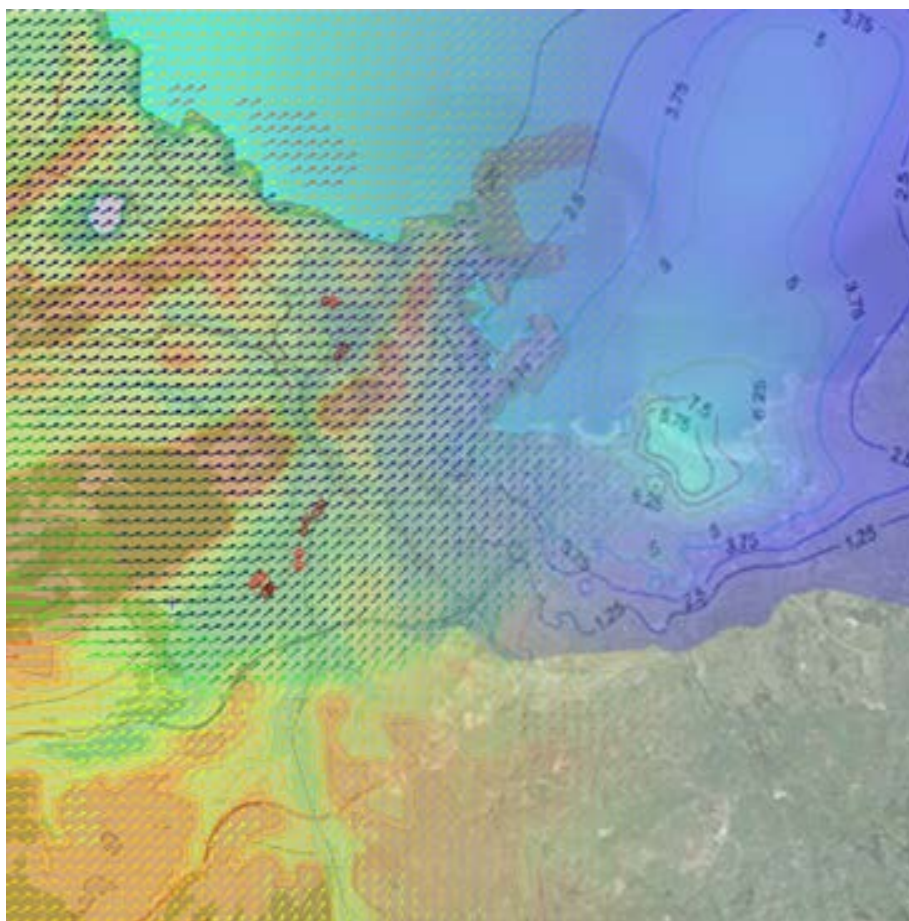


## **MODELIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR PARTÍCULAS PM10 EN LA AGLOMERACIÓN DE GIJÓN**



## Contenido

1.	<b>RESUMEN EJECUTIVO</b> .....	<b>1</b>
2.	<b>OBJETO DEL ESTUDIO Y METODOLOGÍA</b> .....	<b>6</b>
3.	<b>ÁMBITO DE 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 .....	22
4.5.1.	Emisiones Industriales .....	22
4.5.2.	Emisiones debidas al tráfico rodado urbano y autonómico y nacional.....	29
4.5.3.	Emisiones Portuarias .....	31
4.6.	ESTACIONES DE CALIDAD DEL AIRE – PUNTOS CONTROL .....	34
5.	<b>MODELIZACIÓN</b> .....	<b>35</b>
6.	<b>VALIDACIÓN DE LA MODELIZACION</b> .....	<b>36</b>
6.1.	EVALUACIÓN ESTADÍSTICA .....	36
6.2.	EVALUACIÓN A TRAVÉS DE GRÁFICOS.....	41
6.3.	CONCLUSIONES EN CUANTO A LA VALIDACIÓN .....	46
7.	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>48</b>
7.1.	CONTRIBUCIÓN POR SECTORES.....	48
7.1.1.	Contribución por sectores en el ámbito de estudio .....	48
7.1.2.	Contribución por sectores en el núcleo urbano de Gijón.....	62
7.1.3.	Contribución por sectores en los puntos de control .....	65
7.2.	CONTRIBUCIÓN POR FOCOS.....	72
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 de la Aglomeración de Gijón e identificación de los principales emisores de PM10 .....	7
Figura 2. Rosa de viento e histograma de las cuatro estaciones meteorológicas analizadas. Serie de datos del año 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, Razón 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 Tranqueru.....	17
Figura 12. Concordancia por cuantiles de valores de temperatura modelizada y observada en la estación de Tranqueru por estaciones.....	18
Figura 13. Serie anual y medias móviles de temperatura modelizada y observada en la estación de Tranqueru.....	19
Figura 14. Dispersión y concordancia por cuantiles de valores de velocidad de viento modelizada y observada en la estación de Tranqueru.....	20
Figura 15. Dispersión y concordancia por cuantiles de valores de dirección de viento modelizada y observada en la estación de Tranqueru.....	21
Figura 16. Focos industriales considerados en el ámbito de estudio .....	23
Figura 17. Fuentes difusas industriales en el ámbito de estudio.....	28
Figura 18. Fuentes de emisión del tráfico rodado del área de Gijón y de las carreteras autonómicas y nacionales en el ámbito de estudio junto con las estaciones de calidad del aire de referencia.....	30
Figura 19. Localización de las áreas principales de emisión de partículas en el Puerto de Gijón, muelles y vías principales.....	33

