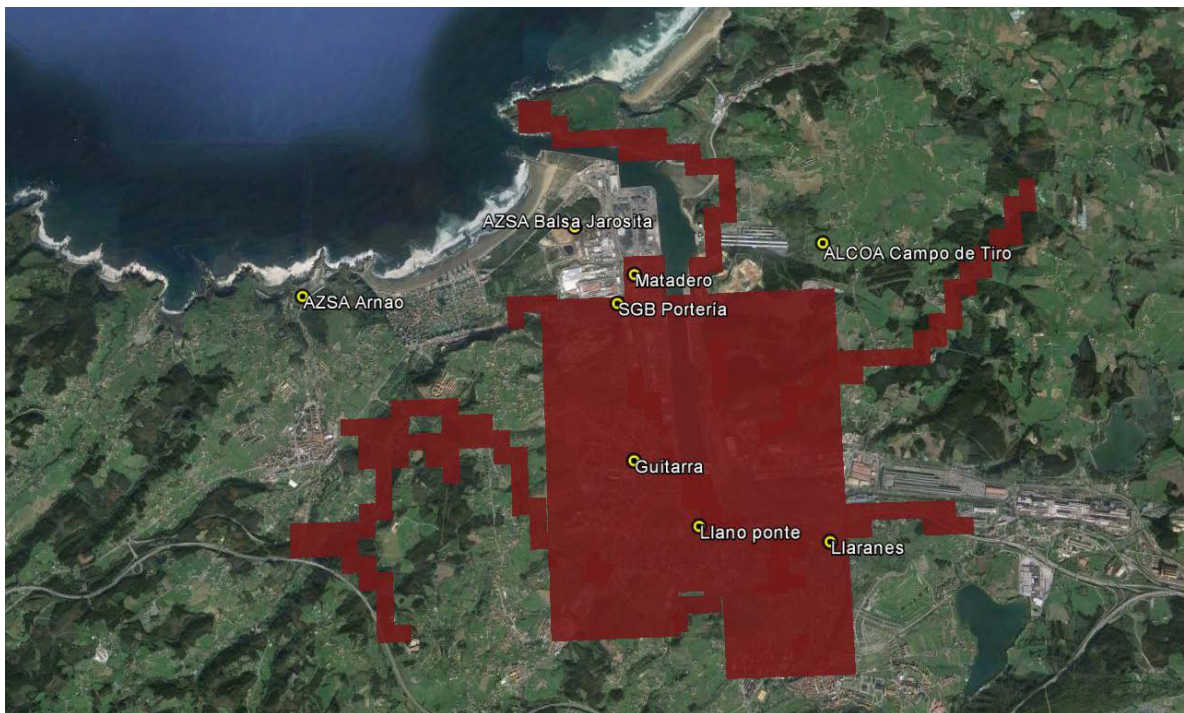


Figura 19. Fuentes de emisión del tráfico rodado del área de Avilés y de las carreteras Autonómicas y Nacionales en el ámbito de estudio junto con estaciones de calidad del aire de referencia

#### 4.5.2.1. Tráfico urbano

Los datos que se han empleado para modelizar el tráfico urbano del núcleo de población de Avilés provienen del Ayuntamiento de Avilés. Se dispone de datos medios anuales de intensidad media diaria (IMD) referidos a tres periodos diarios (mañana, tarde y noche) para cada calle y tipología de vehículo.

El cálculo de emisiones se ha realizado para cada celda de una malla de 500m que cubre la totalidad del núcleo urbano de Avilés (incluida la Travesía de la Industria), en función del número y clase de vías que discurren por cada una de ellas. Se han establecido tres clases de vías en cuanto a su intensidad, alta, media y baja.

El factor de emisión de partículas por vehículo y kilómetro recorrido se ha estimado teniendo en cuenta tanto las emisiones directas de partículas por el tubo de escape (*COPERT 4*) como por desgaste de frenos, neumáticos y pavimento (*EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook*) y las debidas a la resuspensión del material depositado en la calzada (*F. Amato et al, 2012*), a las cuales se le ha aplicado un factor de corrección para considerar las situaciones de lluvia durante el año 2013 según lo establecido por la EPA (2006).

#### 4.5.2.2. Tráfico Nacional y Autonómico

La metodología que se ha empleado para el cálculo de emisiones de partículas para el tráfico autonómico y nacional ha sido equivalente a la empleada para el tráfico urbano de Avilés, representando las carreteras por una sucesión de celdas con una superficie de 200 x 200m sobre el eje central de la vía.

Los datos referentes a las carreteras nacionales y algunas autonómicas se han obtenido de los datos recogidos en el *Mapa de Tráfico 2013 de la Red de Carreteras del Estado y Red Autonómica Principal* elaborado por el Ministerio de Fomento. Se dispone de datos de IMD por día de la semana para vehículos ligeros y pesados. La información respecto a carreteras autonómicas se ha completado con datos facilitados por el Principado de Asturias para los cuales se dispone de datos de IMD medios anuales por carretera y por tipo de vehículos ligeros y pesados.

El factor de emisión de partículas, por lo tanto, se ha establecido considerando tanto las emisiones directas de partículas por el tubo de escape (*COPERT 4*) como por desgaste de frenos, neumáticos y pavimento (*EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook*) y las debidas a la resuspensión del material depositado en la calzada (*F. Amato et al, 2012*), al que se le ha aplicado un factor de corrección para considerar las situaciones de lluvia durante el año 2013 según lo establecido por la EPA (2006).

### 4.5.3. Emisiones Portuarias

Las operaciones efectuadas en los puertos dedicadas al almacenamiento, transporte y manipulación de materiales producen emisiones difusas de partículas.

En el presente estudio se han considerado las emisiones portuarias debidas tanto a las operaciones de almacenamiento, manipulación y transporte de los graneles dentro de cada zona de acopio como el propio tráfico rodado que circula por las vías portuarias.

El Puerto de Avilés cuenta con 7 muelles principales donde se descargan diversos materiales entre los que se encuentran carbón, caolín, concentrados de Zinc, cok, fosfatos, sulfatos, escorias, entre otros, susceptibles de provocar emisiones difusas de partículas PM10 a la atmósfera.

Tabla 4. Muelles del Puerto de Avilés

Muelles Puerto de Avilés	
Raíces	Sur
Ampliación de Raíces	Valliniello
San Juan de Nieva	Alcoa-inespal
	Arcelor Mittal



Figura 20. Muelles del Puerto de Avilés. Fuente: Autoridad Portuaria de Avilés

Las operaciones que se identifican como fuente potencial de emisiones son:

- **Almacenamiento a la intemperie en parvas.**

El efecto de las condiciones atmosféricas sobre apilamientos de material particulado provoca que el polvo se ponga en suspensión dando lugar a emisiones. La cuantificación de polvo emitido se ve afectada por diversos factores (USEPA, 2006), tales como, variables características del viento (dirección o velocidad), altura del apilamiento, parámetros derivados de las partículas que conforman el material (diámetro, densidad, humedad o forma), presencia de materiales no

erosionables, formación de costras y frecuencia de perturbación de la capa superficial. En definitiva, el estudio de este fenómeno es muy complejo debido al gran número de variables que se han de considerar, tanto teóricas como derivadas de aproximaciones numéricas resultantes en la simulación.

La norma que tiene en cuenta estos factores es la EPA AP42 sección 13.2.5, la cual se ha empleado para la estimación de las emisiones difusas debidas a la erosión del viento sobre las zonas de almacenamiento de materiales de cada muelle.

La formulación de la EPA se basa en pruebas de campo realizadas sobre pilas de carbón y otros materiales expuestos a la intemperie, en las cuales se ha demostrado que por debajo de una velocidad umbral no existe erosión. Esta velocidad umbral depende del tipo de material apilado. Asimismo, también se ha visto que, durante la erosión, los ratios de emisión tienden a decaer muy rápidamente (en unos minutos), aunque hace falta que las velocidades se mantengan durante cierto tiempo. Es decir, estas superficies de material agregado se caracterizan por la distribución finita de material erosionable (masa/área) definido como potencial de erosión. Adicionalmente, existen determinados factores que influyen en el potencial de erosión, como el grado de humedad o la formación de costras naturales de material sobre la superficie de una pila, que reduce notablemente el factor de emisión.

De acuerdo a la formulación de la EPA, la determinación de las condiciones de viento locales a lo largo del año condiciona fuertemente el factor de emisión. Para poder evaluar el potencial de erosión no es suficiente con determinar las velocidades medias horarias, sino las ráfagas. La variable meteorológica que mejor caracteriza la magnitud de las ráfagas del viento, es la llamada “milla más rápida” (“fastest mile”) y sobre ella se basa la EPA.

La dificultad del contexto en España para la aplicación de la AP-42 radica que la milla más rápida de viento no se registra de forma rutinaria. La mayoría de las estaciones miden medias de 10 minutos, 15 ó 1 hora y algunos pueden registrar las ráfagas máximas (dos o tres segundos) dentro de ese período. Por lo tanto, la información sobre las millas más rápidas no está disponible y debe ser estimada. En la bibliografía de referencia (p.e. Countess Environmental, 2006) habitualmente se discute este tema, y en general se propone el uso de la ráfaga de 2 minutos. Un método que suele ser utilizado es la teoría del “factor de ráfaga” o GF (Vickery, 2005) para estimar las ráfagas a partir de medias de periodo mayor y es ésta la aproximación tomada en este estudio, en donde se aproxima la ráfaga de 2 minutos a través de las medias horarias de viento a 10 m según el resultado del modelo CALMET para cada punto en donde existe un parque de almacenamiento.

En el caso de superficies no planas, como el caso de las pilas de carbón, la geometría de la misma y el ángulo de incidencia del viento, hace que el perfil aerodinámico conduzca a diferentes velocidades de viento en diferentes zonas la pila. En las zonas más expuestas el viento incide totalmente, e incluso se producen zonas de aceleración (en donde la velocidad se incrementa, aumentando la erosión), mientras que en otras zonas quedan a resguardo, con velocidades reducidas. Para poder

contemplar el efecto que la geometría de las parvas ejerce en el potencial de erosión, la AP-42 propone diversas formas “tipo”.

- **Manipulación y operaciones de carga y descarga.**

Los embarques y descargas de material en los muelles del puerto de Avilés son operaciones que, en función del grado de humedad del material y el viento dominante, provocan emisiones de partículas.

Además de las operaciones de carga y descarga, una vez descargado el material, éste se ve sometido a una serie de manipulaciones para transportarlo hasta su destino, bien sea una industria o una zona de acopio del propio puerto, durante estos movimientos también se provocan emisiones de PM10 a la atmósfera.

De acuerdo con la AP-42 (USEPA, 2006) Sección 13.2.4 la cantidad de partículas emitidas por tonelada de material tratado por manipulaciones en parvas dependerá de la velocidad media del viento, del contenido de humedad del material y de un factor “k” que dependerá del tamaño de la partícula ( $k_{PM10} = 0,35$ ).

La velocidad del viento para el cálculo de PM10 emitidas por manipulación de graneles se ha obtenido a partir del modelo meteorológico CALMET para la ubicación concreta de los muelles del puerto de Avilés.

- **Emisiones debidas al tráfico rodado portuario.**

Las emisiones de partículas debidas al tráfico rodado portuario, tanto por emisión por tubo de escape, como desgaste de neumáticos y por resuspensión de material particulado se han estimado de acuerdo a la metodología empleada para el cálculo de emisiones del tráfico urbano, autonómico y nacional.

Se dispone de los siguientes datos facilitados por la propia autoridad portuaria para la estimación de las emisiones horarias de acuerdo a estas 3 operaciones:

- Movimientos de entrada y salida de buques al puerto, es decir, operaciones de **carga y descarga en los muelles** con una resolución diaria. Se ha considerado un horario laboral de 20h en todos los muelles los 365 días del año.
- Las emisiones debidas a la **manipulación de materiales** en cada muelle se ha estimado considerado una actividad continua diaria en horario laboral.
- La superficie ocupada por cada tipo de material para cada día del año 2013 en cada muelle. Mediante la cual se estima la emisión de PM10 debida a la **erosión** provocada por el viento considerando una velocidad del viento obtenida a partir del módulo CALMET en el puerto de Avilés.

- Entrada de vehículos ligeros y pesados a la zona portuaria desde julio de 2014 hasta la actualidad. Con los datos disponibles se ha estimado un valor medio diario para cada día de la semana, se ha considerado una jornada laboral de 20 horas en días laborables y de 12 horas en fin de semana y un recorrido para cada vehículo de 1,6 km. Considerando estas hipótesis se han estimado las emisiones de partículas en la vía principal del puerto de Avilés de acuerdo a la metodología descrita para tráfico urbano, autonómico y nacional.



Figura 21. Localización de las áreas, muelles y vías principales de emisión de partículas en el Puerto de Avilés

#### 4.6. ESTACIONES DE CALIDAD DEL AIRE – PUNTOS DE CONTROL

La inclusión de puntos de control en el modelo ubicados en las posiciones de las estaciones de calidad del aire del ámbito de estudio es imprescindible para poder validar el mismo.

Los datos que se han tomado para realizar dicha validación son aquellos registrados en las estaciones de calidad del aire disponibles en la Base de Datos de Calidad del Aire del MAGRAMA, así como las estaciones Campo de Tiro, Portería, Balsas Jarosita y Arnao pertenecientes a las redes de calidad del aire de las industrias principales del ámbito de estudio. En la Figura 22 se muestran sus ubicaciones respecto al área de estudio.

Tabla 5. Estaciones de calidad del aire contrastadas con el modelo. Puntos de control

NOMBRE	CODIGO	TIPO	AREA	ANALIZADOR
Matadero	ES1320A	Industrial	Suburbana	PM10
Llaranes	ES0879A	Industrial	Suburbana	SO2;NOx;PM10;O3, BTX
Llanoponte	ES0880A	Tráfico	Urbana	SO2;NOx;PM10;CO;O3
Plaza de la Guitarra	ES1424A	Tráfico	Urbana	SO2;NOx;PM10;CO;O3
Campo de Tiro	RVCA ALCOA	Industrial	Suburbana	SO2;NOx;PM10; HF
Portería	RVCA SGC	Industrial	Suburbana	SO2;NOx;PM10
Balsa Jarosita	RVCA AZSA	Industrial	Suburbana	SO2;NOx;PM10
Arnao	RVCA AZSA	Industrial	Suburbana	PM10; PM2.5



Figura 22. Ubicación de las estaciones de calidad del aire consideradas como puntos de control en el estudio de modelización

## 5. MODELIZACION

---

Todo modelo de dispersión de contaminantes se alimenta de variables meteorológicas, que requieren de una modelización meteorológica para su obtención.

En este estudio, como ya se ha comentado, se ha empleado un modelo meteorológico híbrido, es decir, por un lado se han obtenido las variables a partir del modelo de pronóstico WRF (Weather Research and Forecasting) y por otro lado se han interpolado variables registradas en estaciones meteorológicas (modelo de diagnóstico CALMET).

El **modelo WRF ARW** suministra las variables meteorológicas 3D, de tal manera que se tiene en cuenta el estado de la atmósfera en su conjunto, lo cual es clave para el estudio de dispersión de contaminantes con el modelo CALPUFF..

El procesado de los datos observacionales junto con la topografía y los usos del suelo se realiza mediante el modelo de diagnóstico **CALMET** que requiere de esta información para la aplicación de parametrizaciones específicas que describen los efectos de la topografía sobre los flujos de viento y el cálculo de la altura de la capa de mezcla.

**CALPUFF** es un modelo de dispersión tipo “puff” Lagrangiano Gaussiano no estacionario capaz de modelar el transporte y dispersión de contaminantes sobre un campo de vientos construido con CALMET. Los modelos tipo “puff” representan una pluma de contaminantes continuo como un número discreto de paquetes de material contaminante. El modelo evalúa la contribución de un “puff” en la concentración atmosférica de un receptor en un instante determinado, para luego permitir que el puff se mueva, evolucione en tamaño, fuerza, etc., hasta la próxima iteración. Luego, la concentración total en un receptor resultará de la sumatoria de las contribuciones de todos los “puff”.

A diferencia de un modelo de pluma, los modelos de tipo “puff” consideran las emisiones (de los puff) independientes de su fuente de emisión permitiendo que los “puff” respondan a la meteorología en la que se encuentra inmerso en cada instante.



## 6. VALIDACIÓN DE LA MODELIZACIÓN

### 6.1. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA

Con objeto de realizar la verificación del modelo a través de la evaluación del grado de concordancia con observaciones, se calculan varios parámetros estadísticos que se presentan a continuación, basados en las medias diarias de los niveles de PM10 medidos en las estaciones de calidad del aire y el resultado del modelo en el mismo punto. Para poder realizar la comparativa, y solamente con el objetivo de realizar una validación, se ha sumado a las medias diarias modelizadas el valor de fondo diario de la estación de calidad del aire de Niembro (red EMEP). Esto introduce un sesgo adicional, ya que el valor de fondo real existente en Avilés no corresponde con dicha medida.

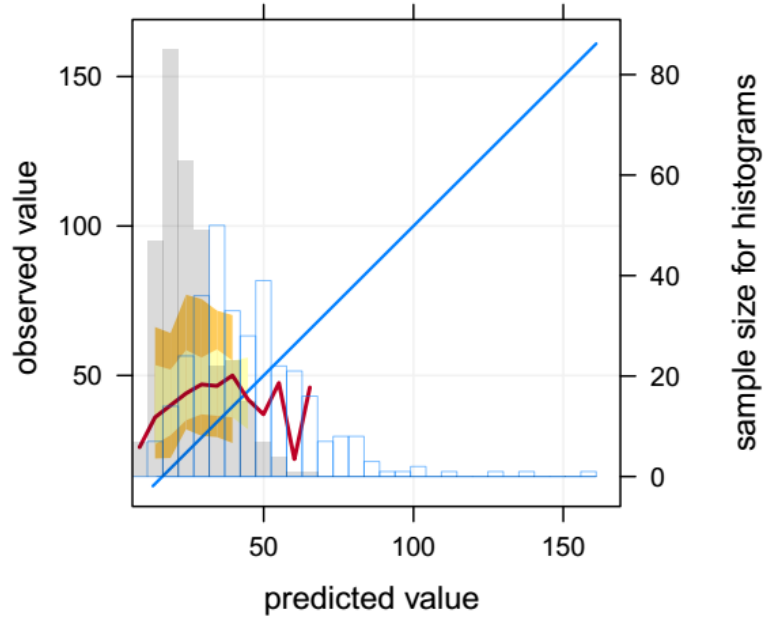
Tabla 6. Estadísticos principales de concordancia del modelo

	Matadero	Llanoponte	Llaranes	Plaza de la Guitarra	Campo de Tiro	Portería	Balsa Jarosita	Arnao
<b>Número de muestras</b>	324	339	340	336	321	324	340	340
<b>Sesgo medio normalizado</b>	-0,44	-0,17	-0,15	0,02	-0,52	0,23	-0,24	-0,5
<b>RMSE. Error cuadrático medio</b>	29,38	11,01	12,20	8,84	24,08	18,18	15,85	22,90
<b>r de Pearson</b>	0,08	0,58	0,39	0,60	0,46	0,14	0,45	0,36
<b>IOA (*)</b>	0,24	0,46	-0,02	0,59	-0,18	0,37	0,34	-0,003

(\*) IOA, "Index of Agreement" o índice de concordancia (Willmott et al., 2011), es un indicador de la bondad de un modelo predictivo. Éste puede tomar valores entre -1 y +1, los valores que se aproximan a +1 indican un desempeño mejor del modelo, mientras que -1 indica falta absoluta de concordancia. Una IOA de 0,5, por ejemplo, indica que la suma de las magnitudes de los errores es la mitad de la suma de las magnitudes de la desviación observada.

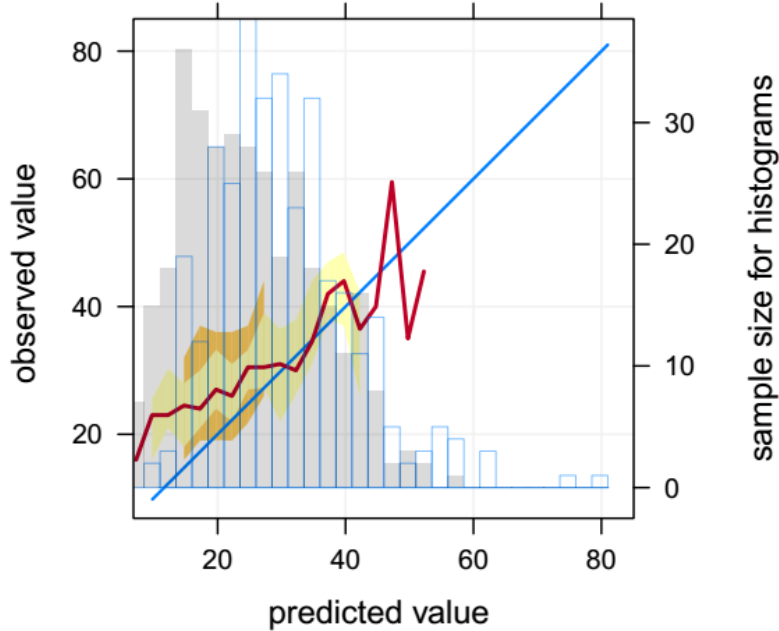
A continuación, se presentan los diagramas de concordancia por cuantiles de los valores medios diarios de PM10 previstos por el modelo y los valores medidos en cada estación. De esta manera se puede apreciar gráficamente el grado bondad del modelo a través de la concordancia de observaciones y predicciones.