Figura 20. Ubicación de las estaciones de calidad del aire consideradas como puntos de control en el estudio de modelización .....	34
Figura 21. Diagramas de concordancia por cuantiles de los valores medios diarios de PM10 previstos por el modelo y los valores medidos en cada estación .....	40
Figura 22. Representación polar del viento modelizado horario vs concentración PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) calculada en el punto de control de Argentina en el año 2013 .....	42
Figura 23. Representación polar del viento medido horario vs la concentración PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) medida en la estación de Argentina en el año 2013.....	42
Figura 24. Representación polar del viento modelizado horario vs concentración calculada PM10 (normalizada) en el punto de control de Argentina en el año 2013.....	44
Figura 25. Representación polar del viento medido horario vs concentración medida PM10 normalizada en la estación de Argentina en el año 2013.....	44
Figura 26. Representación polar del viento modelizado horario vs concentración PM10 calculada y normalizada en el punto de control de Argentina en el año 2013 por estaciones del año.....	45
Figura 27. Representación polar del viento medido horario vs concentración PM10 medida y normalizada en la estación de Argentina en el año 2013 por estaciones del año.....	45
Figura 28. 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 .....	50
Figura 29. 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 .....	50
Figura 30. Niveles de isoconcentración de PM10 del Percentil 50 de los valores modelizados y ubicación de las estaciones de calidad del aire para todos los focos de emisión.....	52
Figura 31. Niveles de isoconcentración de PM10 del Percentil 90,4 de los valores modelizados y ubicación de las estaciones de calidad del aire para todos los focos de emisión.....	53
Figura 32. Curvas de porcentaje de contribución del sector industrial (focos puntuales). P50 .....	54
Figura 33. Curvas de porcentaje de contribución del sector industrial (focos puntuales). P90 .....	54
Figura 34. Curvas de porcentaje de contribución del sector industrial (fuentes difusas). P50 .....	55
Figura 35. Curvas de porcentaje de contribución del sector industrial (fuentes difusas). P90 .....	55
Figura 36. Curvas de porcentaje de contribución del sector portuario. P50.....	56
Figura 37. Curvas de porcentaje de contribución del sector portuario. P90.....	56
Figura 38. Curvas de porcentaje de contribución de las emisiones procedentes del tráfico urbano. P50 .....	57
Figura 39. Curvas de porcentaje de contribución emisiones procedentes del tráfico urbano. P90.....	57