**Matadero**



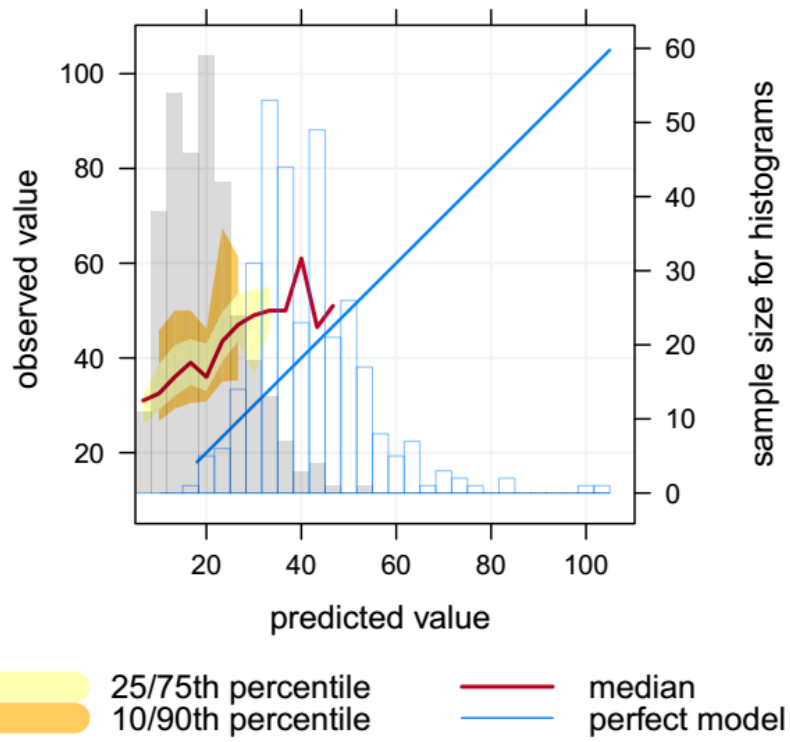
25/75th percentile  
 10/90th percentile  
 median  
 perfect model

**Llanoponte**

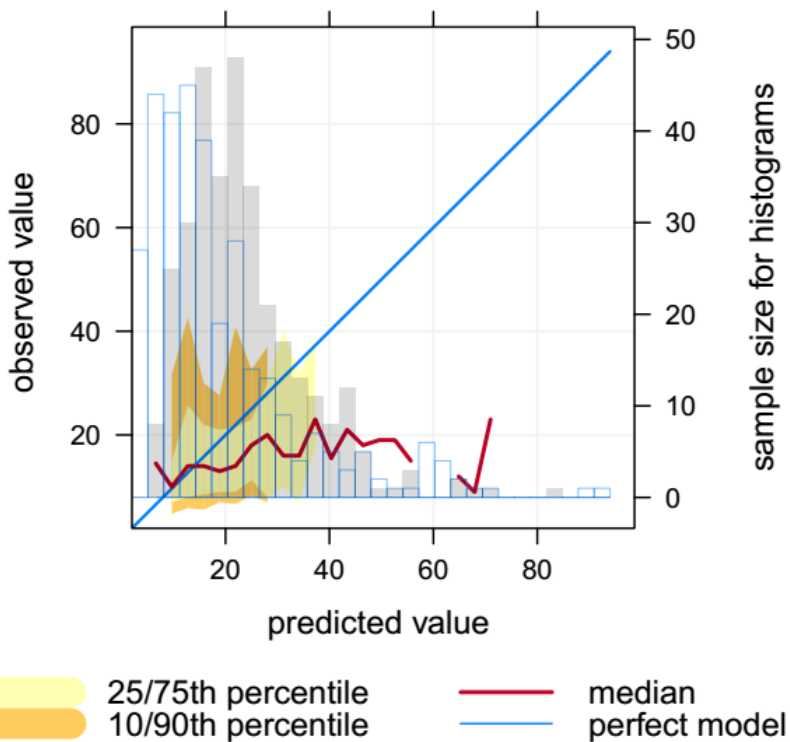


25/75th percentile  
 10/90th percentile  
 median  
 perfect model

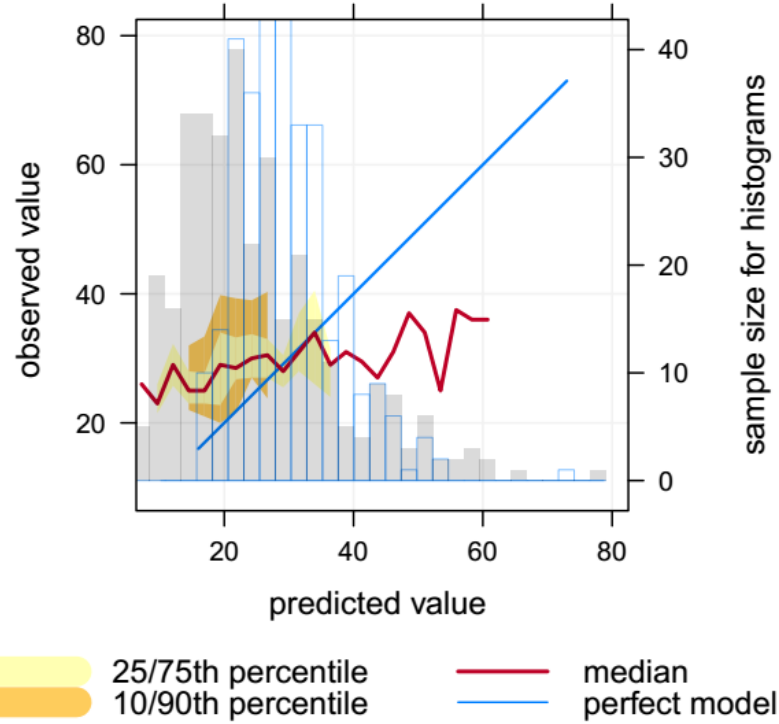
**Campo de Tiro**



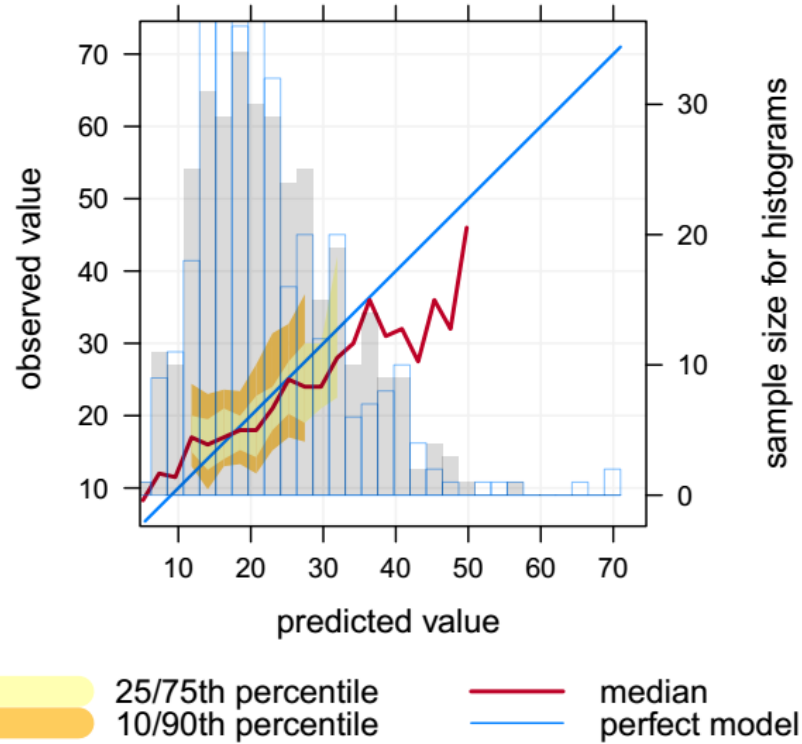
**Portería**



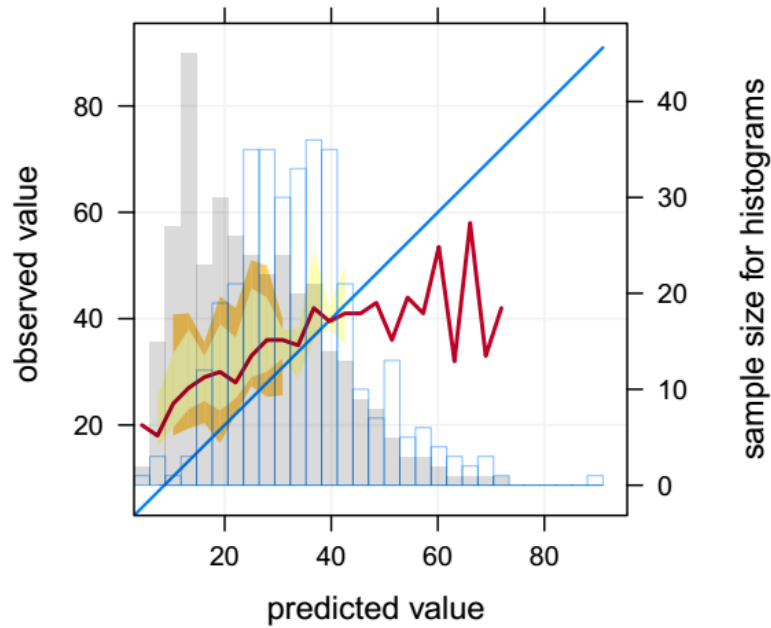
Llaranes



Plaza de la Guitarra

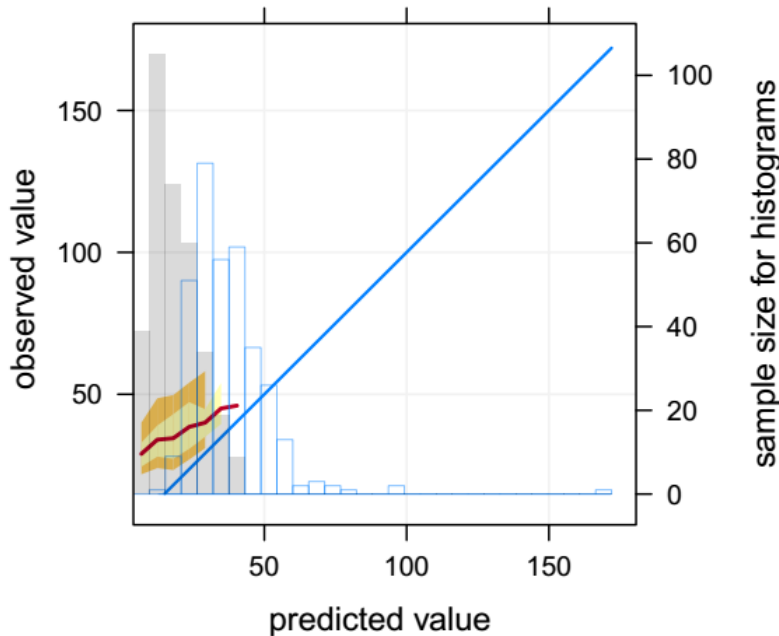


**Balsa Jarosita**



25/75th percentile       median  
 10/90th percentile       perfect model

**Arnao**



25/75th percentile       median  
 10/90th percentile       perfect model

Tabla 7. Indicadores de calidad utilizados en el modelo CALIOPE

PM <sub>10</sub>	Indicadores de calidad		
	Muy Bueno	MB  < 10	r > 0.55
Bueno (B)	10 ≤  MB  < 15	0.40 < r ≤ 0.55	RMSE < 10
Aceptable (A)	15 ≤  MB  < 20	0.25 < r ≤ 0.40	10 ≤ RMSE < 15
Malo (M)	20 ≤  MB  < 30	0.10 < r ≤ 0.25	15 ≤ RMSE < 20
Muy Malo (MM)	MB  ≥ 30	r ≤ 0.10	20 ≤ RMSE < 30

En las estaciones de Llanoponte y Plaza de la Guitarra se alcanzan índices de concordancia (IOA) del modelo aceptables, con una correlación r de Pearson ~0,6. Se puede considerar que el modelo tiene una capacidad predictiva razonable (y según el criterio de calidad de CALIOPE<sup>1</sup>, se pueden considerar como “buenos” o “muy buenos”) para poder efectuar el análisis que se pretende en este estudio en cuanto a los requerimientos de resolución espacial y temporal de dispersión de partículas, siempre y cuando se tengan en cuenta las limitaciones de la modelización.

En el caso de la estación de Matadero y las estaciones de las redes privadas, el modelo subestima apreciablemente los niveles observados (RMS muy alto) y además, el nivel de concordancia (o capacidad predictiva) es muy bajo. En el caso de Matadero, y dado que todos los posibles focos importantes de partículas en su entorno están considerados, el análisis sugiere que el modelo de meso-escala no recoge fenómenos de escala muy pequeña. Esto puede ser debido a la existencia de focos muy cerca del receptor o que flujos de aire modificados por los obstáculos (micro-escala) tengan una influencia intensa en las concentraciones en el punto de medida, ya que existen varias fuentes cerca de éste.

## 6.2. EVALUACIÓN A TRAVÉS DE GRÁFICOS

Resulta interesante introducir las variables meteorológicas con objeto de contrastar los valores de concentración PM10 modelizados vs observados en una estación concreta. La observación y comparación de gráficos polares o rosas de contaminación (modelizado y observado) es una herramienta útil para poder evaluar el desempeño de un modelo, identificar procedencia de emisiones, acotar áreas de mejora, etc. En este estudio se han construido gráficos polares, representando viento (direcciones y velocidades horarias) frente a concentración en un punto correspondiente con la estación de calidad del aire de Plaza de la Guitarra.

<sup>1</sup> Es necesario aclarar que el sistema CALIOPE utiliza un filtro tipo Kalman en el post-procesado de las predicciones, con el que se mejoran considerablemente los estadísticos. En este documento no se ha optado por filtros de realimentación porque, si bien mejoran la predictibilidad, desvirtúan la contribución por sectores y otros análisis de la explotación del modelo

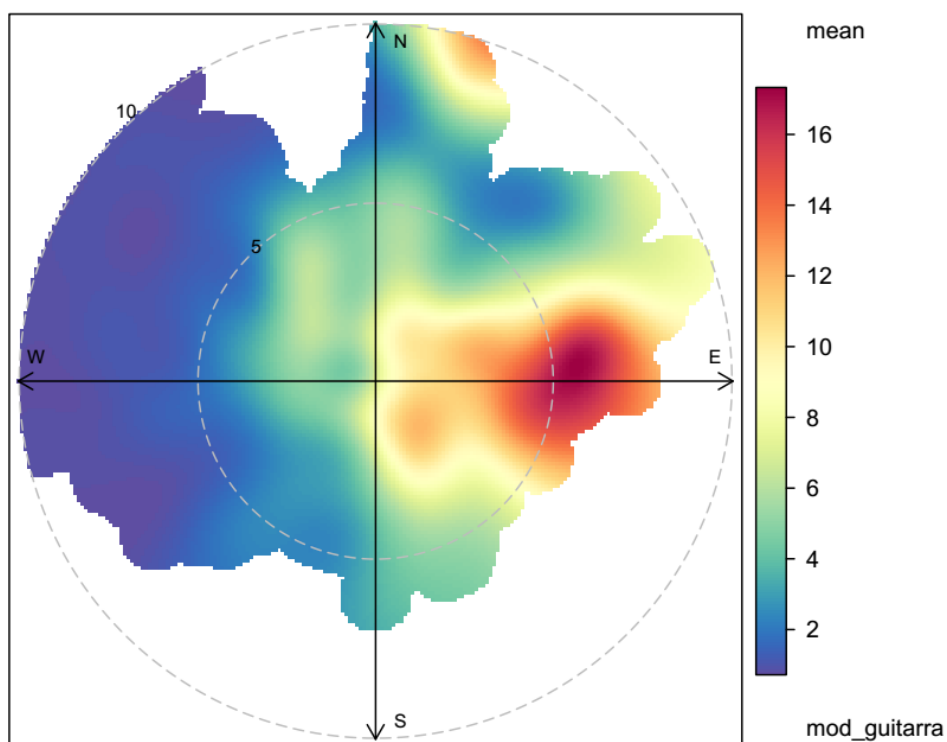


Figura 23. Rosa de contaminación de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) calculada en el punto de control de Plaza de la Guitarra en el año 2013

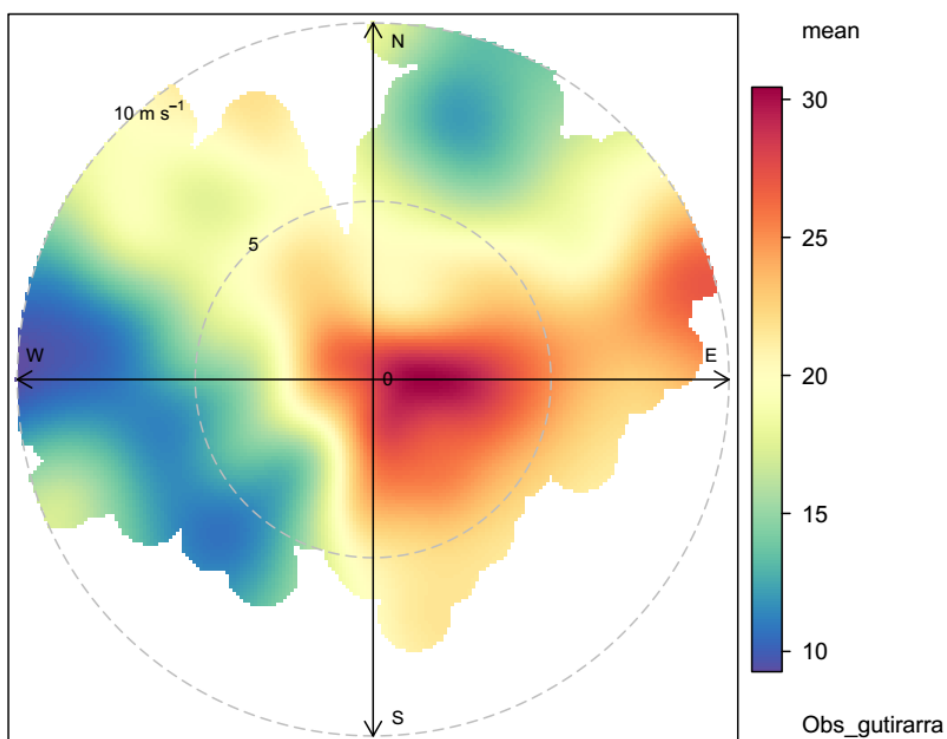


Figura 24. Rosa de contaminación de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) medida en la estación de Plaza de la Guitarra en el año 2013

Como se puede observar en las anteriores figuras, las concentraciones modelizadas tienden a estar relativamente más agrupadas. Esto es esperable, ya que en la medición existe un fondo “no local” (que es relativamente homogéneo y poco dependiente de la velocidad) que no está presente en el modelo. Además, como ya se ha comentado, algunas otras fuentes locales no están consideradas, lo que colabora al sesgo existente.

En las figuras de las páginas 42 y 43 se representan las mismas variables (viento; dirección y velocidad frente a concentración en Plaza de la Guitarra) pero, en vez de concentraciones medias, se representa la contribución relativa sobre el total, lo que resulta en una gráfica polar normalizada. En estas gráficas se puede apreciar la similitud de la “huella” de las concentraciones medidas y modelizadas en Plaza de la Guitarra, teniendo en cuenta la meteorología, y una vez que se han normalizado éstas. Dicha similitud se puede comprobar para cada estación del año (Figura 27 y Figura 28).



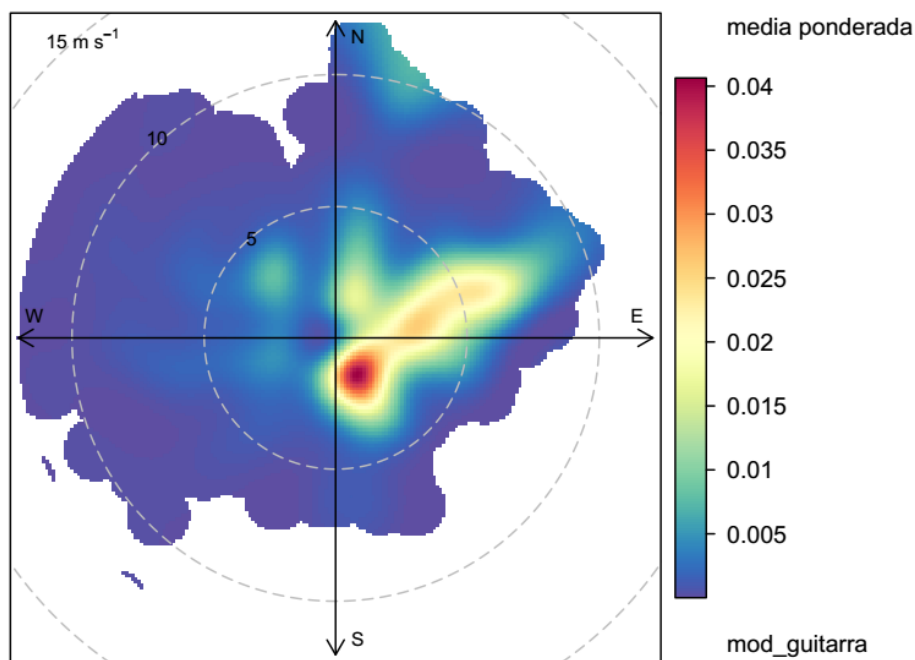


Figura 25. Rosa de contaminación de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de valores calculados y normalizados en el punto de control de Plaza de la Guitarra en el año 2013

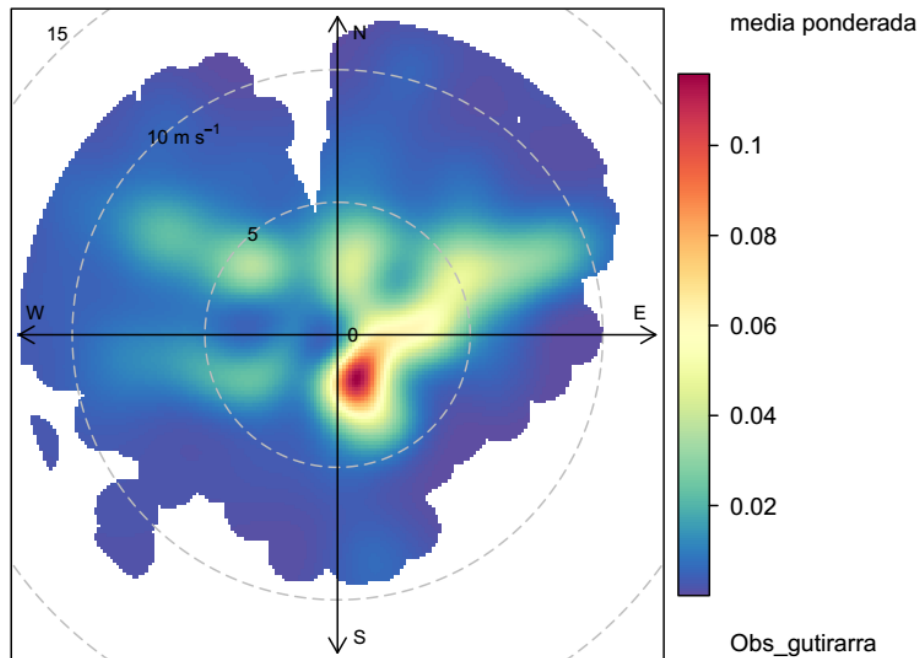


Figura 26. Rosa de contaminación de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de valores medidos y normalizados en la estación de Plaza de la Guitarra en el año 2013

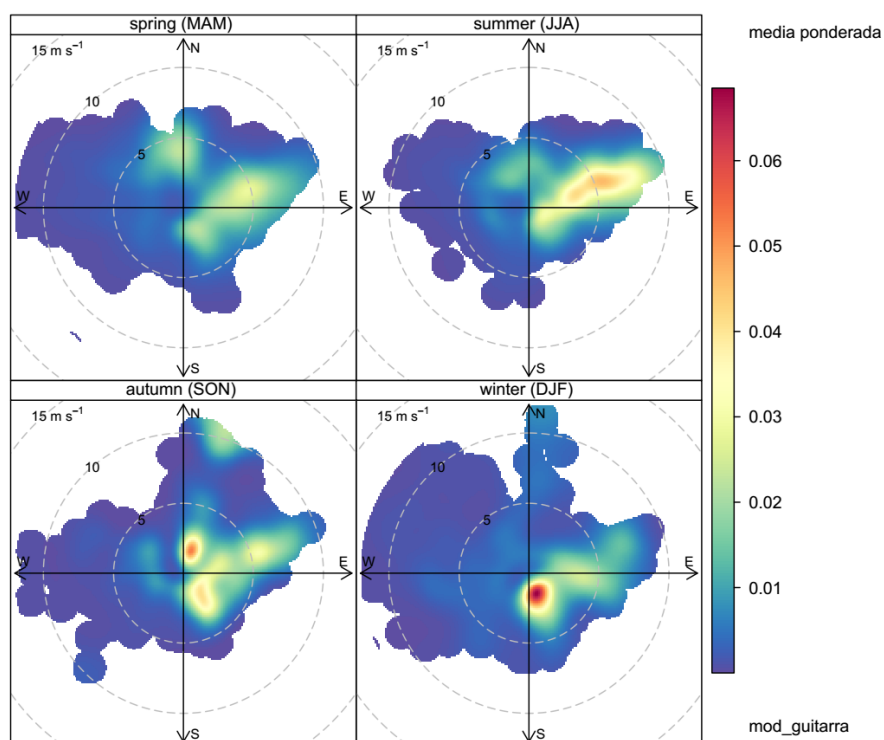


Figura 27. Rosa de contaminación de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de valores calculados y normalizados en el punto de control de Plaza de la Guitarra en el año 2013 por estaciones del año

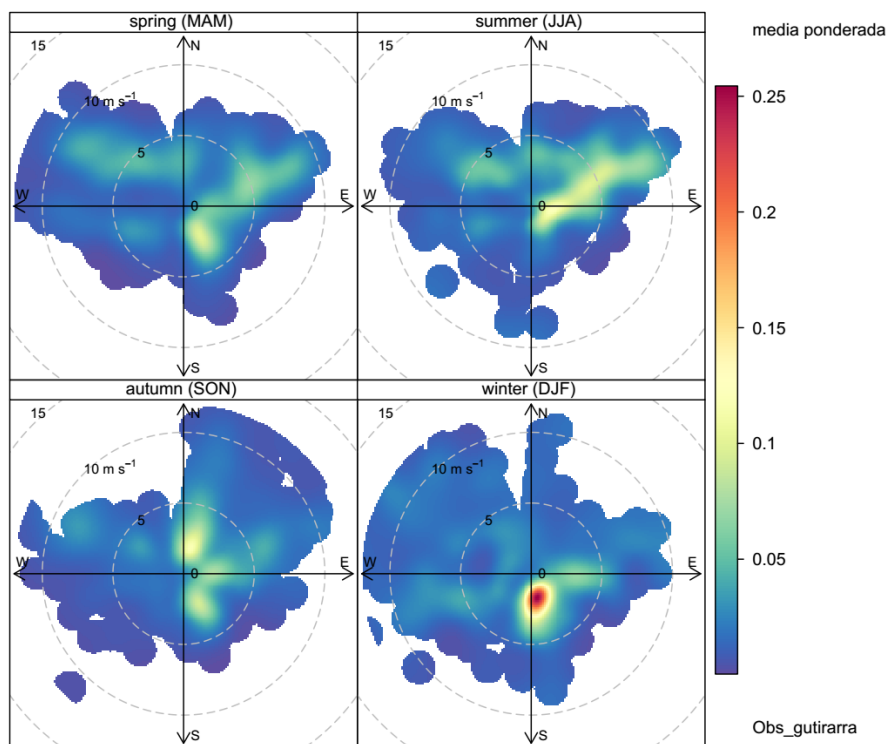


Figura 28. Rosa de contaminación de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de valores medidos y normalizados en la estación de Plaza de la Guitarra en el año 2013

### 6.3. CONCLUSIONES EN CUANTO A LA VALIDACIÓN

---

Una vez analizados los estadísticos, las rosas de contaminación y la metodología de la modelización empleada, se puede llegar a identificar las debilidades o limitaciones del modelo para poder establecer los límites para su explotación. En cuanto a las principales debilidades o limitaciones, tenemos las siguientes.