Figura 40. Curvas de porcentaje de contribución emisiones procedentes del tráfico autonómico y nacional. P50 .....	58
Figura 41. Curvas de porcentaje de contribución emisiones procedentes del tráfico autonómico y nacional. P90 .....	58
Figura 42. Correlación entre niveles PM10 vs parámetro EUD/FV .....	60
Figura 43. Representación polar del viento modelizado horario vs concentración PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) obtenida en el punto de control de Argentina en el año 2013 distribuida en cuartiles de espesor de la capa límite .....	61
Figura 44. Representación gráfica de la distribución por sectores en el núcleo urbano de Gijón sobre valores medios diarios resultados del modelo. Media anual 24h .....	62
Figura 45. Curvas de porcentaje de contribución por sectores en el núcleo urbano de Gijón. P50.....	64
Figura 46. Resultados de modelo para 2013. Representación gráfica de la distribución por Sectores para “P90” y “P50” en los puntos de control.....	66
Figura 47. Representación sobre imagen de satélite de la distribución por sectores en la ubicación de las estaciones de calidad del aire. P50.....	70
Figura 48. Representación sobre imagen de satélite de la distribución por sectores en la ubicación de las estaciones de calidad del aire. P90.....	71
Figura 49. Contribución por empresa y por corte del percentil en cada punto de control. Considerando sólo el sector industrial.....	72
Figura 50. Contribución por empresa y por corte del percentil en cada punto de control. Considerando el conjunto de todos los sectores.....	75
Figura 51. Contribución por sectores y por focos en el punto de control de Argentina. P90 .....	75
Figura 52. Contribución por sectores y por focos en el punto de control de Tremañes. P90 .....	76
Figura 53. Contribución por sectores y por focos en el punto de control de Monteana. P90.....	76

## Listado de Tablas

Tabla 1. Parámetros estadísticos de concordancia del modelo meteorológico en la estación de Tranqueru.....	16
Tabla 2. Focos principales de EDP considerados en la modelización. Parámetros físicos .....	24
Tabla 3. Focos principales de Arcelor Mittal considerados en la modelización. Parámetros físicos ....	24
Tabla 4. Focos secundarios de Arcelor Mittal considerados en la modelización. Parámetros físicos y de emisión .....	25
Tabla 5. Focos principales de planta de Cementos Tudela Veguín considerados en la modelización. Parámetros físicos .....	25
Tabla 6. Focos secundarios de Tudela Veguín considerados en la modelización. Parámetros físicos y de emisión .....	25
Tabla 7. Muelles del Puerto de Gijón .....	31
Tabla 8. Estaciones de calidad del aire contrastadas con el modelo. Puntos de control .....	34
Tabla 9. Estadísticos principales de concordancia del modelo .....	36
Tabla 10. Indicadores de calidad utilizados en el modelo CALIOPE.....	40
Tabla 11. Porcentaje de contribución por sectores en el área de Gijón .....	62
Tabla 12. Resultados del 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.....	65
Tabla 13. Contribución por foco y por corte del percentil en cada punto de control. Considerando únicamente los focos industriales.....	74

## Anexos

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

## 1. RESUMEN EJECUTIVO

---

El área de Gijón ha incumplido el valor límite diario (VLD) de PM10 repetidamente en los últimos años. En concreto el incumplimiento del VLD se debió al número de superaciones registradas en la estación de Avenida de Argentina (código ES1271A) que, en concreto para el año 2013 -año de referencia del presente estudio- se superó en 41 días. El *Plan Mejora de la Calidad del aire en la Zona de aglomeración de Gijón*, publicado en el BOPA nº 210, de 10/09/2014, tiene como objetivo reducir la contaminación respecto a las partículas PM10 en la aglomeración de Gijón. 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 la Aglomeración de Gijón 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	Difusas
EDP - Central Térmica de Aboño	Grupo 1		Parque de Carbones
	Grupo 2		Tráfico de vehículos
	Sinter A primario	Convertidor 1	Parque de Carbones y Parque de Minerales
	Sinter A secundario	Convertidor 2	Tráfico de vehículos
Arcelor Mittal	Sinter B primario	Baterías 1	
	Sinter B secundario	Baterías 2	
	Carbón Inyección A		
	Carbón Inyección B		
	Carbón Inyección C		
Cementos Tudela Veguín	Horno de Clíinker 4	Enfriador Horno 4	Almacenamientos de coque de petróleo
			Escorias siderúrgicas, Minerales de Fe
			Tráfico de vehículos

- Tráfico rodado en vías urbanas: Se ha considerado una malla de emisores cada 500m para cubrir la totalidad del núcleo urbano de Gijón.
- Tráfico rodado autonómico y nacional: Se ha considerado una secuencia de emisores cada 200m 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 de la explanada de Aboño y el muelle de Marcelino León.

#### Muelles Puerto de Gijón

Espigón II	Muelle Norte
Ingeniero Moliner	Ribera 2
Ingeniero Olano	Marcelino León
La osa 9	Explanada Aboño



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 las horas de mayor contaminación, el área donde su contribución es superior al resto de sectores, aumenta.
- Por otro lado, la zona del ámbito de estudio donde las emisiones debidas al tráfico urbano es predominante en los niveles de contaminación de partículas es aquella correspondiente a la zona este de núcleo urbano de Gijón ya que, fundamentalmente, se trata de la zona urbana más alejada de las fuentes industriales.
- La escasa dispersión de las emisiones difusas debidas a los movimientos de materiales y erosión de viento en los parques de almacenamiento de las industrias así como del puerto de Gijón, implica que sean éstas las que más contribución tienen en las cercanías de dichas fuentes sobre los niveles de PM10 calculados. Además son las que provocan los niveles absolutos más altos del estudio (hasta  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el P50 y  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el P90.4), siempre en su entorno más cercano.
- Respecto a los puntos de control, se observa que los correspondientes a la estación de Argentina y Hermanos Felgueroso poseen un valor para el percentil 50 de las concentraciones medias diarias modelizadas de PM10 entre  $10\text{-}15\mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que para el resto de puntos de control este valor se sitúa entre  $5\text{-}10\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En el caso de los valores del percentil 90.4, todos los puntos de control pasan a estar comprendidos entre los niveles de  $20$  a  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  excepto Montevil que se encuentra por debajo de los  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y Monteana en torno a los  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- Al reducir el ámbito a la zona concreta del núcleo urbano de Gijón, se observa que la contaminación por PM10 recibida (valor medio anual de inmisión) procede principalmente del tráfico, en concreto al tráfico urbano (55%) y en menor medida al tráfico autonómico y nacional (9%). En segundo lugar, destaca la procedencia de emisiones de PM10 del sector industrial, que en total supone el 33% del valor medio anual calculado. En concreto, el 4% se debe a emisiones difusas de los parques de almacenamiento. La actividad Portuaria también aporta, aunque levemente, llegando a un 2% sobre el valor medio anual.
- Respecto a la contribución en los puntos de control Argentina, Montevil, Tremañes y Monteana, el sector que más incidencia tiene en los valores modelizados de PM10 es el industrial, seguido del tráfico urbano, el tráfico autonómico y nacional y en último lugar la actividad del Puerto de Gijón. En cambio, en Constitución, Avenida de Castilla y Hermanos Felgueroso, se observa una mayor contribución procedente de las emisiones del tráfico urbano, seguido del sector industrial, el tráfico autonómico y nacional y el sector portuario.
- En general, al comparar la distribución obtenida considerando P90 / P50 en todos los puntos de control, excepto en Hermanos Felgueroso, se observa un aumento de la contribución del

sector industrial, lo que indica una relación positiva entre los valores más altos obtenidos y las emisiones procedentes de los focos industriales.

En concreto, en Argentina, durante los 35 días de mayor concentración de PM10, se incrementa la contribución del sector industrial en 4% debido a focos puntuales, 1% debido a fuentes difusas y otro 1% debido a las fuentes difusas portuarias.

En cuanto a la contribución por focos industriales se puede concluir que:

- Arcelor Mittal es la empresa que más contribuye a los valores de PM10 procedentes del sector industrial a tenor de los resultados modelizados en todos puntos de control, con una contribución media en torno al 82%, seguido de EDP con un 14% y finalmente Cementos Tudela Veguín con el 4%.
- Los focos que destacan por su contribución en los niveles de PM10 calculados en todos los puntos de control sobre el resto de focos son “Sinter 1 primario”, “Sinter 2 primario” y los “convertidores 1 y 2” de Arcelor Mittal y el “Grupo 1” de EDP, destacando éste último sólo en aquellos puntos de control ubicados dentro de la zona urbana de Gijón.

## 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 la Aglomeración de Gijón 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. 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 DE ESTUDIO

El ámbito de estudio engloba un dominio de 14x14 km centrado en la estación de calidad del aire de Avenida de Argentina de la red del Principado de Asturias.

La estación de Av. Argentina es de tipo urbana de tráfico. Esta estación está próxima a los focos industriales más importantes del municipio: al suroeste la planta siderúrgica de ArcelorMittal (que cuenta con almacenamientos de minerales, baterías de coque recientemente cerradas, plantas de sinterización, dos altos hornos y una acería); al sur, diversos polígonos industriales y vías de intenso tráfico; a unos 800 metros al norte se encuentra el puerto de Gijón (con elevado tráfico de graneles, principalmente de carbón y mineral de hierro); y al noroeste las instalaciones industriales situadas en la ría de Aboño, con una central térmica, una planta cementera y un gran parque de carbones.