- El modelo no incluye partículas de origen natural, ni incluye algunas de origen antropogénico, como las provenientes de actividades de construcción/demolición o sector residencial, ni tampoco otras partículas en suspensión antropogénicas originadas fuera del ámbito del estudio. Esto introduce un sesgo sistemático lógico respecto a los niveles reales medidos, observado tanto en los estadísticos como en las rosas de contaminación en Plaza de la Guitarra.
- Existen debilidades en cuanto a la exactitud de la meteorología, ya que la empleada para la modelización difiere algo de la real (a pesar de estar basada en un modelo contrastado y medidas locales de superficie). Se estima que el error provocado en este es menor, a la vista de la evaluación del modelo de pronóstico meteorológico.
- Hay debilidades en cuanto a evaluación de las emisiones. Por un lado, es un hecho conocido que la determinación de los factores de emisión de fuentes difusas a nivel horario es muy aproximada. Asimismo, la caracterización de la resuspensión de partículas debido al tráfico rodado es a día de hoy materia activa de investigación, siendo conocida su gran importancia relativa en cuanto a los niveles urbanos de partículas PM10. Por otro lado, los datos de entrada para la determinación de los factores de emisión introducen una nueva fuente de error (datos de actividad y volúmenes horarios en parques de almacenamiento de materiales, datos de tráfico, etc).
- Existen debilidades en cuanto a la dispersión. El modelo utilizado es meso-escalar, por lo que no recoge determinados fenómenos de micro-escala, incluido el flujo de viento en torno a edificaciones (efecto cañón, etc) que pueden evidenciar diferencias entre observaciones y concentraciones modelizadas durante una comparativa hora-hora en estaciones concretas. Asimismo, el modelo de dispersión en sí conlleva errores inherentes en función de las fuentes de emisión, su representación (en especial las fuentes difusas), su cercanía, la resolución espacial, etc.
- Otros aspectos vinculados a circunstancias específicas de la medición de los niveles de inmisión y que no pueden ser considerados como fenómenos de micro-escala.

### **Validez del modelo y límites para la utilización de los resultados**

La evaluación del modelo que se ha efectuado, empleando las medidas en las estaciones de calidad del aire, indica que el desempeño del modelo en cuanto a su capacidad de predicción es bueno a pesar de las debilidades existentes. Esto sugiere que,

- Existe un sesgo importante en la predicción, provocado en gran medida porque el modelo no incluye partículas de origen natural y una parte de las de origen antropogénico, lo que implica que en los niveles modelizados no está contemplado el fondo regional y algunas emisiones de partículas origen local. Todo esto, sumado a las limitaciones intrínsecas del modelo, sugiere que los valores predichos en términos absolutos han de interpretarse con cautela.
- Los valores modelizados para cada uno de los diferentes sectores o focos quedan afectados de igual manera por algunos de los errores debidos a las limitaciones del modelo en cuanto a la capacidad predictiva. Dichos efectos quedan en parte reducidos en los cálculos de contribución relativa siendo, además, éstos muy robustos frente a los sesgos sistemáticos al ser prácticamente cancelados en términos relativos. Esto sugiere que las conclusiones del presente estudio han de estar fundamentadas principalmente en las contribuciones relativas de los sectores/focos considerados en el estudio.

## 7. RESULTADOS

### 7.1. CONTRIBUCIÓN POR SECTORES

---

El análisis sobre la contribución por sectores tiene como objetivo identificar la procedencia de las emisiones de PM10 tanto en el ámbito de estudio en su conjunto como en una zona concreta definida y hasta en un punto concreto. En este caso se ha realizado el análisis sobre el área urbana de Avilés ya que resulta la zona más sensible desde el punto de vista de la salud humana del ámbito analizado y en los puntos de control definidos por las ubicaciones de las estaciones de calidad del aire.

Los sectores que contribuyen a la contaminación por PM10 que se han considerado en el modelo y que se definen a partir de las fuentes emisoras consideradas (apartado 4.5) son los siguientes:

El **Industrial** se encuentra representado principalmente por Asturiana de Zinc, Saint Gobain Cristalería y Alcoa Inespal.

El **Tráfico Urbano** que representa las emisiones de vehículos en el núcleo urbano de Avilés.

El **Tráfico Autonómico y Nacional** representado por las emisiones de vehículos de las carreteras autonómicas y nacionales del área de estudio.

El sector **Portuario** que engloba las emisiones debidas a movimientos de materiales que se reciben en el puerto, las debidas a erosión del viento sobre las superficies de las parvas y las debidas al tráfico rodado portuario.

#### 7.1.1. Contribución por sectores en el ámbito de estudio

La contribución por sectores en el ámbito de estudio se analiza mediante la representación de los resultados como (1) mapa de contribución espacial, (2) mapas de curvas de isoconcentración y (3) mapas de curvas de porcentaje de contribución por sector.

Se ha calculado la contribución por sectores durante los 182 días del año de mayor concentración, los cuales representan la mitad del año (en adelante, se identifica esta herramienta como “P50”) y se ha comparado con la contribución por sectores durante los 35 días del año de mayor contaminación (en adelante “P90”), con ello se pueden extraer conclusiones respecto a qué sector es aquel que colabora más en los días de mayor contaminación.

El **mapa de contribución espacial** representa, para cada celda del ámbito de estudio, el sector que más contribuye en los valores medios diarios de PM10 resultado de la modelización correspondientes a “P50” (es decir, durante la mitad del año de más concentración) y “P90” (durante los 35 días de más concentración en el año).

En concreto, en la Figura 29, se representa para cada celda del ámbito de estudio el sector que más contribuye en los 182 días de mayor concentración (“P50”) mientras que en la Figura 30 se representa aquel que lo hace durante los 35 días en los que se alcanza la mayor concentración (“P90”).

Puede observarse como el sector predominante en el área de estudio es el industrial, representado en amarillo. El color azul representa el área donde el sector predominante es el tráfico, considerando el tráfico en conjunto, es decir, urbano, autonómico y nacional.

Comparando ambas imágenes se observa como en “P90” la superficie del área de estudio en la que predomina el sector industrial es superior respecto a “P50”, en detrimento de las zonas de mayor contribución por tráfico urbano, autonómico y nacional, lo cual refleja una relación positiva entre los valores más altos de concentración de PM10 obtenidos en la modelización y las emisiones procedentes de los focos puntuales industriales. Para tener un mayor detalle de cómo evolucionan las contribuciones en los niveles altos, se han de observar los mapas de distribución porcentual por sectores y de isoconcentración que se detallan más adelante.

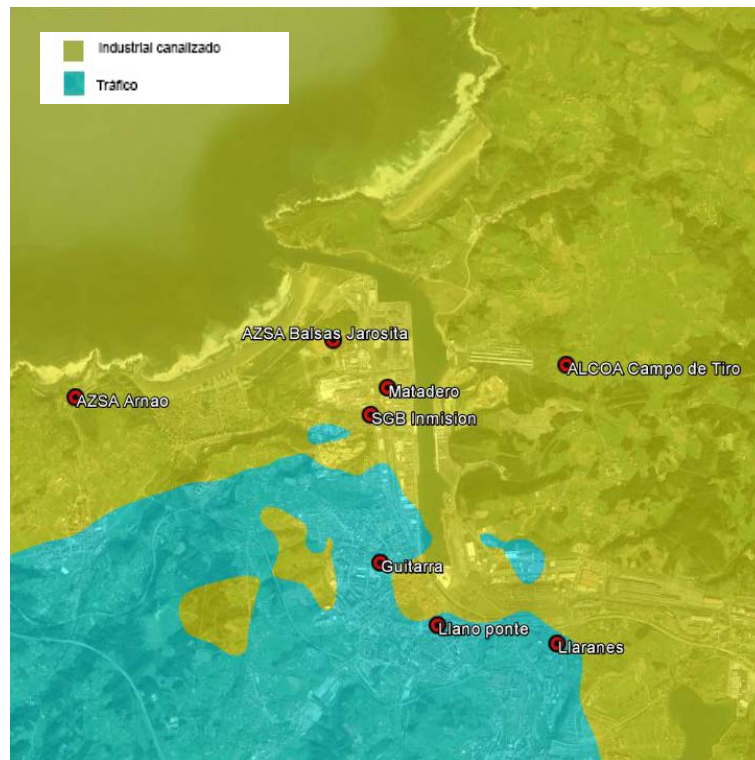


Figura 29. Distribución espacial del sector de mayor contribución en “P50” de los valores de concentración de PM10 modelizados y la ubicación de las estaciones de calidad del aire

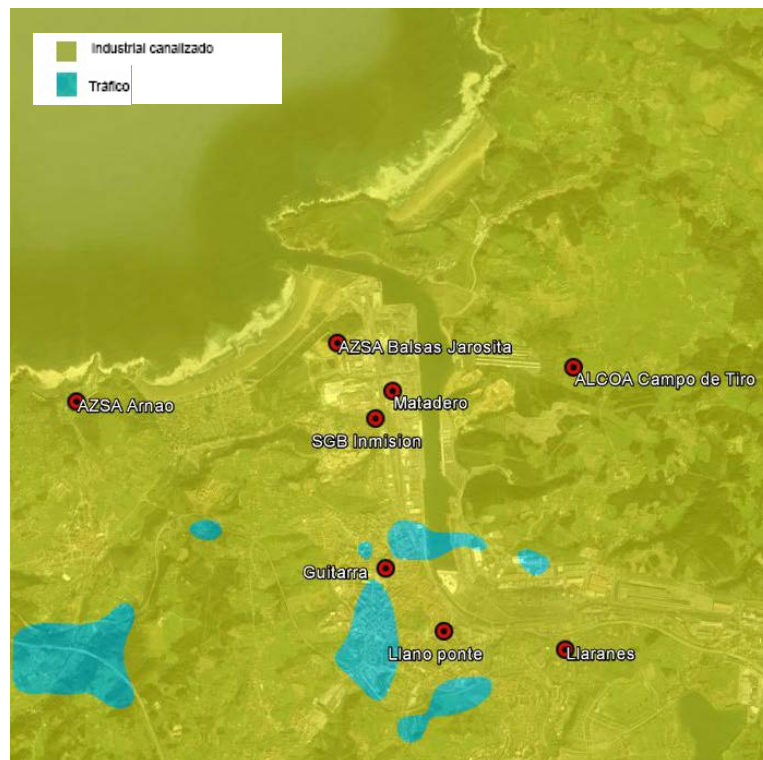


Figura 30. Distribución espacial del sector de mayor contribución en “P90” de los valores de concentración de PM10 modelizados y la ubicación de las estaciones de calidad del aire

Los mapas de isoconcentración (a partir de la Figura 31) representan los niveles de PM10 modelizados en el ámbito de estudio. Cabe resaltar, de nuevo, que los valores que se representan en los mapas no consideran el valor de contaminación de fondo regional y algunos otros de origen local. Siguiendo la metodología de comparación para identificar aquel sector que más colabora en los peores días de contaminación, se han analizado las concentraciones de PM10 referidas al percentil 50 y percentil 90.4 de los valores medios diarios resultado de la modelización.

La Figura 31 y la Figura 32 representan los niveles de isoconcentración de PM10 para el percentil 50 y percentil 90.4, respectivamente, considerando todas las fuentes de emisión incluidas en la modelización. A la vista del mapa de la Figura 31 se pueden observar las zonas donde se dan los mayores valores de concentración de PM10 del percentil 50, en concreto en el entorno a la estación de Balsa Jarosita donde se encuentran los focos de Asturiana de Zinc.



Los mapas de isoconcentración por sectores se pueden consultar en el Anexo III.

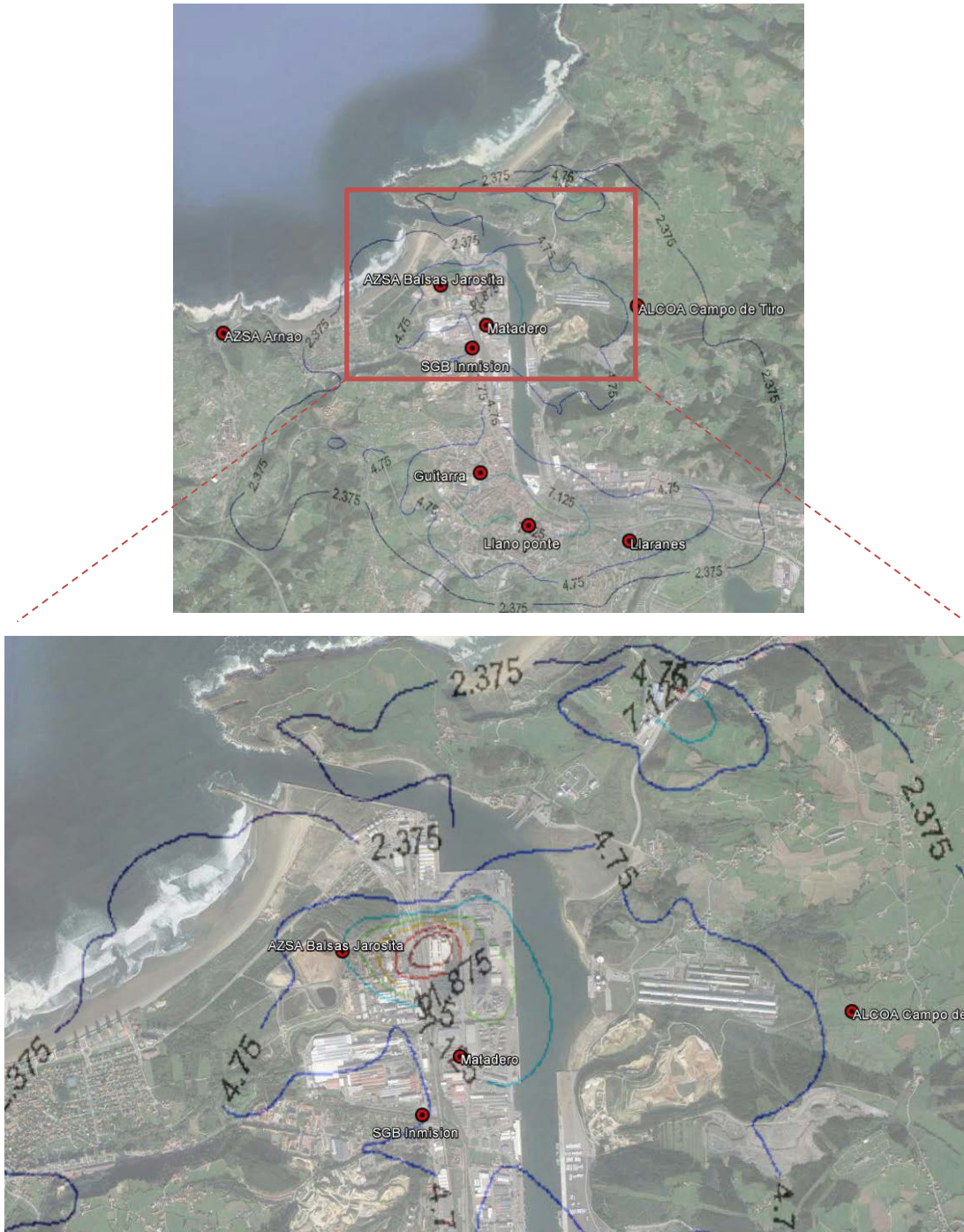


Figura 31. Niveles de isoconcentración de PM10 del Percentil 50 de los valores modelizados para todos los focos de emisión y ubicación de las estaciones de calidad del aire

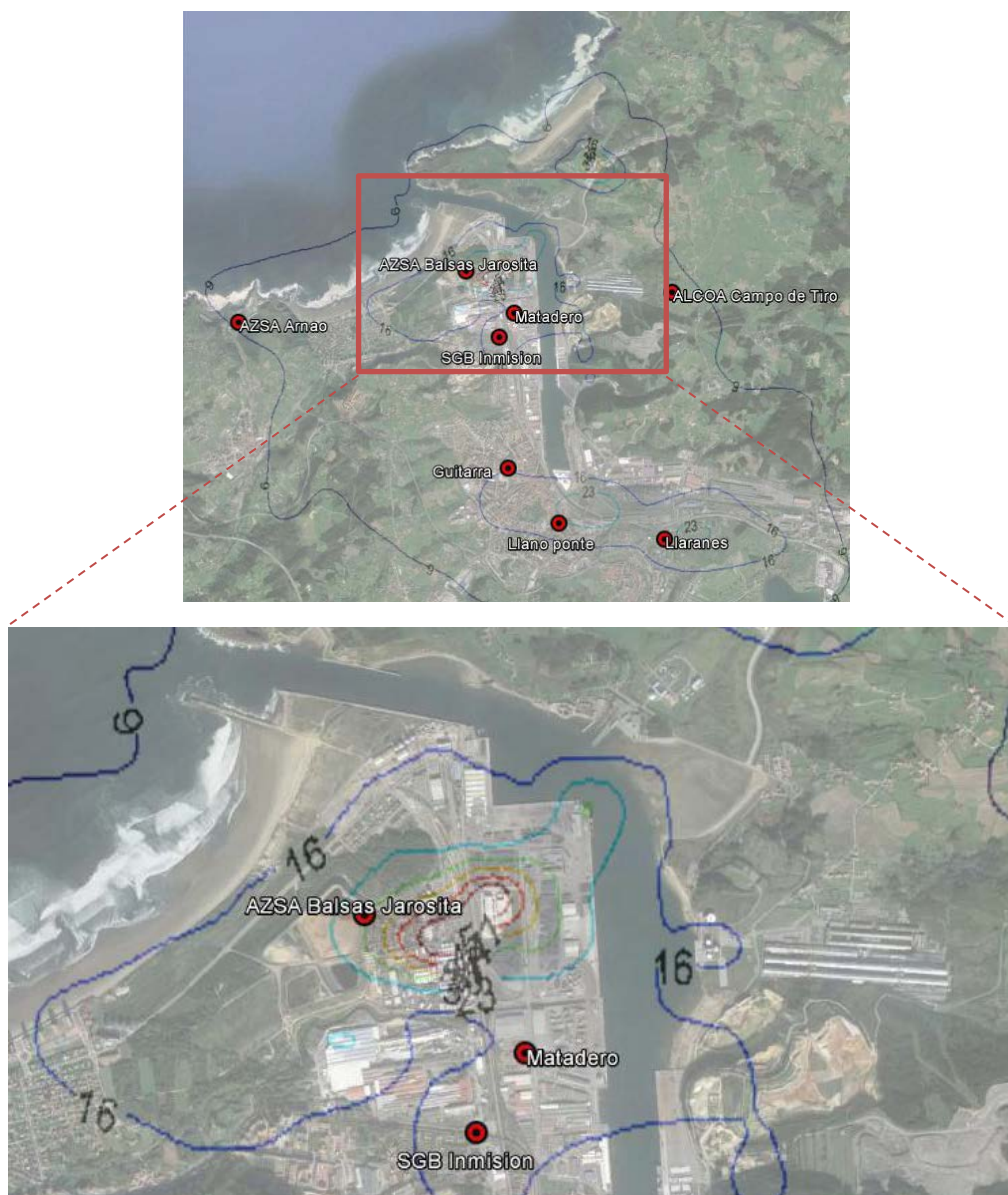


Figura 32. Niveles de isoconcentración de PM10 del Percentil 90.4 de los valores modelizados para todos los focos de emisión y ubicación de las estaciones de calidad del aire

Las siguientes figuras representan los **mapas de curvas de porcentajes de contribución por sectores** para el ámbito de estudio tanto para “P50” (es decir la contribución durante los 182 días de mayor concentración como para el “P90” (durante los 35 días de mayor superación) de los valores medios diarios resultados de la modelización para el año 2013.

Con ellas se puede ver en mayor detalle la contribución de cada sector que se comenta en el presente informe.

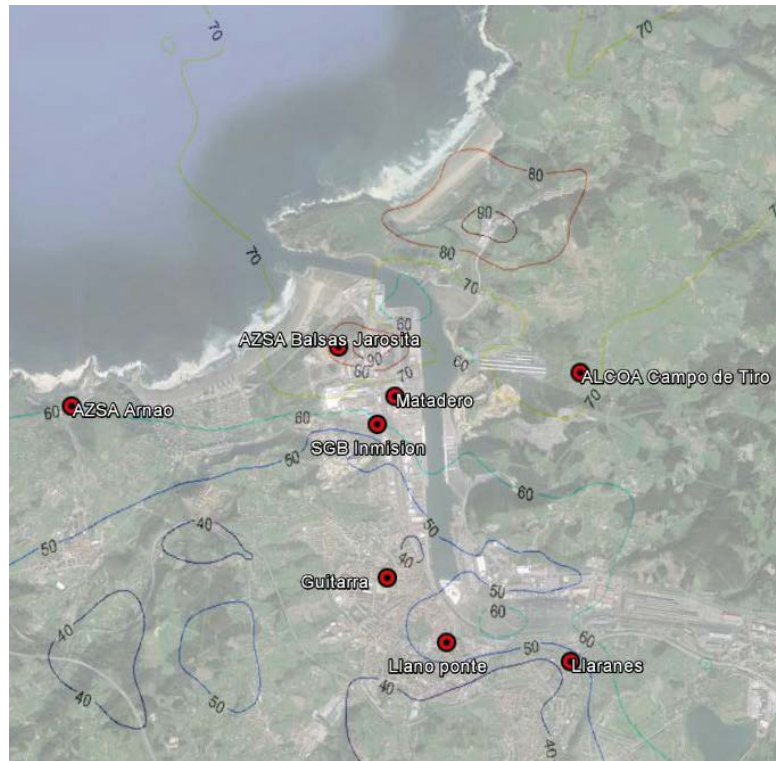


Figura 33. Curvas de porcentaje de contribución del sector industrial. P50

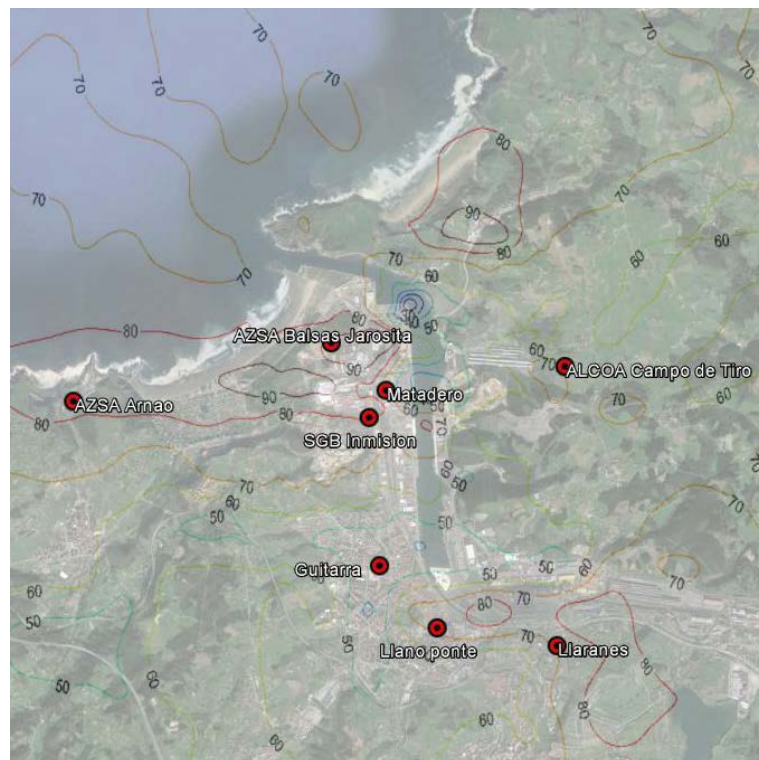


Figura 34. Curvas de porcentaje de contribución del sector industrial. P90

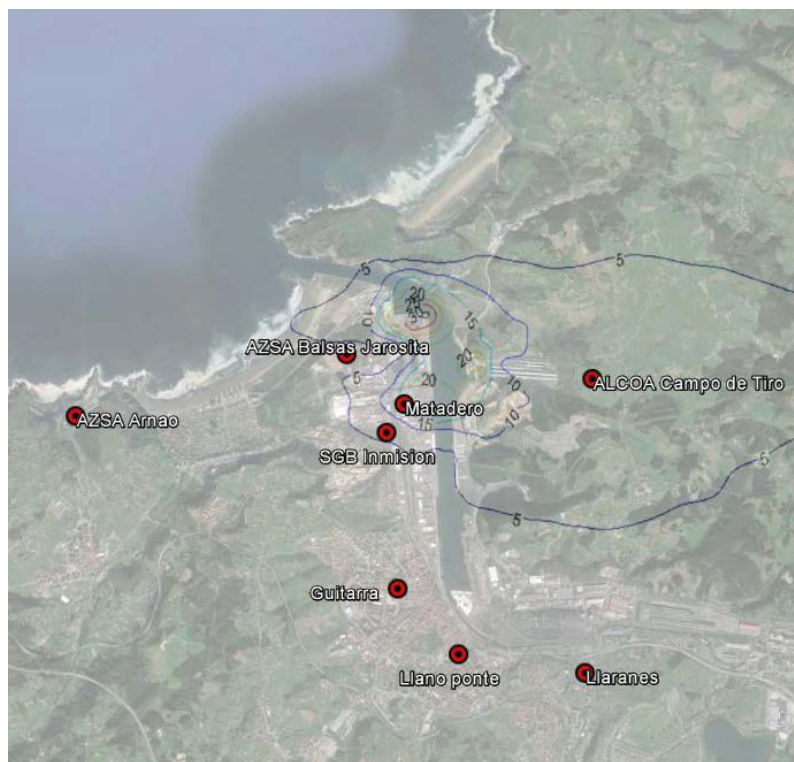


Figura 35. Curvas de porcentaje de contribución del sector portuario. P50



Figura 36. Curvas de porcentaje de contribución del sector portuario. P90

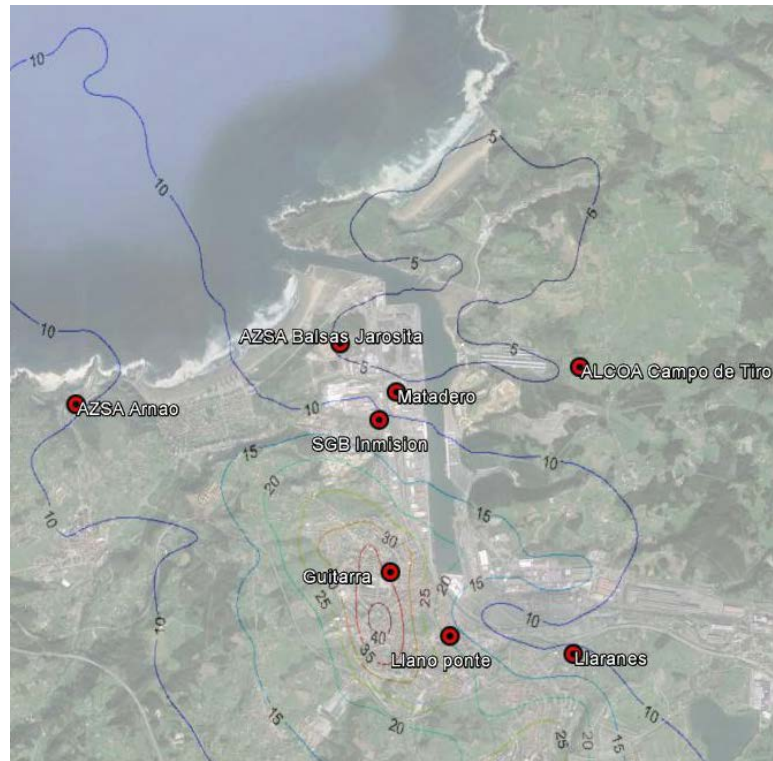


Figura 37. Curvas de porcentaje de contribución de las emisiones procedentes del tráfico urbano. P50

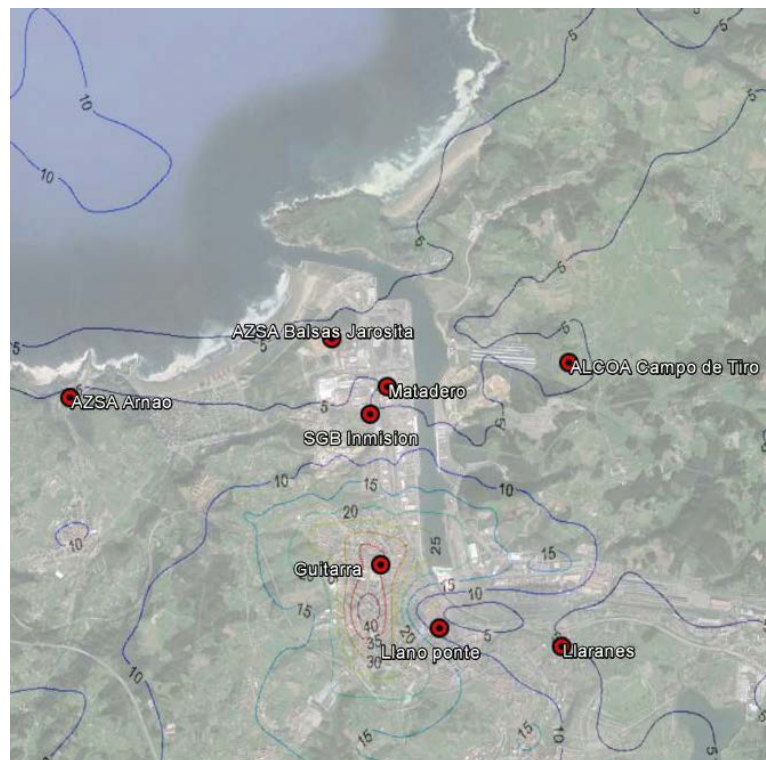


Figura 38. Curvas de porcentaje de contribución emisiones procedentes del tráfico urbano. P90.

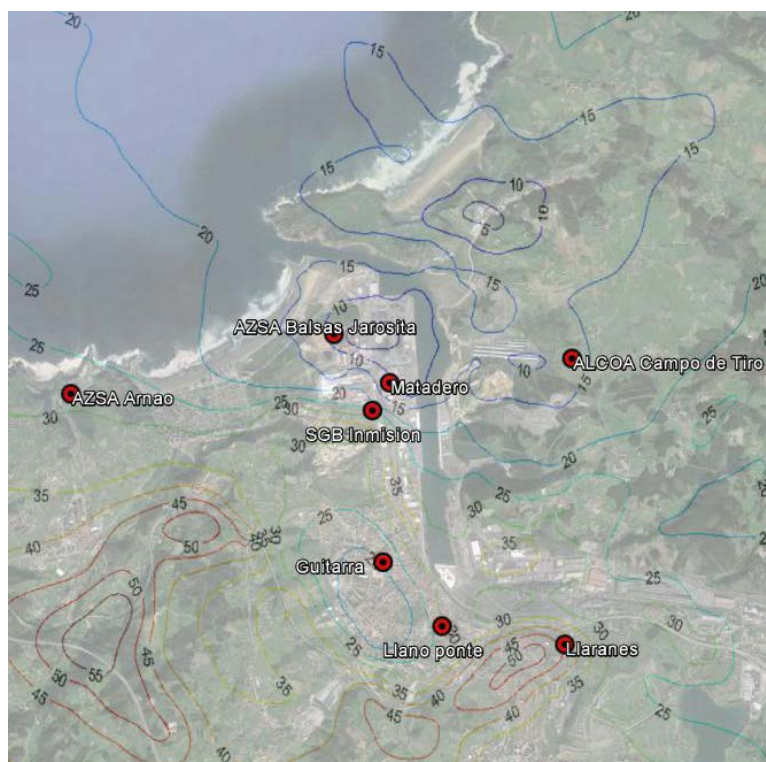


Figura 39. Curvas de porcentaje de contribución emisiones procedentes del tráfico autonómico y nacional. P50

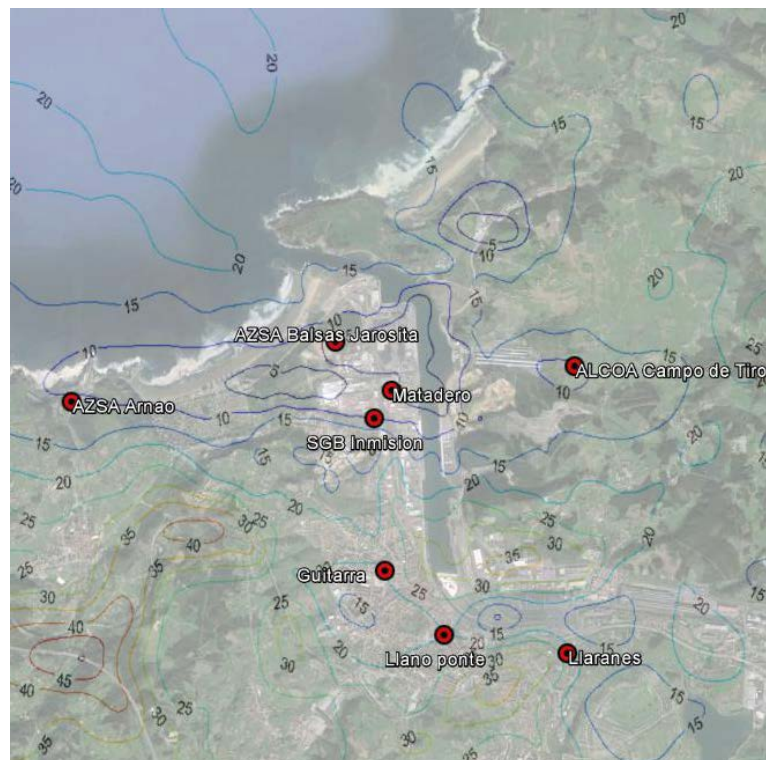


Figura 40. Curvas de porcentaje de contribución emisiones procedentes del tráfico autonómico y nacional. P90

#### **Nota. Efecto de la meteorología sobre los niveles de PM10**

Es conocido que las condiciones meteorológicas influyen de manera determinante en los niveles de PM10 que se alcanzan, si bien, las circunstancias que dificultan la dispersión son complejas y la relación con los niveles medidos no es trivial. El régimen de vientos (velocidad y dirección), la distribución de temperaturas, la irradiación solar, las brisas marinas (que forman capas de inversión) y otros fenómenos meso-escalares, influyen de diversos modos en la dispersión. A todo esto se suma la distribución y cuantía de las emisiones en el espacio y el tiempo, además de la persistencia de las situaciones y la formación de partículas secundarias.

En la literatura referente a contaminación atmosférica se utiliza el concepto de la Capa de Mezcla (CM), que es la porción de la capa fronteriza más próxima al suelo en donde la mezcla vertical se produce con facilidad. El Espesor de la Capa de Mezcla (ECM) marca la altura hasta la cual se dispersan los contaminantes. El ECM tiene una marcada variación diurna, con la insolación, pero depende también de muchos otros factores. Para el cálculo del ECM existen varias alternativas que pueden ser empleadas, desde la utilización de parametrizaciones sencillas, hasta la utilización directa de diferentes variables meteorológicas en la altura de la atmósfera (sondeos de aire superior), SODAR o radar. En este estudio, a través de una parametrización del modelo meteorológico WRF, se ha obtenido el valor horario del ECM para el año 2013.

Esta relación, aunque compleja, se puede observar en un gráfico polar viento (velocidad, dirección) vs concentración si distribuimos por cuartiles de ECM. En la siguiente figura se observa cómo existe una mayor contribución relativa en cada cuartil sobre el siguiente. Esto indica que, efectivamente, los espesores reducidos favorecen relativamente los valores de concentración en Plaza de la Guitarra.



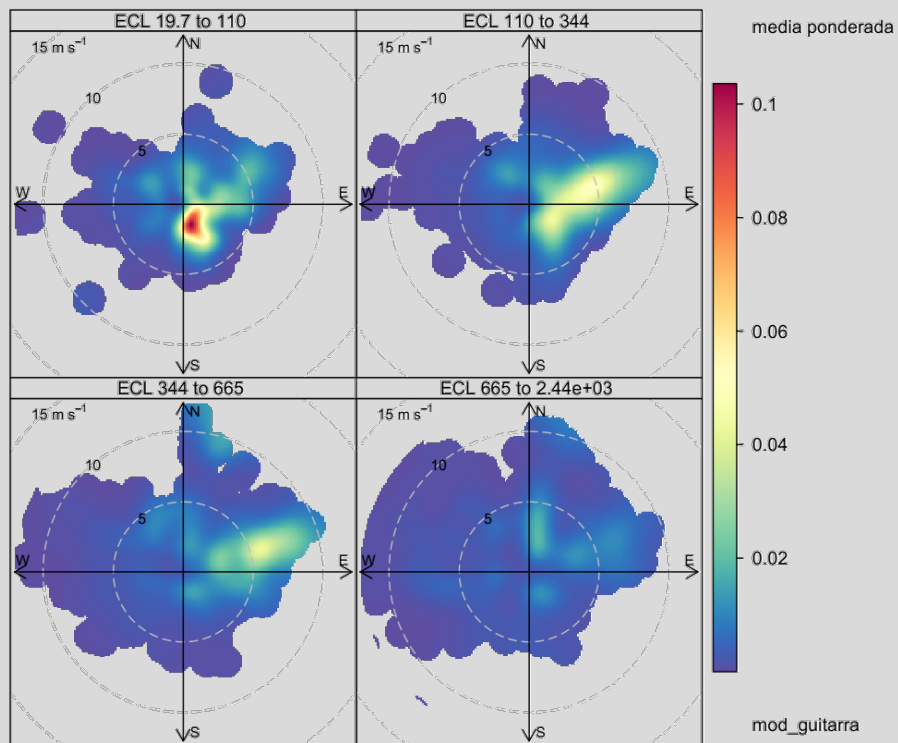


Figura 41. Rosas de contaminación de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) modelizada obtenida en el punto de control de Plaza de la Guitarra en el año 2013 distribuida en cuartiles de espesor de la capa límite

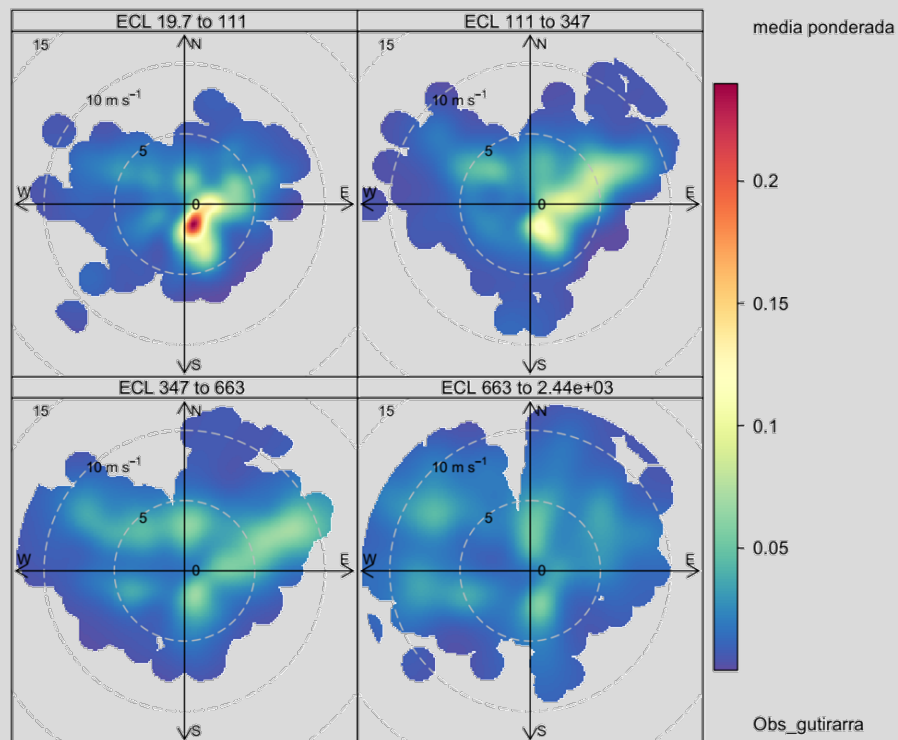


Figura 42. Rosas de contaminación de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de datos medidos en Plaza de la Guitarra en el año 2013 distribuida en cuartiles de espesor de la capa límite

Por otro lado, podemos tener el caso de alguna estación que, debido a circunstancias muy particulares (cercanía de focos y tasas de emisión vinculadas a velocidades de viento altas), la concentración de PM10 no está vinculada al ECM (relacionado con la capacidad de dispersión atmosférica), sino con, más bien, velocidades de viento. Como se puede observar en la siguiente figura, no existe relación aparente con la ECM, sino, más bien, con velocidades de viento altas, principalmente en la dirección NNE.

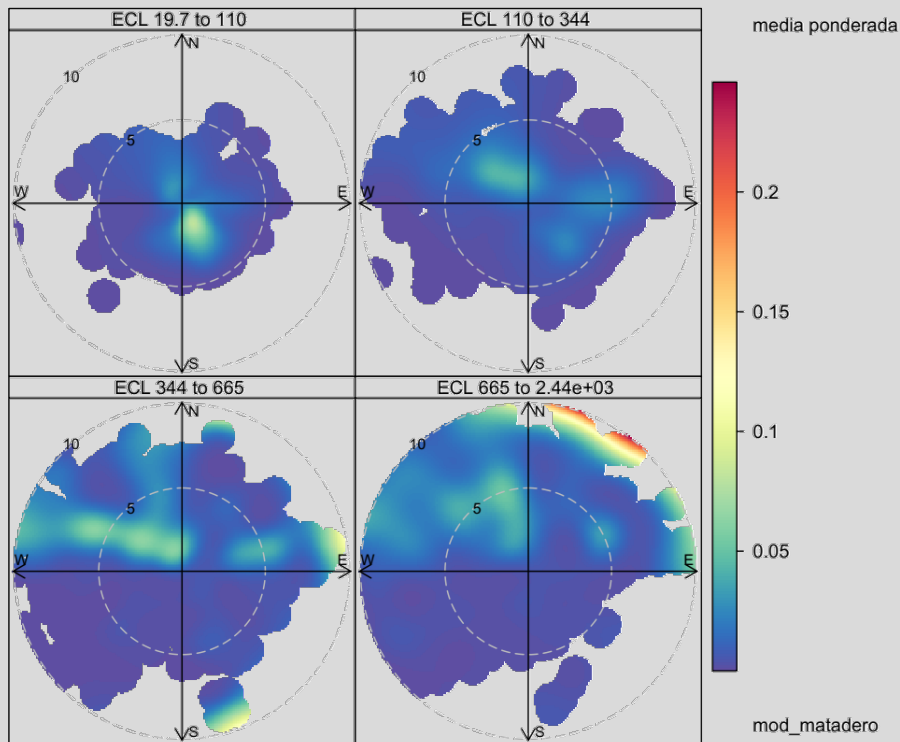


Figura 43. Rosas de contaminación de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) modelizada obtenida en el punto de control de Matadero en el año 2013 distribuida en cuartiles de espesor de la capa límite

### 7.1.2. Contribución por sectores en el núcleo urbano de Avilés

Además de analizar la contribución por sectores o, lo que es lo mismo, la procedencia de las emisiones sobre el ámbito de estudio, un ejercicio interesante es analizar la contribución sobre el área reducida del núcleo urbano de Avilés antes de entrar en detalle en los puntos de control.

Se dispone de un total de 151 receptores sobre el área urbana de Avilés, considerando los promedios anuales resultado de la modelización para cada uno de ellos y por cada sector, se ha obtenido un dato sobre la contribución porcentual de cada sector en dicha área (Tabla 8).

Tabla 8. Porcentaje de contribución por sectores en el área de Avilés

Sector / Estadístico	Industrial	Tráfico Urbano, Autonómico y Nacional	Portuario
Media anual 24H	49	47%	4%

A la vista de los resultados, si consideramos el tráfico urbano, autonómico y nacional en conjunto, la contribución del sector industrial frente al tráfico en el área urbana de Avilés es prácticamente equivalente. El sector portuario contribuye un 4% en el valor medio anual de PM10 resultado de la modelización.

La Figura 44 reúne los mapas de porcentajes de contribución por sectores centrados en el núcleo urbano de Avilés para el “P50” (la mitad del año con valores medios diarios más altos resultados de la modelización). En ellos se puede observar en qué franja de contribución se ubica cada punto de control para cada sector considerado.

Por ejemplo, de la ubicación de Plaza de la Guitarra respecto al escenario P50 podemos concluir que entorno al 45% de las emisiones de PM10 provienen del sector industrial y el resto se deben al tráfico en conjunto, más del 30% se corresponde con emisiones procedentes del tráfico urbano mientras que la contribución debido al tráfico autonómico y nacional es entorno al 20%. No obstante, este estudio en detalle para cada punto de control se realiza en el siguiente apartado de manera más precisa.

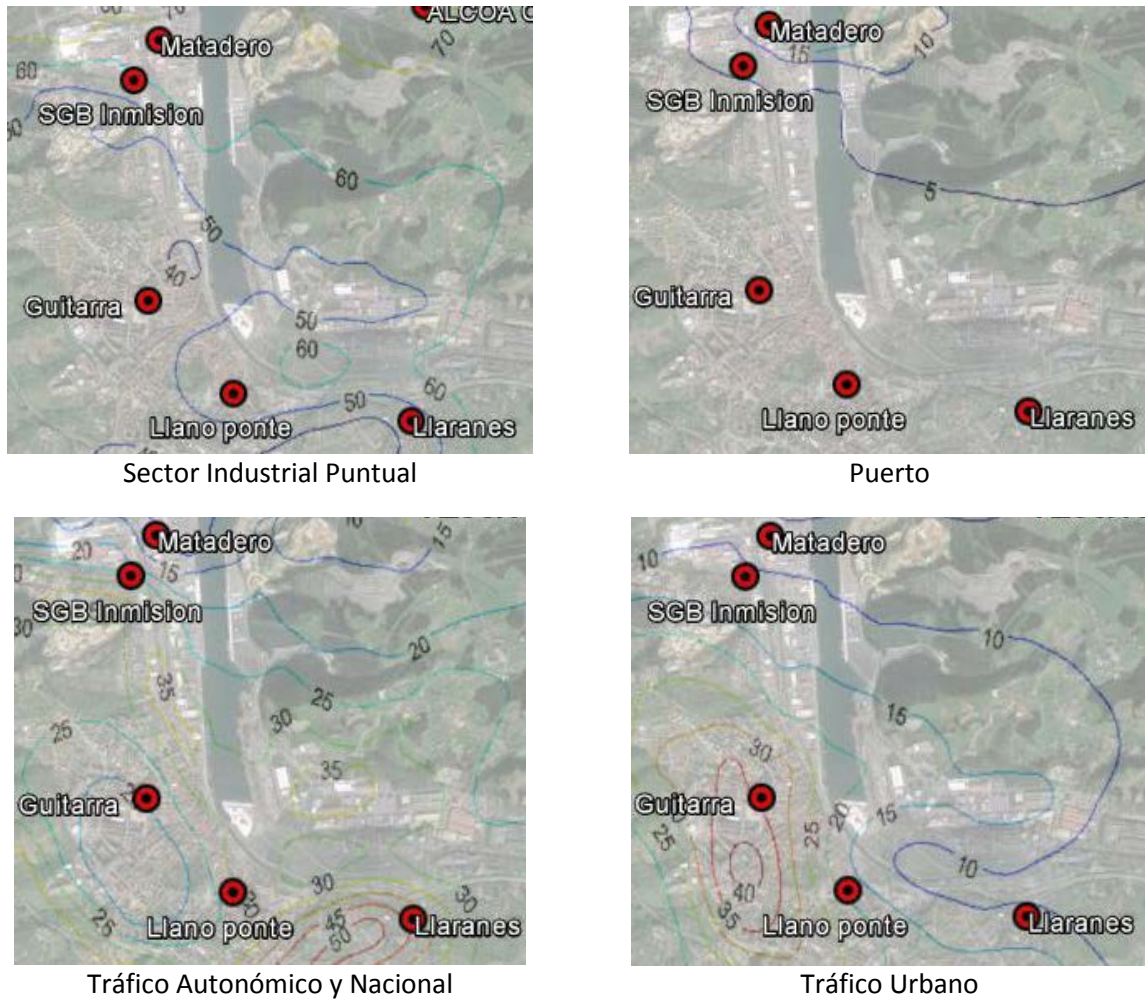


Figura 44. Curvas de iso- contribución por sectores (%) en el núcleo urbano de Avilés. P50

### 7.1.3. Contribución por sectores en los puntos de control

En este apartado se analiza, con los resultados obtenidos de las modelizaciones por sector en el año 2013, la contribución relativa en los niveles de concentración de partículas PM10 calculados para cada sector en los puntos de control, es decir, en las ubicaciones donde se encuentran las estaciones de calidad del aire de la red del Principado de Asturias en Avilés así como Campo de Tiro, Portería, Balsa Jarosita y Arnao, todas ellas estaciones privadas industriales.