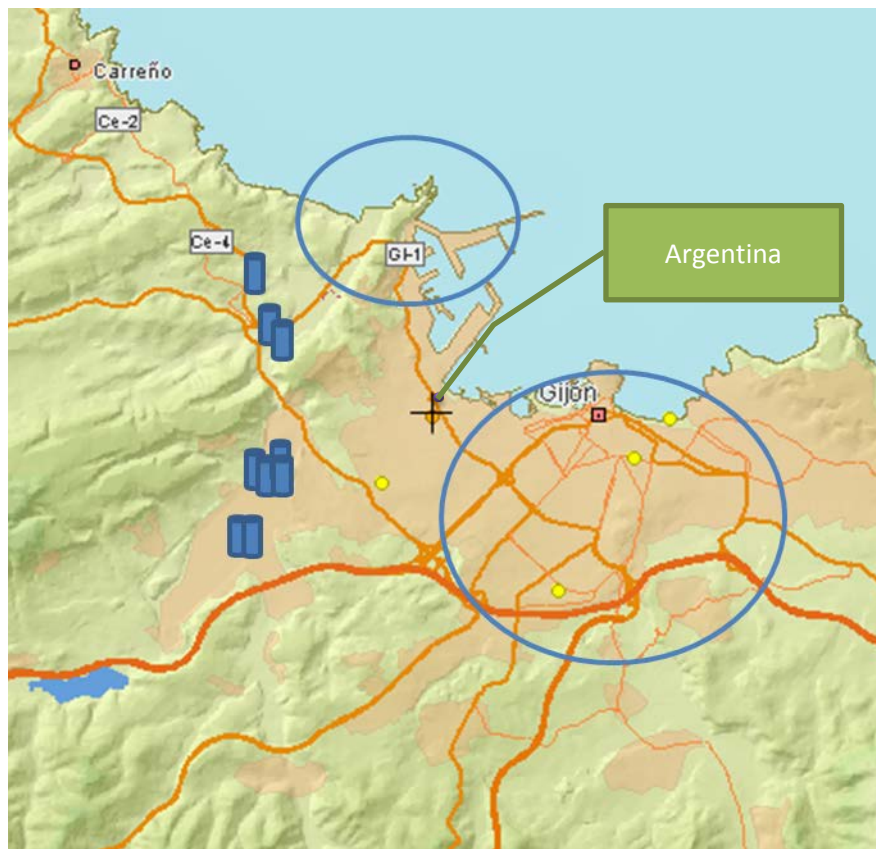


Figura 1. Ámbito de estudio de la modelización de la Aglomeración de Gijón e identificación de los principales emisores de PM10

## 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

---

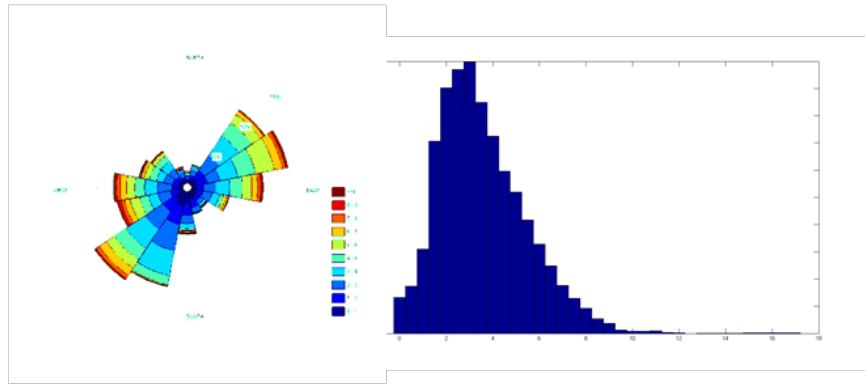
Tras realizar una auditoría de la calidad de los datos meteorológicos disponibles en la zona de estudio de la Aglomeración de Gijón, se ha seleccionado la serie de datos de la estación de Tranqueru (propiedad de EDP) ya que es aquella que ofrece mayor fiabilidad y representatividad para su posterior 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 2013 de las cuatro estaciones que se han evaluado para su posible inclusión en el modelo de dispersión.