Cabe comentar que en la modelización no se incluyeron las emisiones de la factoría de Arnao por su lejanía a la zona principal de estudio (el entorno de la ría de Avilés) por lo que los resultados en este punto de control no responden a la realidad, ya que se considera que éstas poseen cierta influencia en las mediciones reales de la estación.

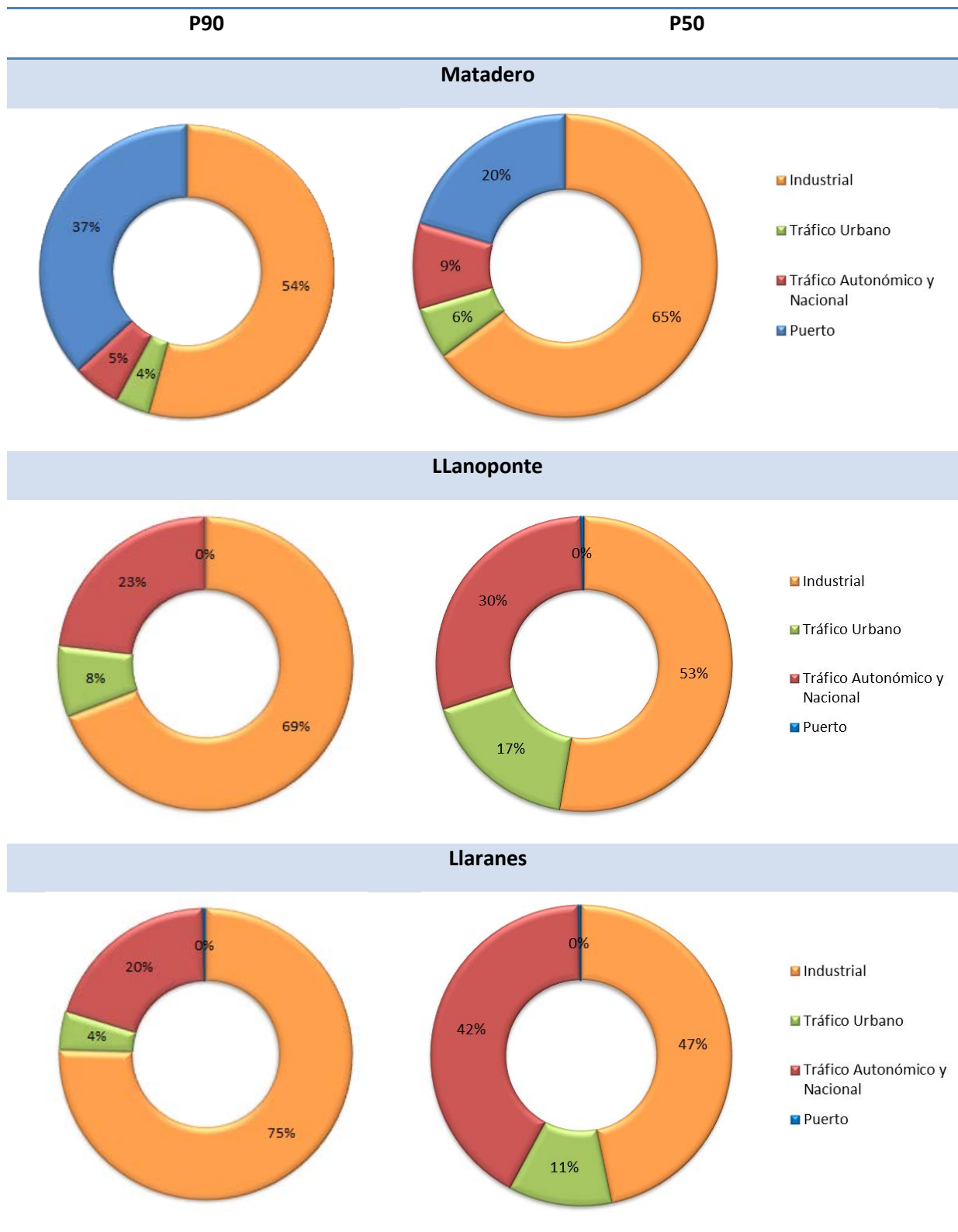
En la Tabla 9 se muestra la distribución porcentual por sectores considerando los escenarios “P90” y “P50” de los valores medios diarios de PM10 obtenida en cada punto de control. En la Figura 45 se representa gráficamente.

Los porcentajes de contribución respecto al “P90” se refieren a la distribución por sectores que se obtiene durante los 35 días del año en el que se alcanzan los máximos valores para la modelización conjunta de todos los emisores, con lo cual se usa de indicador para destacar cuál es aquel sector que podría contribuir más en los episodios de superación de los valores límites de PM10.

Tabla 9. Resultados de modelo para 2013. Distribución de la contribución por sectores (% PM10 por percentiles) y concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$  PM10) en cada punto de control considerado

Sector	Industrial	Tráfico Urbano	Tráfico Autonómico y Nacional	Puerto	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10
<b>Estación</b>	<b>Matadero</b>				
<b>P90</b>	54%	4%	5%	37%	<b>19</b>
<b>P50</b>	65%	6%	9%	20%	<b>9</b>
<b>Estación</b>	<b>Llanoponte</b>				
<b>P90</b>	69%	8%	23%	0%	<b>21</b>
<b>P50</b>	53%	17%	30%	0%	<b>8</b>
<b>Estación</b>	<b>Llaranes</b>				
<b>P90</b>	75%	4%	20%	0%	<b>23</b>
<b>P50</b>	47%	11%	42%	0%	<b>6</b>
<b>Estación</b>	<b>Plaza Guitarra</b>				
<b>P90</b>	47%	30%	21%	2%	<b>15</b>
<b>P50</b>	46%	32%	21%	1%	<b>7</b>
<b>Estación</b>	<b>Campo de Tiro</b>				
<b>P90</b>	66%	4%	12%	18%	<b>9</b>
<b>P50</b>	70%	7%	15%	8%	<b>4</b>
<b>Estación</b>	<b>Portería</b>				
<b>P90</b>	84%	4%	7%	5%	<b>19</b>
<b>P50</b>	64%	10%	18%	8%	<b>5</b>
<b>Estación</b>	<b>Balsa Jarosita</b>				
<b>P90</b>	86%	4%	7%	3%	<b>25</b>
<b>P50</b>	84%	4%	7%	5%	<b>8</b>
<b>Estación</b>	<b>Arnao</b>				
<b>P90</b>	83%	5%	10%	2%	<b>9</b>
<b>P50</b>	60%	10%	28%	2%	<b>2</b>

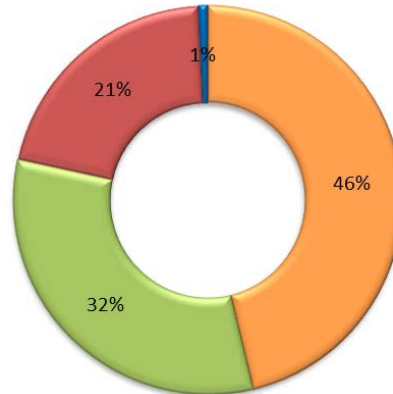
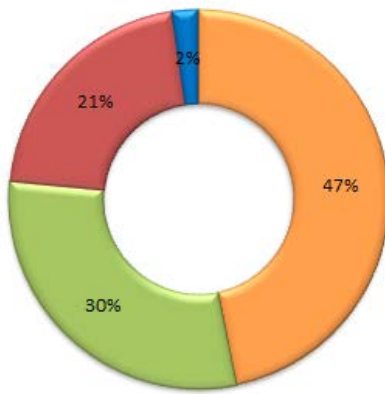
Figura 45. Resultados de modelo para 2013. Representación gráfica de la distribución por Sectores para "P90" y "P50" en los puntos de control



P90

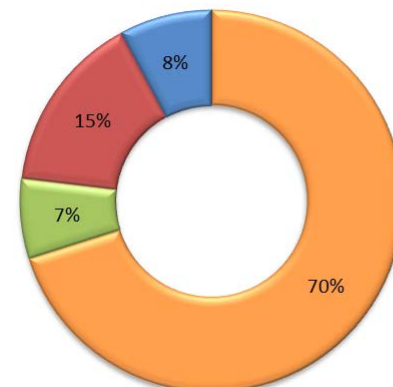
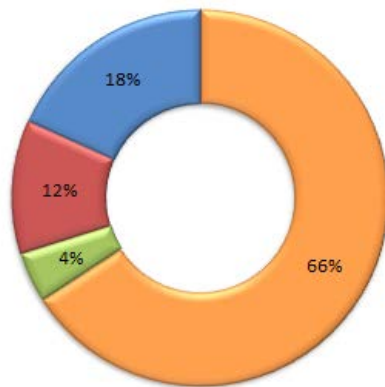
P50

Plaza Guitarra



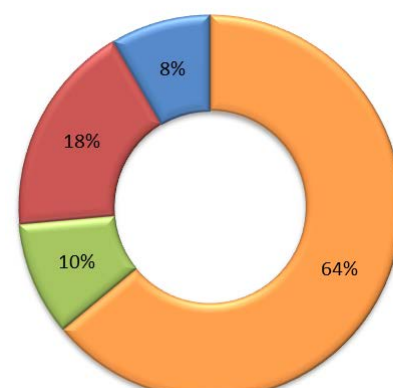
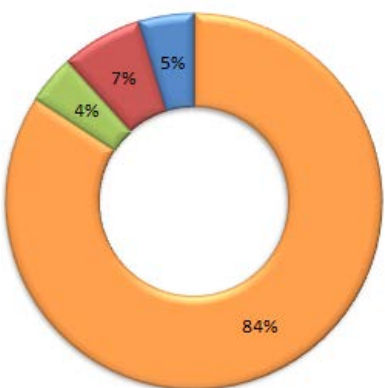
- Industrial
- Tráfico Urbano
- Tráfico Autonómico y Nacional
- Puerto

Campo de Tiro



- Industrial
- Tráfico Urbano
- Tráfico Autonómico y Nacional
- Puerto

Portería



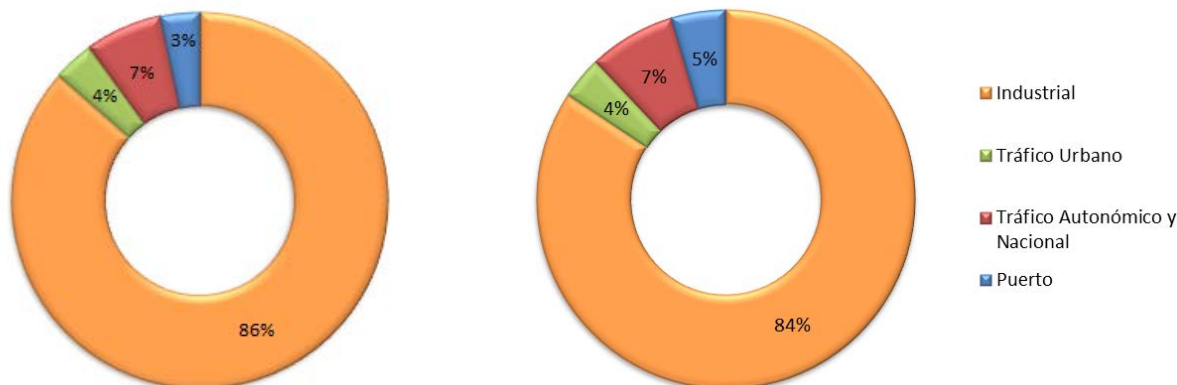
- Industrial
- Tráfico Urbano
- Tráfico Autonómico y Nacional
- Puerto



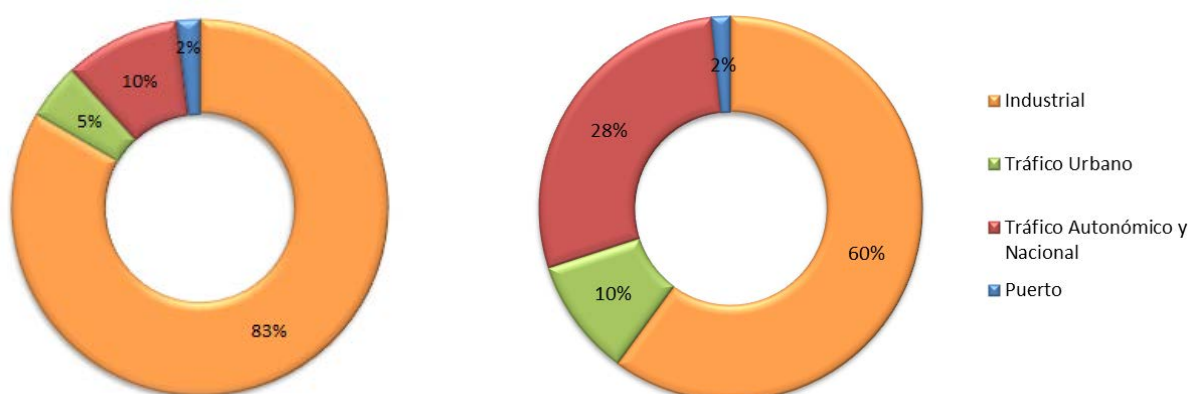
P90

P50

**Balsa Jarosita**



**Arnao**



*Nota: Los porcentajes son sobre el valor obtenido en la modelización, el cual sólo incluye las fuentes antropogénicas consideradas en este estudio y, por tanto, no incluye partículas de origen natural, ni incluye algunas de origen antropogénico, como las provenientes de actividades de construcción/demolición o sector residencial, ni tampoco otras partículas en suspensión antropogénicas originadas fuera del ámbito del estudio. Como referencia para el orden de magnitud del fondo, Niembro en 2013 obtuvo un valor P90.4 de 26 µg/m<sup>3</sup>, con una media anual de 15 µg/m<sup>3</sup>.*

Las conclusiones que se pueden extraer de estos resultados son las siguientes:

- Los valores obtenidos en el punto de control de Matadero indican que las emisiones que recibe durante los 182 días de mayor contaminación provienen principalmente del sector industrial, seguido de la actividad portuaria y en última instancia de las emisiones debidas al tráfico. Se trata de la ubicación en la que más peso tiene la actividad portuaria (20%), incrementando en un 17% su contribución durante los 35 días del año de mayor contaminación para esta ubicación. Cabe comentar que en el punto de control de Matadero

los días de mayor contaminación se asocian principalmente a días de vientos elevados y no tanto a condiciones meteorológicas de inversión térmica, debido a la cercanía de las fuentes y, sobre todo, que las emisión de partículas en el Puerto de Avilés es fuertemente dependiente de la velocidad del viento y las rachas.

- Los puntos de control Llaranes y Llanoponte presentan durante los 182 días del año de mayor contaminación en cada una de ellas, un porcentaje de sector industrial muy similar al tráfico sin observarse contribución de la actividad portuaria. No obstante, en los 35 días de mayor concentración de PM10, ambas estaciones, al igual que Arnao y Portería incrementan en más de un 15% la contribución del sector industrial. Es decir, existe una relación positiva entre los valores más altos obtenidos en estas ubicaciones y las emisiones debidas a los focos industriales de la zona.
- El punto de control de Plaza de la Guitarra es en el que más colaboran las emisiones del tráfico sobre los niveles de contaminación alcanzados. La contribución de fuentes durante los días de mayor contaminación es similar a la contribución media anual. La actividad portuaria tiene una mínima influencia sobre estos valores (1-2%).
- La ubicación de Campo de Tiro refleja una contribución del sector industrial del 73% para los 182 días de mayor contaminación el cual disminuye al analizar únicamente los 35 valores más altos. Se trata de la actividad portuaria la que contribuye a alcanzar los mayores valores en este punto debido a situaciones meteorológicas de viento elevado que provocan una mayor erosión sobre los almacenamientos portuarios. Cabe resaltar que el sector portuario duplica su contribución durante los 35 días de mayor contaminación de PM10.

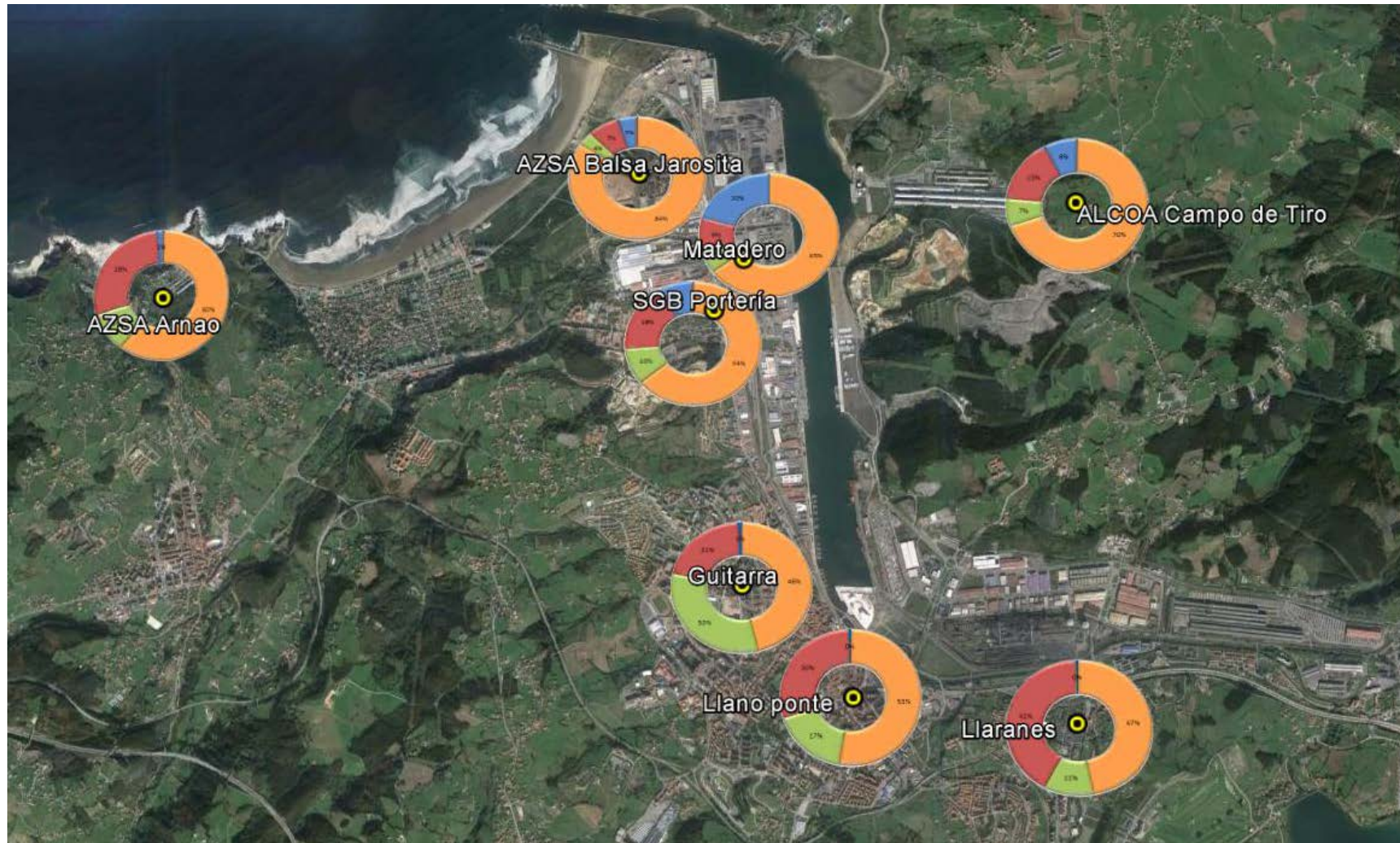


Figura 46. Representación sobre imagen de satélite de la distribución por sectores en la ubicación de las estaciones de calidad del aire. P50

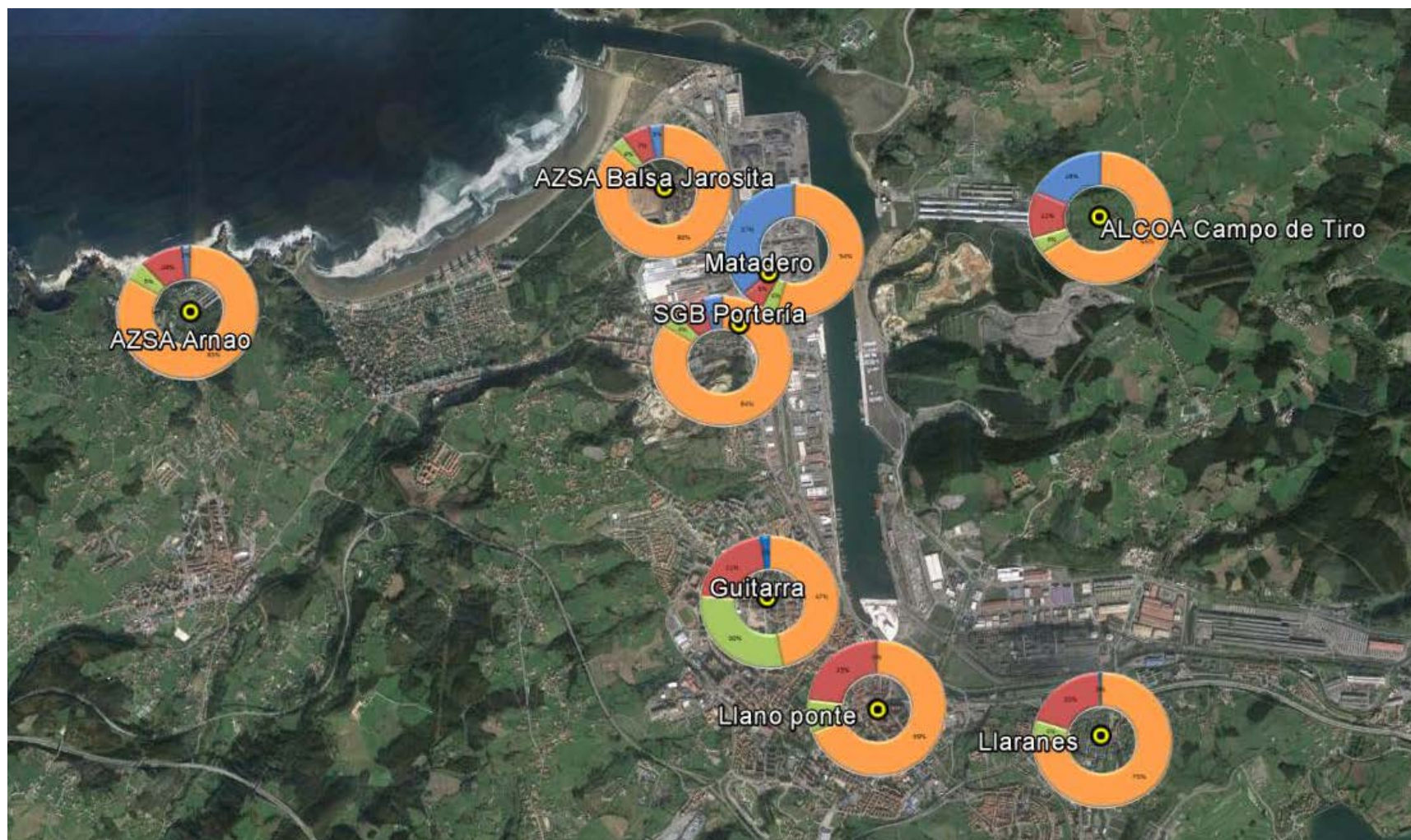


Figura 47. Representación sobre imagen de satélite de la distribución por sectores en la ubicación de las estaciones de calidad del aire. P90

## 7.2. CONTRIBUCIÓN POR FOCOS

---

En este apartado se analiza en detalle la contribución en los niveles de PM10 alcanzados en los puntos de control modelizados respecto a cada foco industrial.

Para analizar la contribución de cada foco se han empleado la misma metodología que para la contribución por sectores (cortes del P50 y P90), con la salvedad de que para este análisis se han calculado respecto los valores horarios resultados de la modelización, ya que para los focos industriales se dispone de mayor resolución temporal y son datos más fiables.

En este caso el corte del P50 (“P50”) indica el valor medio durante las 4.380 horas del año de mayor contaminación (medio año), mientras que el corte del P90 (“P90”) indica el valor medio durante las 840 horas en las que se alcanza los valores mayores en cada punto de control.

Si se consideran los focos agrupados por empresa, se obtiene el resultado que se muestra en la Figura 48 , cada color representa una empresa mientras que el relleno con trama representa el el porcentaje de contribución “P50” frente al sólido que se corresponde con el porcentaje “P90”. Así mismo, las líneas indican la concentración del percentil 50 y percentil 90 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) en cada punto de control para poner en contexto el porcentaje de contribución por empresa en cada ubicación.

Los porcentajes que se representan en la Figura 48 se refieren únicamente al sector industrial, en la Figura 49 Figura 49 se representan referidos al conjunto de todos los sectores para cada punto de control.

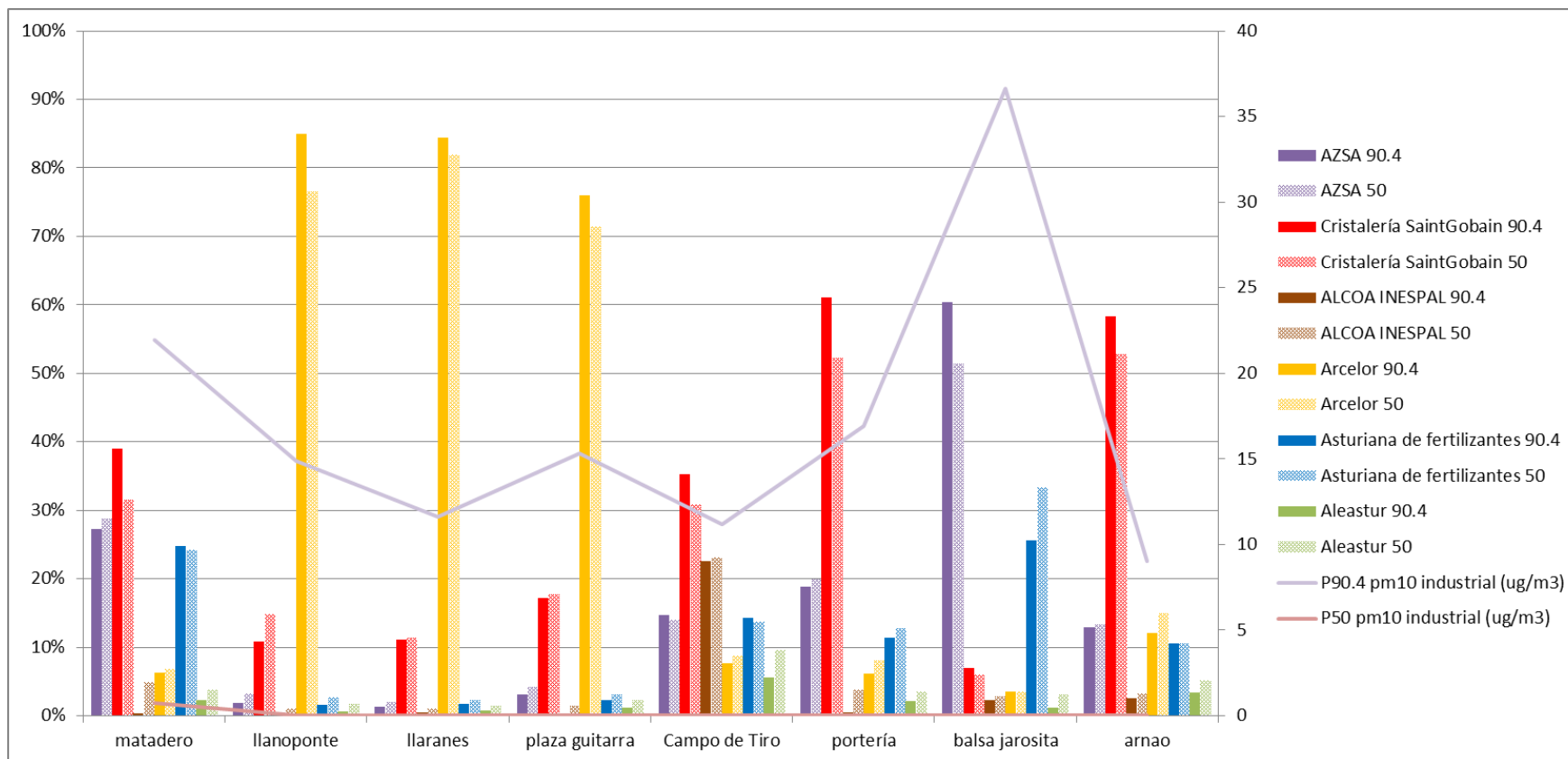


Figura 48. Contribución por empresa y por percentil en cada punto de control

Se observa que el punto de control de Balsa Jarosita es la que tiene mayor valor medio de concentración de PM10 de los 35 días de mayor contaminación siendo el 60% de la contribución procedente de los focos de Asturiana de Zinc.

En las ubicaciones de Portería y Arnao, las siguientes en orden de mayor valor medio alcanzado, destaca el horno de Cristalería Saint Gobain con más del 50% en la contribución de los niveles de partículas de los 35 días de mayor concentración.

Se observa como Arcelor Mittal es la principal industria responsable de los valores de PM10 procedentes del sector industrial que se registran en los puntos de control de Llanoponte, Llaranes y Plaza de la Guitarra, con una contribución media en torno al 80%, seguido del horno 4 de Cristalería Saint Gobain con un 15%.

A continuación, en la Tabla 10 se muestra la contribución para cada foco en concreto referido al 100% del sector industrial.

En la Figura 49 se han referido los porcentajes de contribución por empresa respecto al conjunto de todos los sectores.

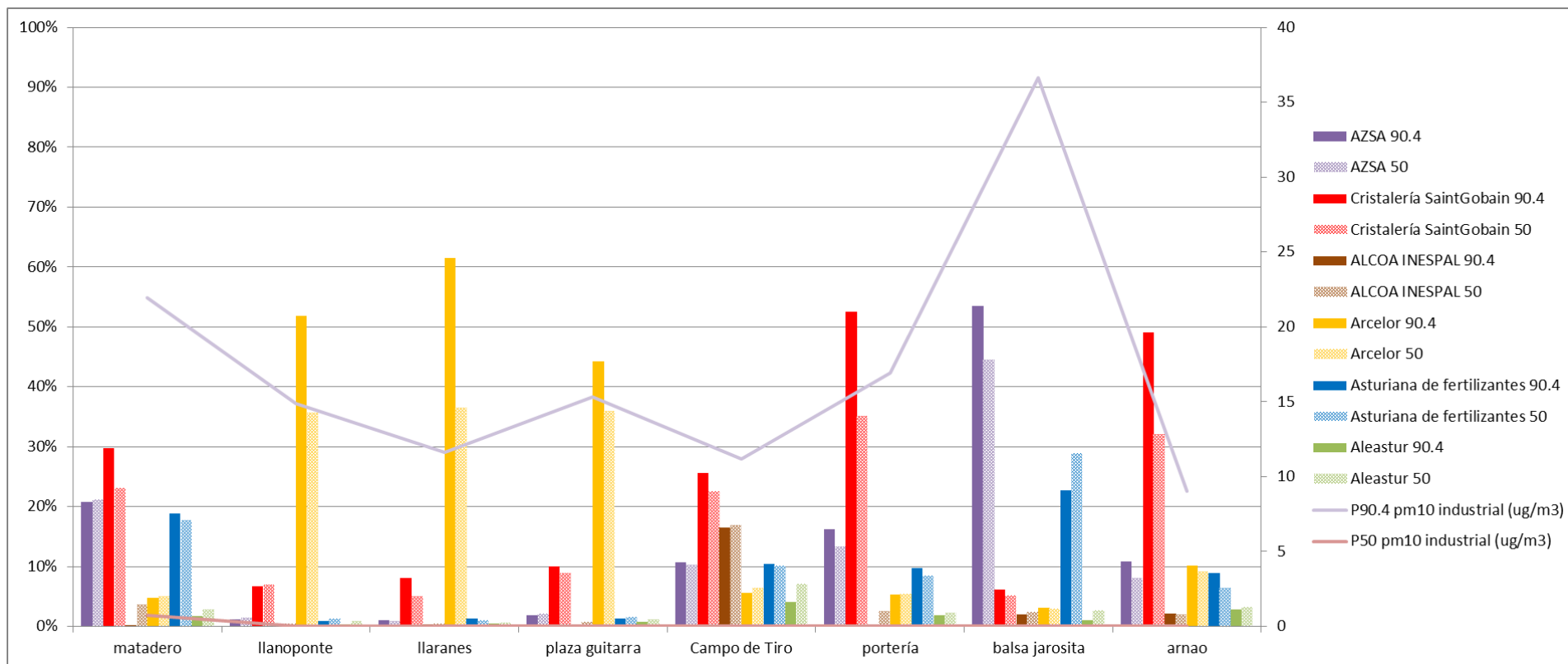


Figura 49. Contribución por empresa y por percentil en cada punto de control. Considerando el conjunto de todos los sectores



Para más detalle en el Anexo 1 se pueden consultar los porcentajes desagregados por empresa referidos a la contribución conjunta de sectores para tener una idea más certera de la contribución global, no obstante se remarca que no se está teniendo en cuenta la contribución del valor de contaminación de fondo regional y algunos otros de origen local que podría llegar a alcanzar un tercio de los niveles de concentración de PM10 medidos.

A modo ilustrativo, se ha realizado la siguiente gráfica sobre la contribución por focos para los puntos de control de Plaza de la Guitarra.

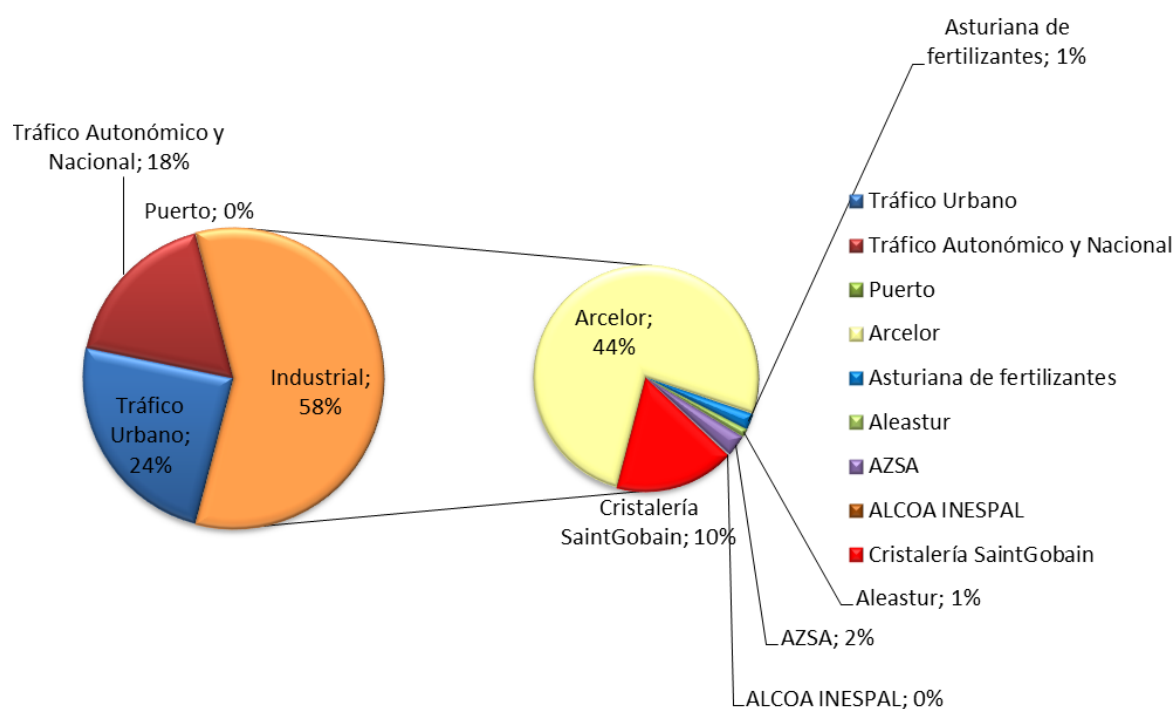


Figura 50. Contribución por sectores y por focos en el punto de control de Plaza de la Guitarra. Percentil 90.4

		AsZ Horno 1	AsZ Horno 4	AsZ Horno 7	SaintGC Horr	Alcoa LS2	Alcoa LS3	ARC- Bateria	ARC- Bateria	ARC- Bateria	Asturiana de	Aleastur HI1	Aleastur HI2	AZSA Zinc1	AZSA Zinc2	AZSA Zinc3	AZSA Transp	Alcoa-Horno	Alcoa-Horno	Alcoa-Horno	Alcoa-Planta
matadero	90	1%	0%	0%	39%	0%	0%	2%	2%	2%	25%	1%	1%	3%	5%	12%	5%	0%	0%	0%	0%
	50	1%	0%	0%	31%	2%	1%	3%	2%	2%	24%	2%	2%	3%	6%	12%	6%	0%	1%	0%	1%
llanoponte	90	0%	0%	0%	11%	0%	0%	32%	31%	22%	2%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
	50	0%	0%	0%	15%	0%	0%	28%	27%	21%	3%	1%	1%	0%	1%	1%	1%	0%	0%	0%	0%
llaranes	90	0%	0%	0%	11%	0%	0%	32%	30%	23%	2%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
	50	0%	0%	0%	11%	0%	0%	31%	28%	23%	2%	1%	1%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
plaza guitarr	90	0%	0%	0%	17%	0%	0%	29%	27%	20%	2%	1%	1%	0%	1%	1%	1%	0%	0%	0%	0%
	50	0%	0%	0%	18%	1%	0%	27%	25%	19%	3%	1%	1%	0%	1%	2%	1%	0%	0%	0%	0%
Campo de Ti	90	0%	0%	0%	35%	13%	2%	3%	3%	2%	14%	3%	3%	2%	3%	7%	3%	1%	2%	1%	4%
	50	0%	0%	0%	31%	12%	2%	3%	3%	3%	14%	5%	5%	2%	3%	6%	3%	2%	2%	1%	5%
portería	90	0%	0%	0%	61%	0%	0%	2%	2%	2%	11%	1%	1%	2%	4%	8%	4%	0%	0%	0%	0%
	50	0%	0%	0%	52%	1%	1%	3%	3%	2%	13%	2%	2%	2%	4%	9%	4%	0%	0%	0%	1%
balsa jarosita	90	0%	0%	0%	7%	1%	0%	1%	1%	1%	26%	1%	1%	7%	11%	28%	14%	0%	0%	0%	1%
	50	0%	0%	0%	6%	1%	0%	1%	1%	1%	33%	2%	1%	6%	9%	23%	12%	0%	0%	0%	1%
arnao	90	0%	0%	0%	58%	1%	0%	4%	4%	3%	11%	2%	2%	2%	3%	6%	3%	0%	0%	0%	1%
	50	0%	0%	0%	53%	1%	0%	5%	5%	5%	11%	3%	3%	2%	3%	6%	3%	0%	0%	0%	1%

Tabla 10. Contribución por foco y por percentil en cada punto de control. Considerando únicamente los focos industriales



## 8. SÍNTESIS DE CONCLUSIONES

---

Los resultados obtenidos del análisis de contribución por fuentes o sectores y por focos industriales realizado en el presente estudio se pueden resumir en los siguientes puntos:

- La contribución del sector industrial sobre los niveles de partículas resultados de la modelización es predominante en el conjunto del ámbito de estudio y se observa cómo, en los días de mayor contaminación, aumenta el área de influencia en donde su contribución es superior al resto de sectores.
- Respecto a los puntos de control, se observa que los valores para el percentil 50 de las concentraciones medias diarias modelizadas de PM10 están entre  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para Arnao y  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de Matadero.
- Al reducir el ámbito a la zona concreta del núcleo urbano de Avilés, si consideramos el tráfico urbano, autonómico y nacional en conjunto, la contribución del sector industrial frente al tráfico en el área urbana de Avilés es prácticamente equivalente. El sector portuario contribuye un 4% en el valor medio anual de PM10 resultado de la modelización.
- Los valores obtenidos en el punto de control de Matadero indican que las emisiones que recibe durante los 182 días de mayor contaminación provienen principalmente del sector industrial, seguido de la actividad portuaria y en última instancia de las emisiones debidas al tráfico. Se trata de la ubicación en la que más peso tiene la actividad portuaria (20%), incrementando en un 17% su contribución durante los 35 días del año de mayor contaminación para esta ubicación. Cabe comentar que en el punto de control de Matadero los días de mayor contaminación se asocian principalmente a días de vientos elevados y no tanto a condiciones meteorológicas de inversión térmica, debido a la cercanía de las fuentes y, sobre todo, que las emisión de partículas en el Puerto de Avilés es fuertemente dependiente de la velocidad del viento y las rachas.
- Los puntos de control Llaranes y Llanoponte presentan durante los 182 días del año de mayor contaminación en cada una de ellas, un porcentaje de sector industrial muy similar al tráfico sin observarse contribución de la actividad portuaria. No obstante, en los 35 días de mayor concentración de PM10, ambas estaciones, al igual que Arnao y Portería incrementan en más de un 15% la contribución del sector industrial. Es decir, existe una relación positiva entre los valores más altos obtenidos en estas ubicaciones y las emisiones debidas a los focos industriales de la zona.
- El punto de control de Plaza de la Guitarra es en el que más colaboran las emisiones del tráfico sobre los niveles de contaminación alcanzados. La contribución de fuentes durante los días de mayor contaminación es similar a la contribución media anual. La actividad portuaria tiene una mínima influencia sobre estos valores (1-2%).
- La ubicación de Campo de Tiro refleja una contribución del sector industrial del 73% para los 182 días de mayor contaminación el cual disminuye al analizar únicamente los 35 valores

más altos. Se trata de la actividad portuaria la que contribuye a alcanzar los mayores valores en este punto debido a situaciones meteorológicas de viento elevado que provocan una mayor erosión sobre los almacenamientos portuarios. Cabe resaltar que el sector portuario duplica su contribución durante los 35 días de mayor contaminación de PM10.

En cuanto a la contribución por focos industriales (considerando únicamente este sector para el cálculo de los porcentajes de contribución por focos) se puede concluir que:

- El punto de control de Balsa Jarosita es el que refleja el mayor valor medio de concentración de PM10 de los 35 días de mayor contaminación siendo el 60% de la contribución procedente de los focos de Asturiana de Zinc.
- En las ubicaciones de Portería y Arnao, las siguientes en orden de mayor valor medio alcanzado, destaca el horno de Cristalería Saint Gobain con más del 50% en la contribución de los niveles de partículas de los 35 días de mayor concentración. No obstante, cabe mencionar que en la modelización no se incluyeron las emisiones de la factoría de Arnao por su lejanía a la zona principal de estudio (el entorno de la ría de Avilés) por lo que los resultados en este punto de control no responden a la realidad.
- Se observa como Arcelor Mittal es la principal industria responsable de los valores de PM10 procedentes del sector industrial que se registran en los puntos de control de Llanoponte, Llaranes y Plaza de la Guitarra, con una contribución media en torno al 80%, seguido del horno 4 de Cristalería Saint Gobain con un 15%.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Plan de Mejora de la Calidad del Aire en la zona ES0302 Asturias Central, Consejería de Fomento Ordenación del territorio y Medio Ambiente, Gobierno del Principado de Asturias (2014)
- Guía de Buenas Prácticas en la Manipulación y Almacenamiento de Graneles Sólidos en Instalaciones Portuarias, Mayo 2015, Puertos del Estado, Ministerio de Fomento.
- Proyecto HADA. 2004. EMIPORT Modelo de emisiones de partículas en entornos portuarios. 2004.
- AP-42: Compilation of Air Pollutant Emission Factors, EPA, Environmental Protection Agency.
  - USEPA. 1995. AP42 Emission Factor Database, Appendix B.2 Generalized Particle Size. 1995.
  - —. 2011. AP42 Emission Factor Database, Chapter 13.2.1 Paved Roads. 2011.
  - —. 2006. AP42 Emission Factor Database, Chapter 13.2.4 Aggregate Handling And Storage Piles.
- Countess Environmental. 2006. WRAP Fugitive Dust Handbook, Western Governor's Association. 2006.
- Diffuse Emissions of Particles from Iron Ore Piles by Wind Erosion, Department of Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, Florida (2011).
- WRAP Fugitive Dust Handbook, Western Governors' Association, Denver, Colorado, (2006).
- Technical Background Document on Control of Fugitive Dust at Cement Manufacturing Facilities, (1998).
- COPERT 4 Computer programme to calculate emissions from road transport - User's Manual
- Amato, F., Nava, S., Lucarelli, F., Querol, X., Alastuey, A., Baldasano, J.M., Pandolfi, M., 2010. A comprehensive assessment of PM emissions from paved roads: real-world emission factors and intense street cleaning trials. *Science of the Total Environment* 408 (20), 4309 - 4318.
- Amato, F., Karanasiou, A., Moreno, T., Alastuey, A., Orza, J.A.G., Lumbreras, J., Borge, R., Boldo, E., Linares, C., Querol, X., 2012. Emission factors from road dust resuspension in a Mediterranean freeway. *Atmospheric Environment* 61, 580 - 587.
- Amato, F., Pandolfi, M., Alastuey, A., Lozano, A., Contreras González, J., Querol, X., 2013. Impact of traffic intensity and pavement aggregate size on road dust particles loading. *Atmospheric Environment* 77, 711 - 717.
- Querol, Xavier. Calidad del aire urbano, salud y tráfico rodado. Instituto de Ciencias de la Tierra "Jaume Almera", CSIC. Barcelona: Fundación Gas Natural, 2006.
- Niveles, Composición y fuentes de PM10 y PM2.5 en España: Aragón, Asturias, Castilla La Mancha, y Madrid. Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua, IDÆA-CSIC, CIEMAT, Instituto de Salud Carlos III Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente S.D.G. de Calidad del Aire y Medio Ambiente Industrial, Abril 2013.
- Willmott et al. "A refined index of model performance". *International Journal of Climatology Int.* 32: 2088–2094 (2012). Published online 9 September 2011.

## ANEXOS

**Anexo I. Contribución por empresa para cada escenario en cada punto de control considerando todos los sectores incluidos en el estudio.**



Punto de control	P	Arcelor	Asturiana de fertilizantes	Aleatur	AZSA	ALCOA INESPAL	Cristalería Saint Gobain	Tráfico Urbano	Tráfico Autonómico y Nacional	Puerto
<b>Matadero</b>	90	3.4%	13.5%	1.2%	14.8%	0.2%	21.2%	4%	5%	37%
	50	4.4%	15.7%	2.4%	18.7%	3.2%	20.4%	6%	9%	20%
<b>Llanoponte</b>	90	58.7%	1.1%	0.4%	1.2%	0.1%	7.5%	8%	23%	0%
	50	40.3%	1.4%	0.9%	1.7%	0.6%	7.8%	17%	30%	0%
<b>Llaranes</b>	90	63.7%	1.3%	0.5%	1.0%	0.4%	8.4%	4%	20%	0%
	50	38.3%	1.1%	0.7%	0.9%	0.5%	5.3%	11%	42%	0%
<b>Plaza Guitarra</b>	90	35.6%	1.1%	0.6%	1.4%	0.1%	8.0%	30%	21%	2%
	50	33.0%	1.4%	1.1%	1.9%	0.6%	8.2%	32%	21%	1%
<b>Campo de tiro</b>	90	5.0%	9.4%	3.7%	9.7%	14.9%	23.2%	4%	12%	18%
	50	6.2%	9.7%	6.7%	9.8%	16.2%	21.6%	7%	15%	8%
<b>Porteria</b>	90	5.2%	9.6%	1.8%	15.9%	0.4%	51.4%	4%	7%	5%
	50	5.2%	8.1%	2.2%	12.7%	2.4%	33.4%	10%	18%	8%
<b>Balsa Jarosita</b>	90	3.1%	22.2%	1.0%	52.3%	2.0%	6.0%	4%	7%	3%
	50	2.9%	28.1%	2.5%	43.4%	2.4%	5.0%	4%	7%	5%

## Anexo II. Distribución del parque de vehículos y factores de emisión considerados en el estudio

COMBUSTIBLE	CLASE	NORMATIVA	% TRAFICO ASTURIAS	EF escape	EF desgaste	EF resuspensión
GASÓLEO	<=2	EURO IV - 98/69/EC S 2005	18,93	6,74E-03	4,26E-03	7,38E-03
GASÓLEO	<=2	EURO III - 98/69/EC S 2000	15,67	5,72E-03	3,53E-03	6,11E-03
GASÓLEO	<=2	EURO V	8,79	6,10E-04	1,98E-03	3,43E-03
GASOLINA	1,4-2	EURO III - 98/69/EC S 2000	4,53	6,12E-05	1,02E-03	1,76E-03
GASÓLEO	>2	EURO IV - 98/69/EC S 2005	3,31	1,18E-03	7,45E-04	1,29E-03
GASOLINA	<1,4	EURO III-98/69/EC S 2000	3,06	4,14E-05	6,88E-04	1,19E-03
GASOLINA	1,4-2	EURO IV - 98/69/EC S 2005	2,99	4,04E-05	6,72E-04	1,16E-03
GASÓLEO	<=2	EURO II -94/12/EC	2,81	1,71E-03	6,32E-04	1,09E-03
GASÓLEO	LIGERO	EURO III - 98/69/EC S 2000	2,65	1,86E-03	8,14E-04	3,68E-03
GASOLINA	<1,4	EURO IV - 98/69/EC S 2005	2,12	2,87E-05	4,77E-04	8,27E-04
GASÓLEO	>2	EURO III - 98/69/EC S 2000	2,11	7,71E-04	4,75E-04	8,23E-04
GASÓLEO	LIGERO	EURO IV - 98/69/EC S 2005	2,10	1,47E-03	6,45E-04	2,91E-03
BIODIÉSEL	AUTOCAR	EURO III - COM(97) 627	1,87	3,85E-03	1,92E-03	1,45E-02
GASOLINA	1,4-2	EURO II -94/12/EC	1,86	6,34E-05	4,19E-04	7,26E-04
GASÓLEO	>2	EURO V	1,58	1,10E-04	3,57E-04	6,18E-04
GASOLINA	50 - 250	2002/51/EC Sil	1,49	1,89E-04	1,48E-04	5,19E-05
GASOLINA	>2	EURO III - 98/69/EC S 2000	1,39	1,88E-05	3,14E-04	5,43E-04
GASÓLEO	AUTOCAR	EURO III - COM(97) 627	1,36	2,80E-03	1,39E-03	1,05E-02
GASOLINA	1,4-2	EURO V	1,29	2,23E-05	2,91E-04	5,04E-04
GASOLINA	1,4-2	EURO 1-91/441/EEC	1,19	4,05E-05	2,68E-04	4,64E-04
GASOLINA	>2	EURO IV - 98/69/EC S 2005	1,10	1,49E-05	2,48E-04	4,29E-04
GASOLINA	<1,4	EURO II - 94/12/EC	1,06	3,62E-05	2,40E-04	4,15E-04
GASOLINA	50 - 250	2002/51/EC SI	0,97	4,09E-04	9,61E-05	3,37E-05
GNC	AUTOCAR	EEV	0,93	4,80E-04	9,58E-04	7,24E-03
GASOLINA	<1,4	EURO V	0,92	1,58E-05	2,07E-04	3,58E-04
GASOLINA	CICLOMOTOR	37/24/EC Sil	0,82	9,83E-05	8,10E-05	2,84E-05
GASOLINA	250 - 750	2002/51/EC Sil	0,79	4,16E-05	7,82E-05	2,75E-05
GASÓLEO	AUTOCAR	EURO II - 91/542/EEC S II	0,78	1,62E-03	7,99E-04	6,04E-03
GASÓLEO	AUTOCAR	EURO IV - COMO 998) 776	0,71	3,65E-04	7,30E-04	5,52E-03

GASOLINA	<1,4	EURO 1-91/441/EEC	0,68	2,30E-05	1,52E-04	2,64E-04
GASÓLEO	<=2	EURO 1-91/441/EEC	0,65	4,77E-04	1,46E-04	2,53E-04
GASOLINA	1,4-2	EOE 15/04	0,64	2,17E-05	1,44E-04	2,49E-04
GASÓLEO	LIGERO	EURO II - 96/69/EC	0,64	6,66E-04	1,95E-04	8,83E-04
GASÓLEO	14-32	EURO III - COM(97) 627	0,53	1,03E-03	5,48E-04	4,14E-03
GASOLINA	250 - 750	2002/51/EC SI	0,51	2,71E-05	5,09E-05	1,79E-05
GASOLINA	>2	EURO II -94/12/EC	0,49	1,67E-05	1,11E-04	1,92E-04
GASOLINA	>2	EURO V	0,48	8,23E-06	1,07E-04	1,86E-04
GASÓLEO	>2	EURO II - 94/12/EC	0,46	2,80E-04	1,04E-04	1,79E-04
GASOLINA	<1,4	ECE 15/04	0,40	1,35E-05	8,94E-05	1,55E-04

## Anexo III. Resultados del Modelo de dispersión. Mapas de concentración de PM10



Figura 1. Percentil 50 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Sector industrial canalizado

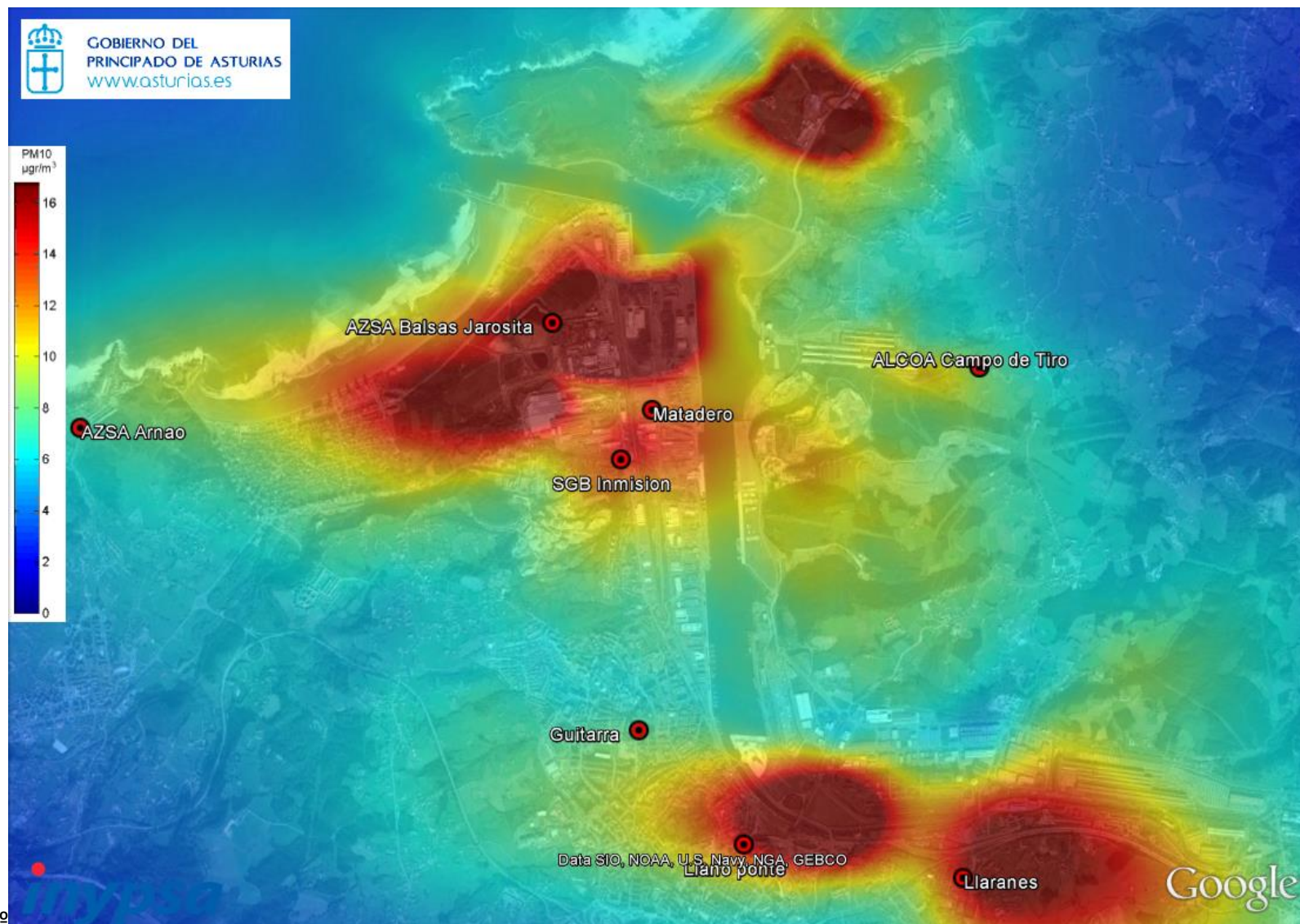


Figura 2. Percentil 90.4 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Sector industrial canalizado

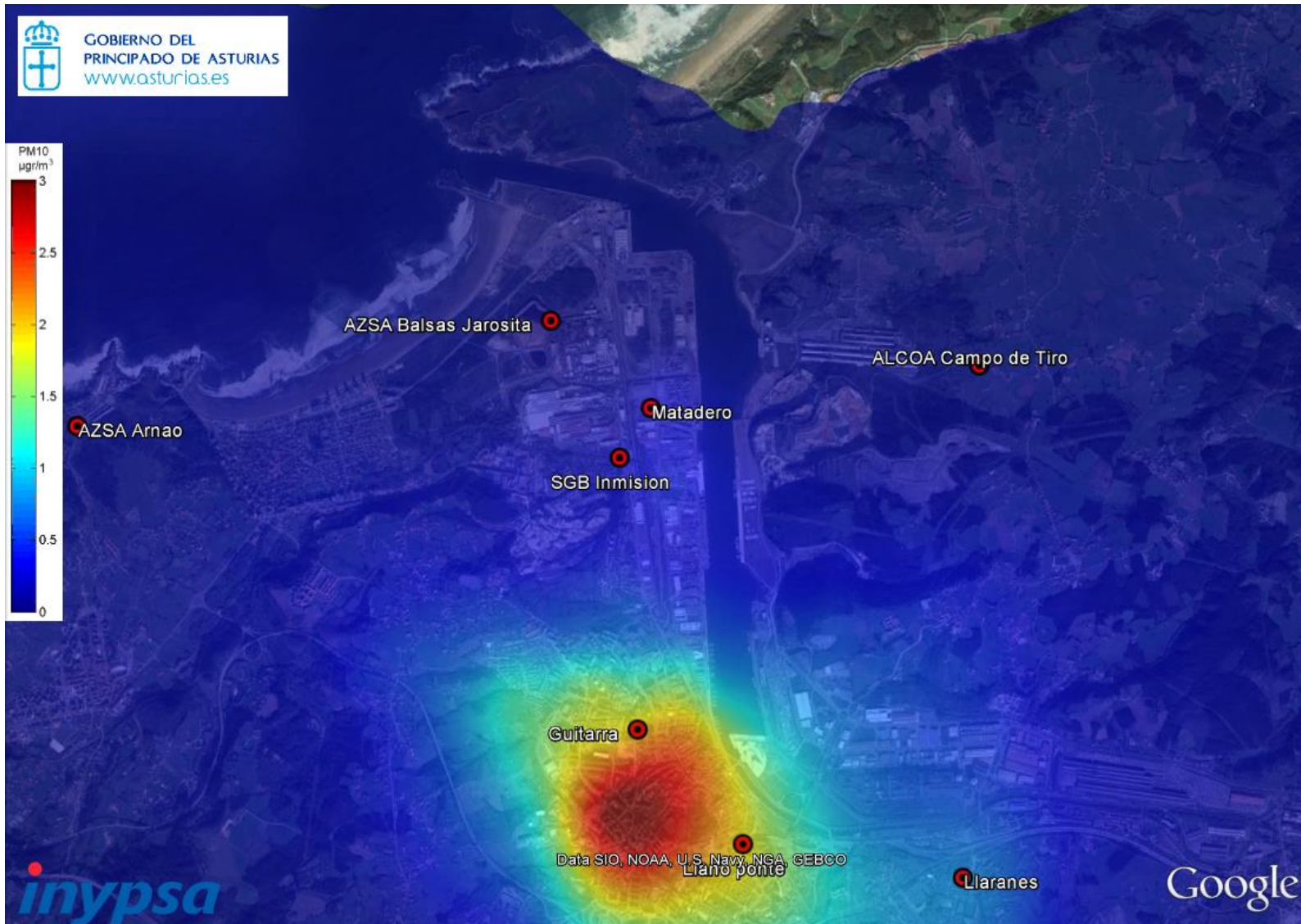


Figura 3. Percentil 50 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Tráfico urbano



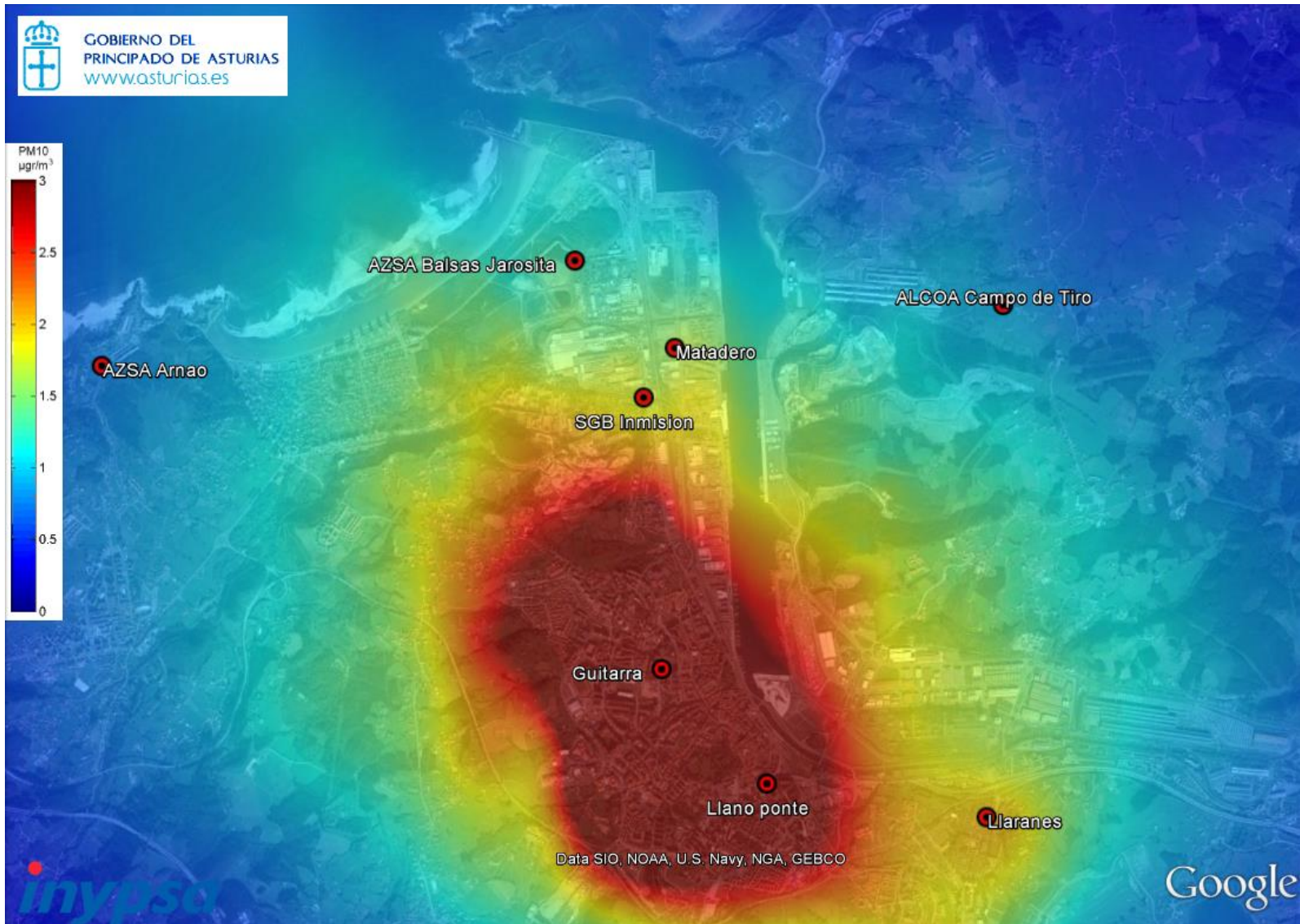


Figura 4. Percentil 90.4 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Tráfico urbano

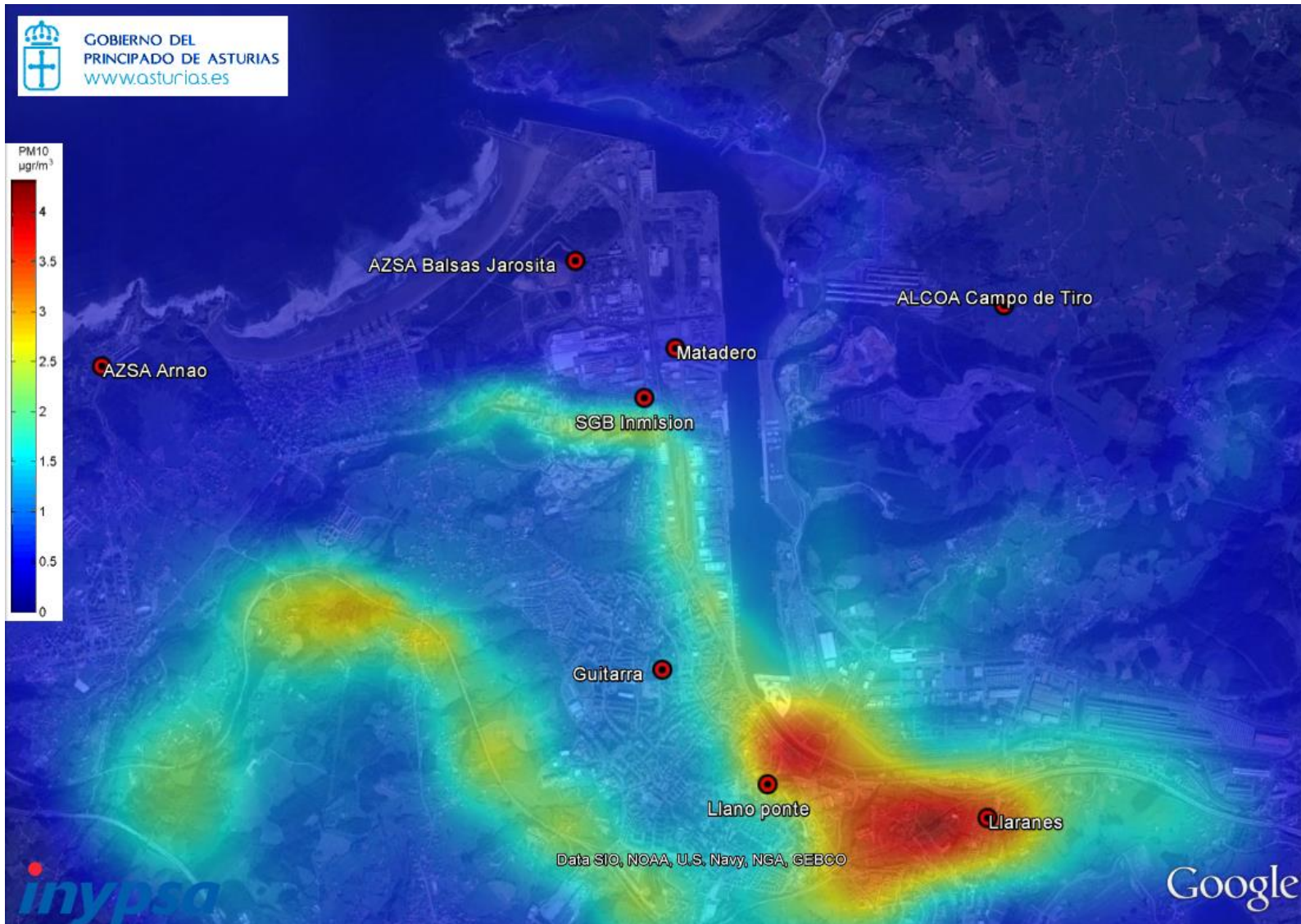


Figura 5. Percentil 50 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Tráfico autonómico y nacional

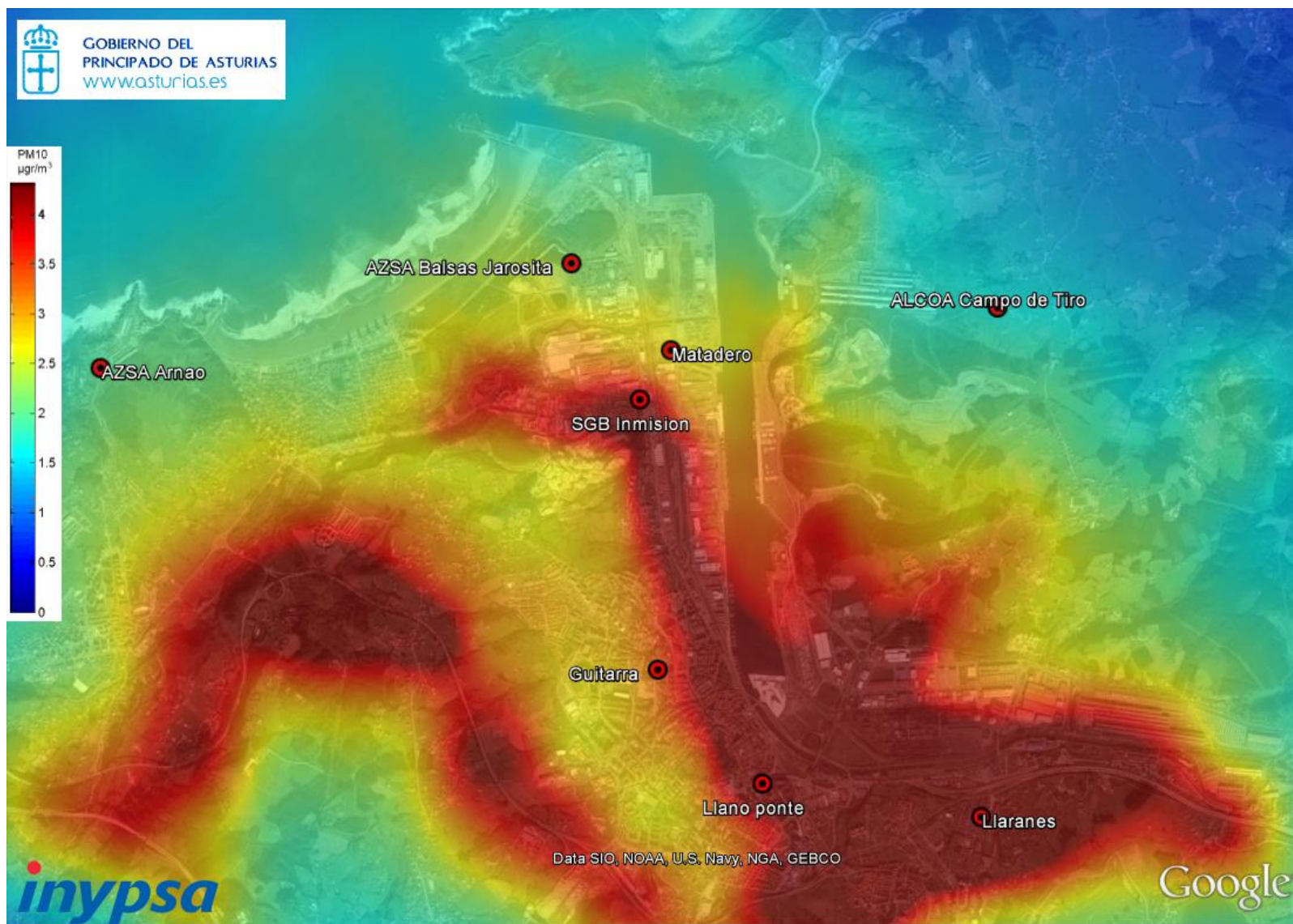


Figura 6. Percentil 90.4 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Tráfico autonómico y nacional

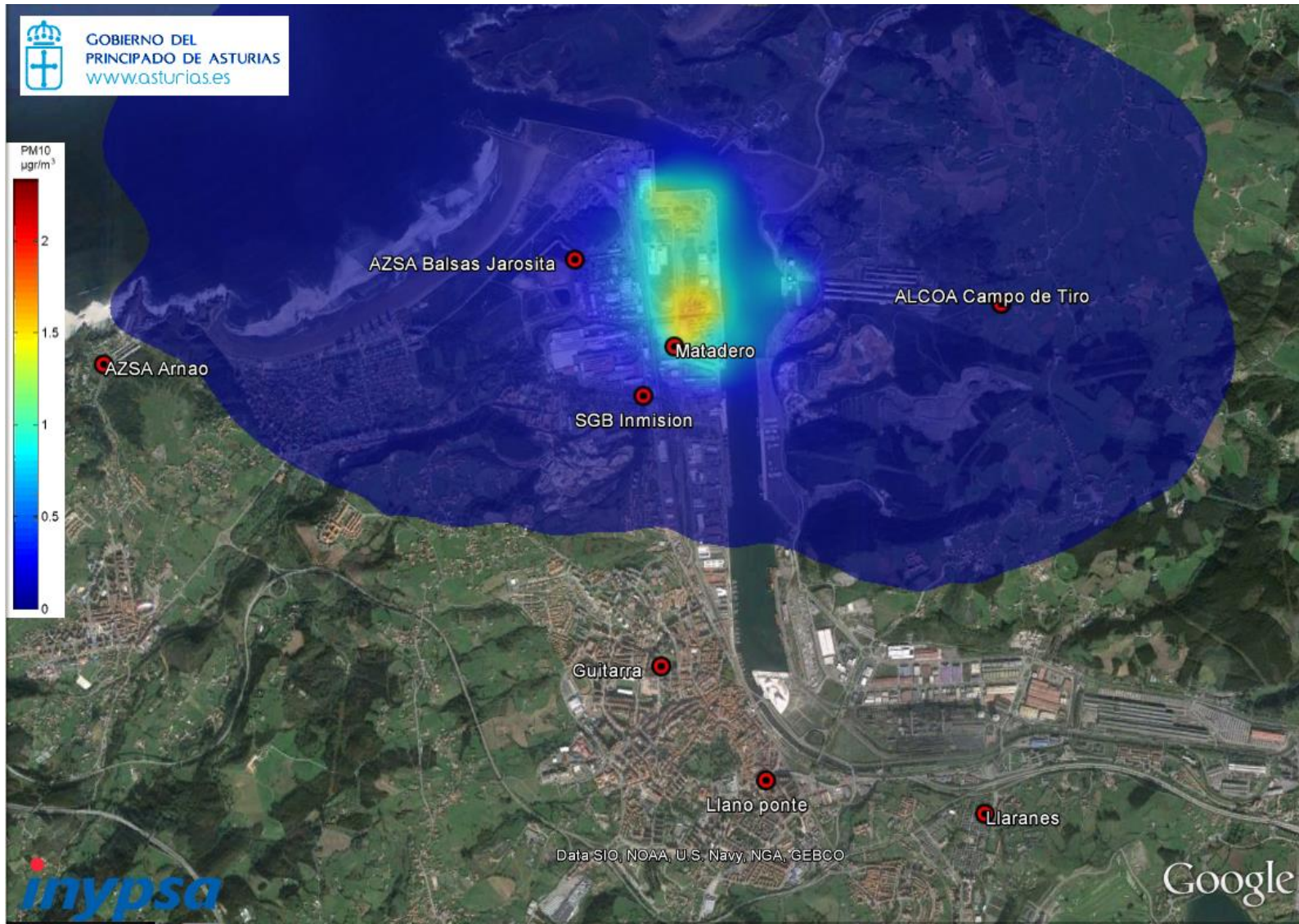


Figura 7. Percentil 50 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Sector Portuario

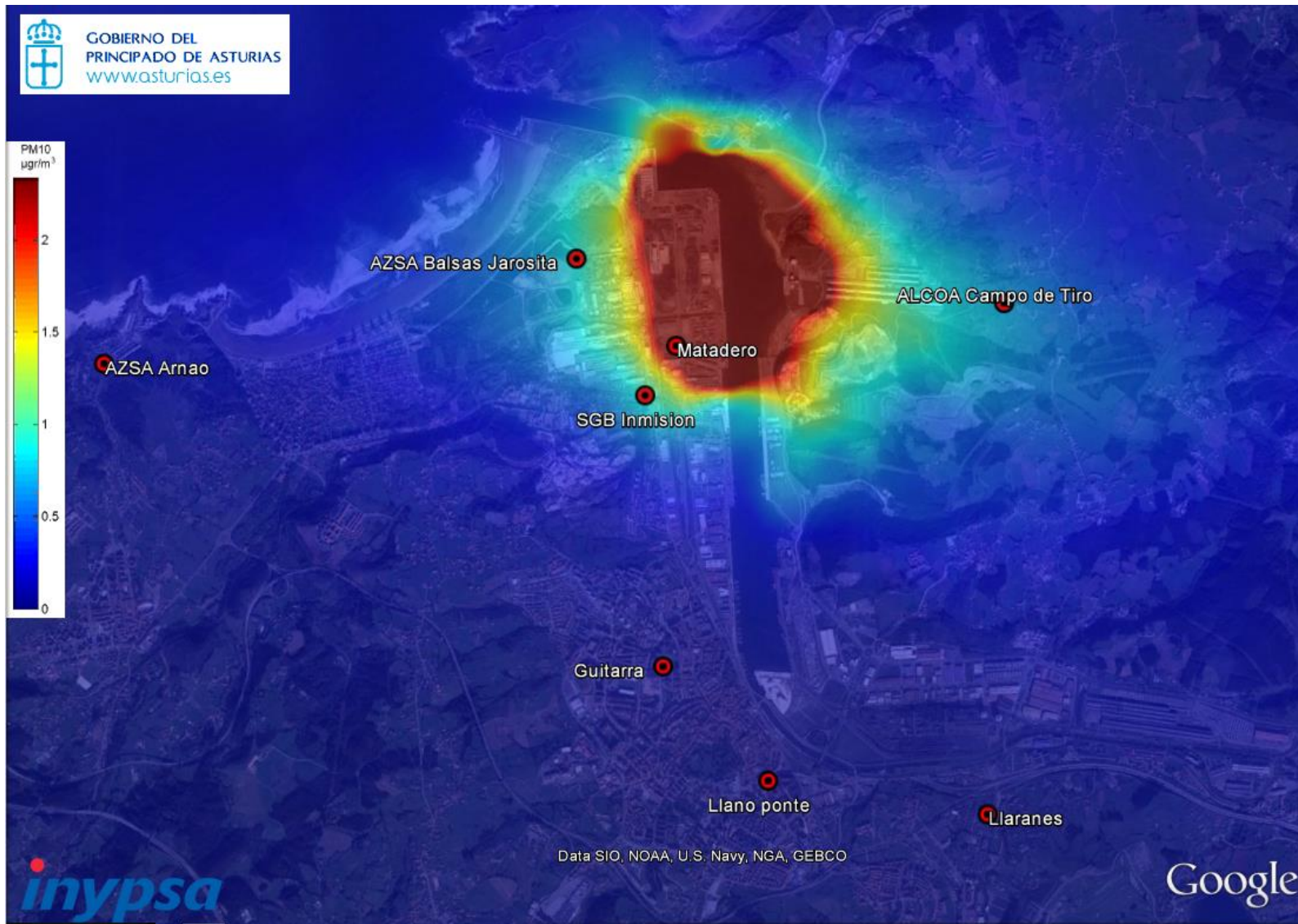


Figura 8. Percentil 90.4 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Sector Portuario

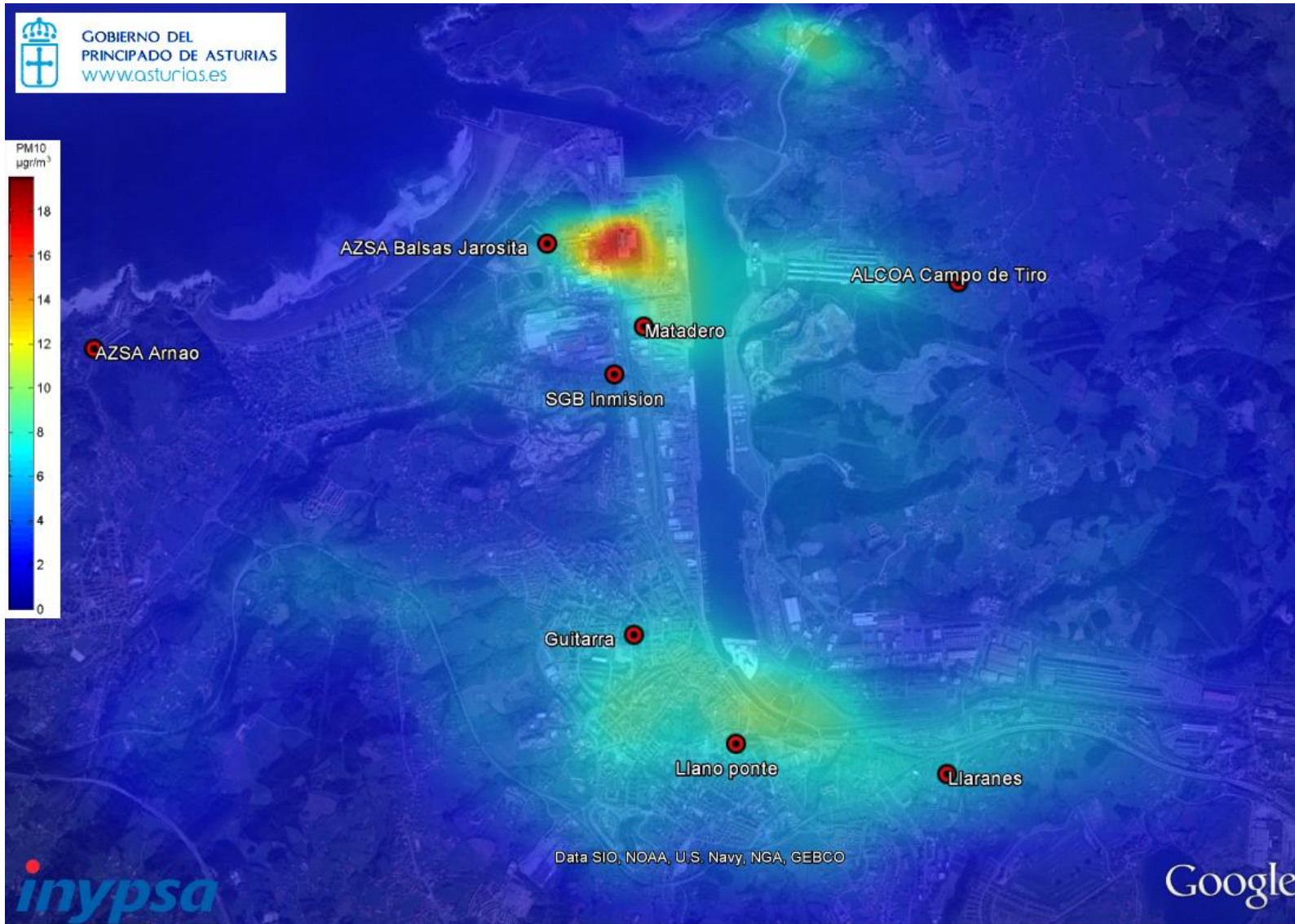


Figura 9. Percentil 50 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Todos los sectores

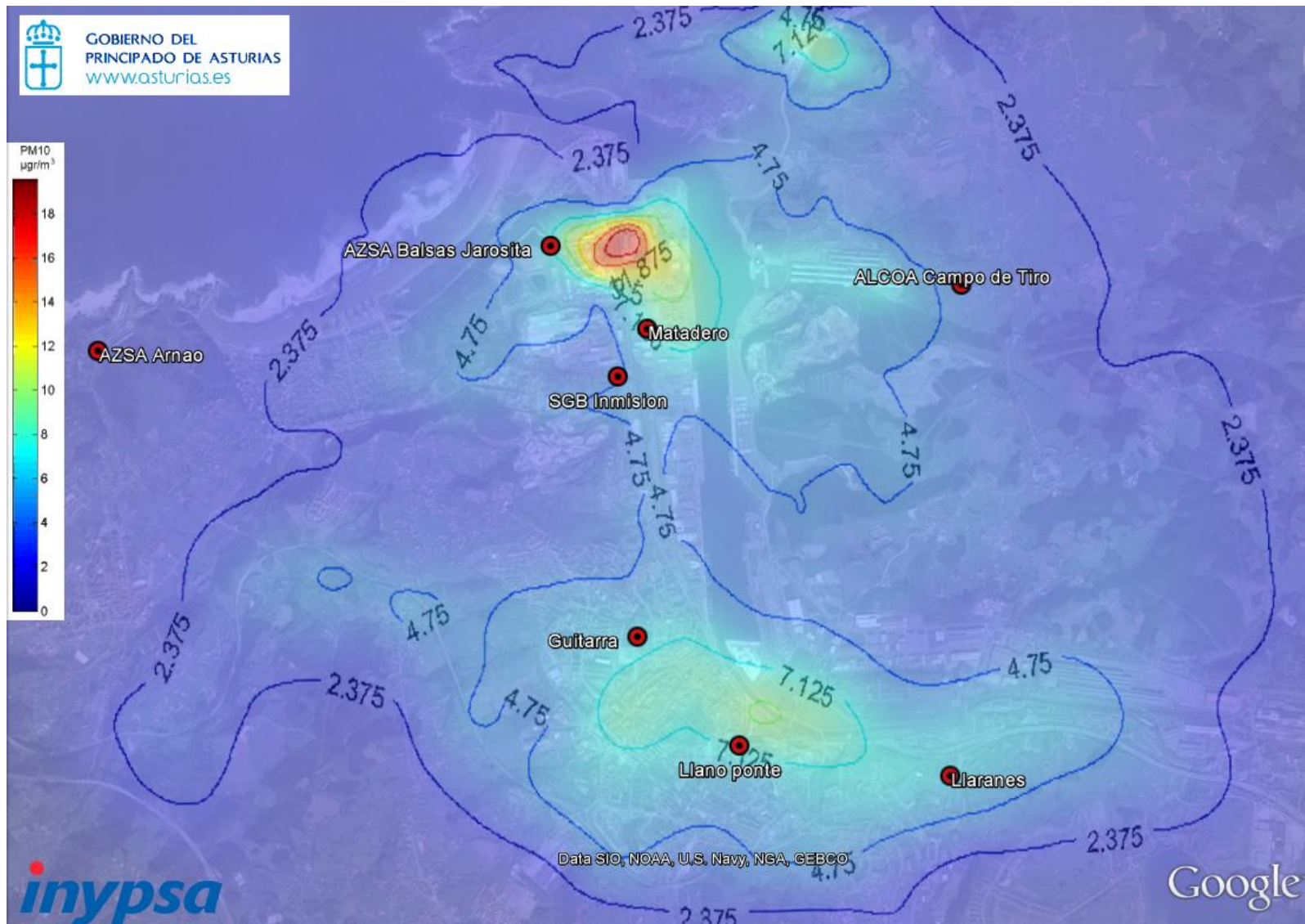


Figura 10. Curvas de Isoconcentración del Percentil 50 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Todos los sectores

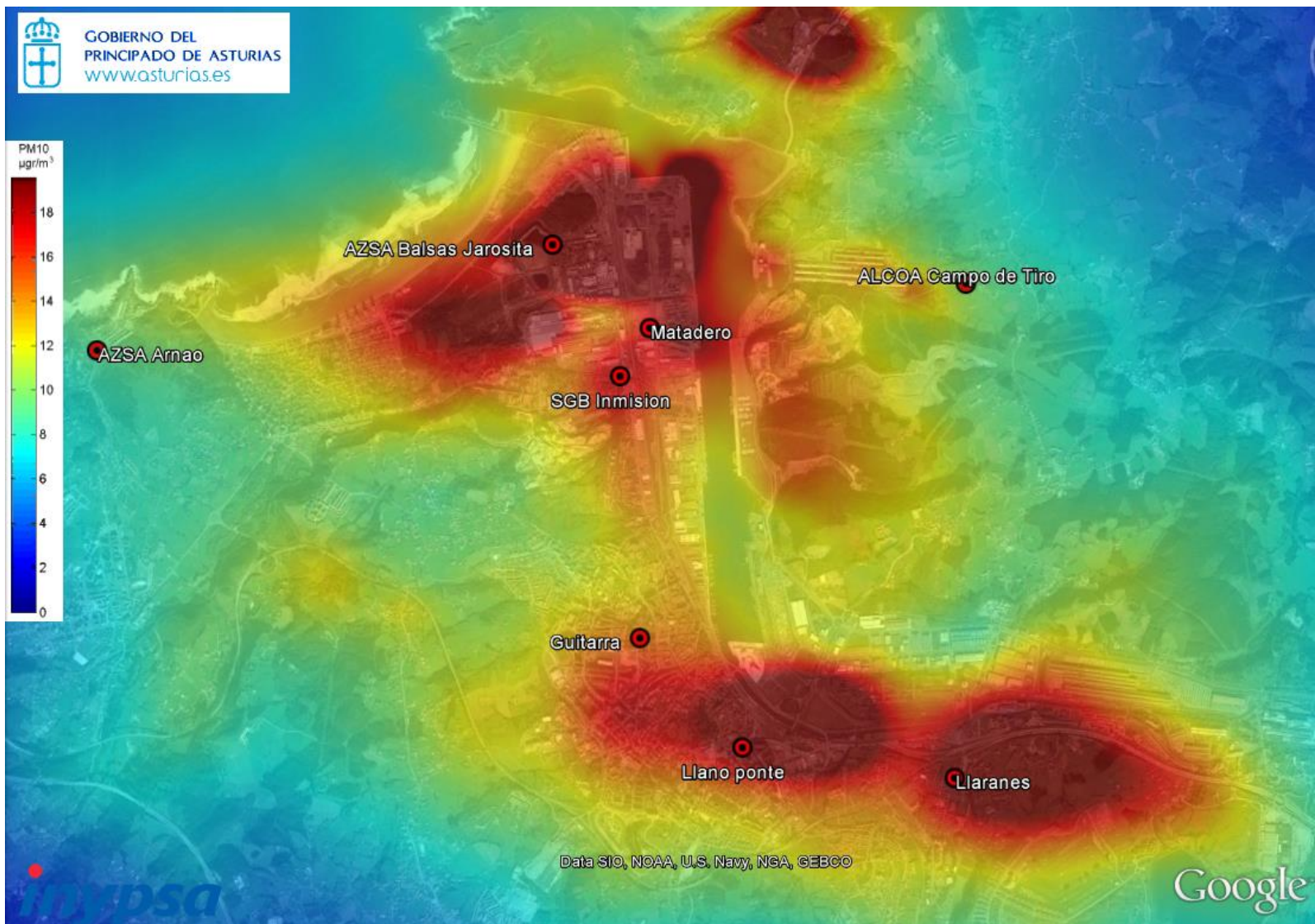


Figura 11. Percentil 90.4 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Todos los sectores



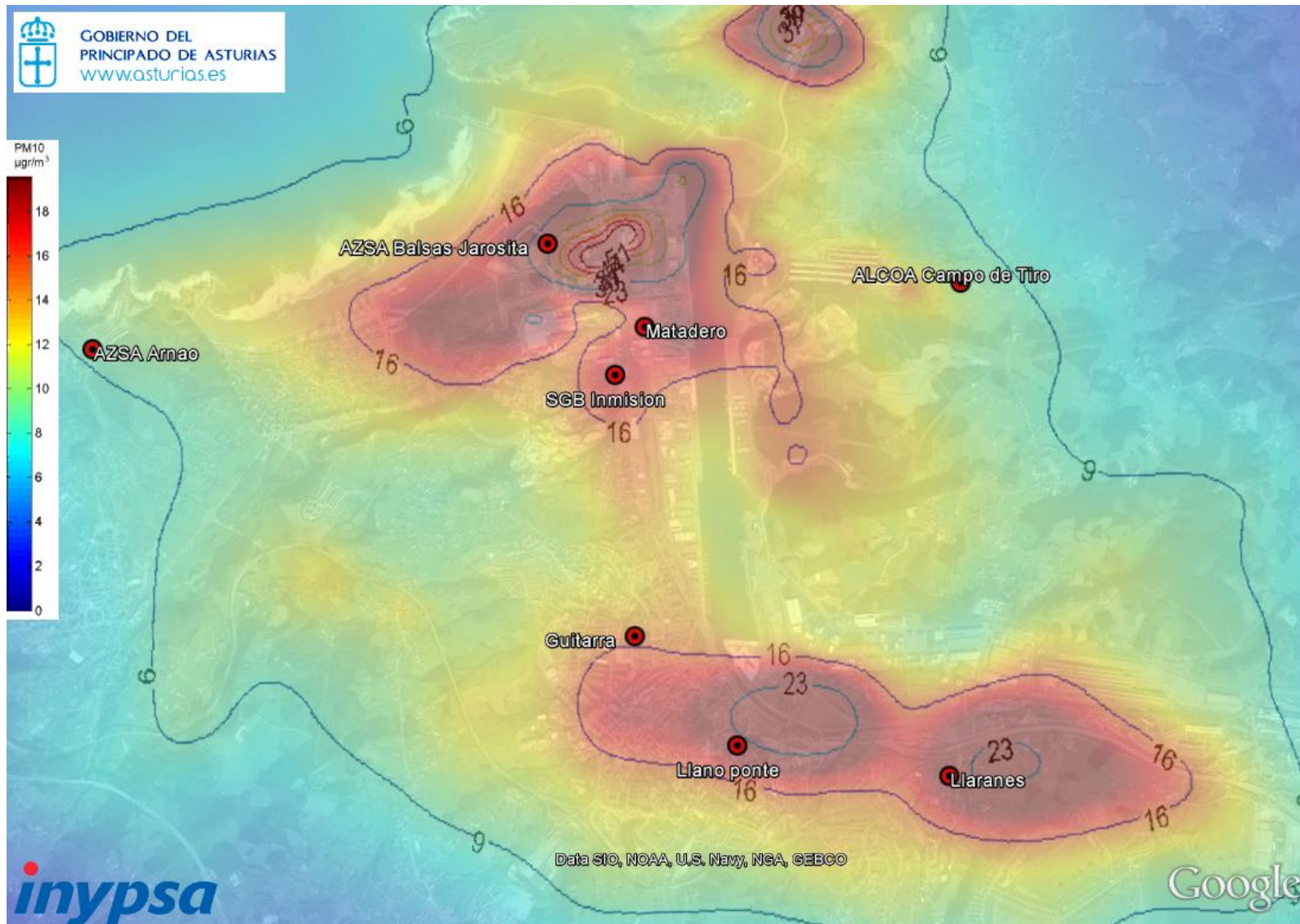


Figura 12. Curvas de Isoconcentración del Percentil 90.4 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Todos los sectores