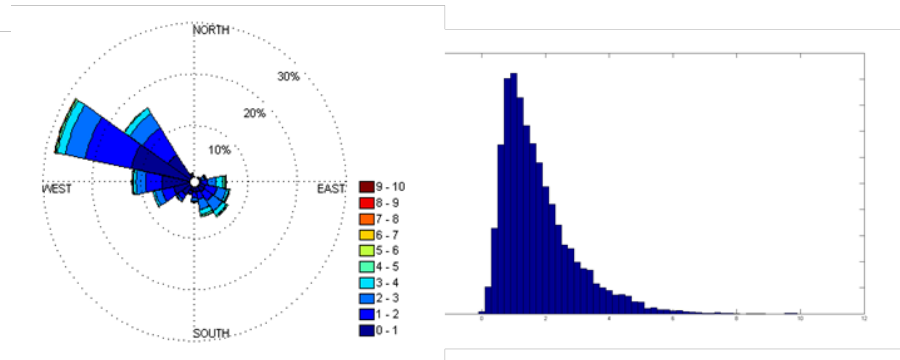
Como puede observarse en la rosa de vientos de la estación de Avenida de Constitución prácticamente la totalidad de los datos que registra son situaciones de calma ( $v < 0,5 \text{ m/s}$ ) y dirección de viento Norte. Del mismo modo, a la vista de la rosa de vientos de la estación de Montevil un elevado porcentaje de los datos de velocidad de viento registrados son calmas y no se registra ninguna dirección de viento de Norte al igual que la estación de Monteana que si bien registra valores más altos de velocidades de viento tampoco posee ninguna dirección Norte. Se considera que los datos de estas tres estaciones no poseen suficiente calidad por lo que no se ha utilizado ninguna de ellas para complementar al modelo de diagnóstico meteorológico.

Por su parte, la estación de Tranqueru posee una serie anual de 2013 completa en la que los cambios horarios de dirección son suaves y las velocidades de viento están dentro del orden de magnitud esperable por lo que finalmente ha sido la única que se ha empleado para realizar la modelización.

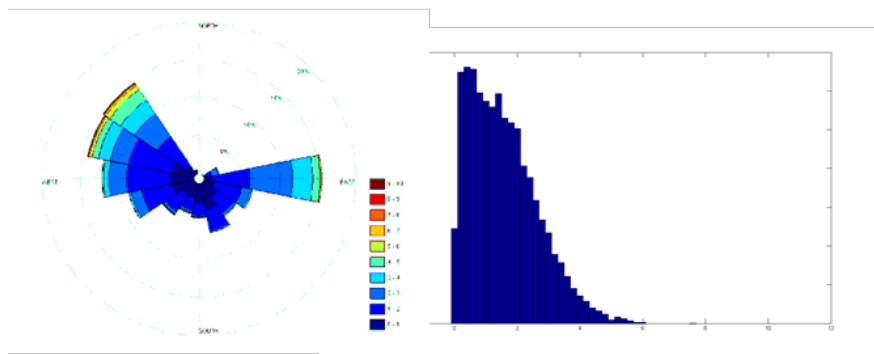
### Tranqueru -2013



### Montevil -2013



### Montana -2013



### Av. Constitución -2013

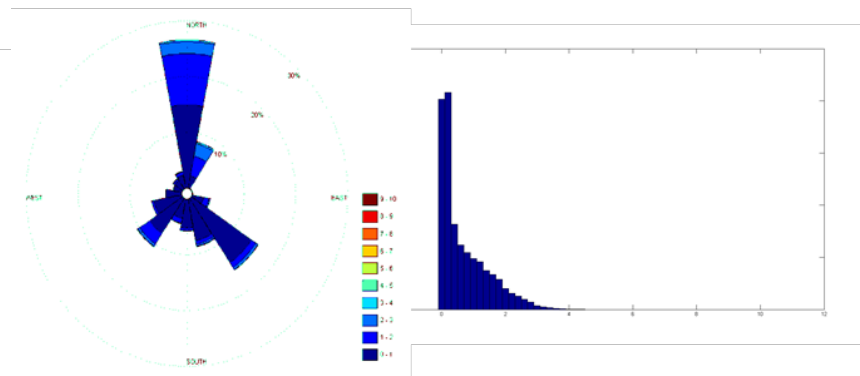


Figura 2. Rosa de viento e histograma de las cuatro estaciones meteorológicas analizadas. Serie de datos del año 2013

## 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).

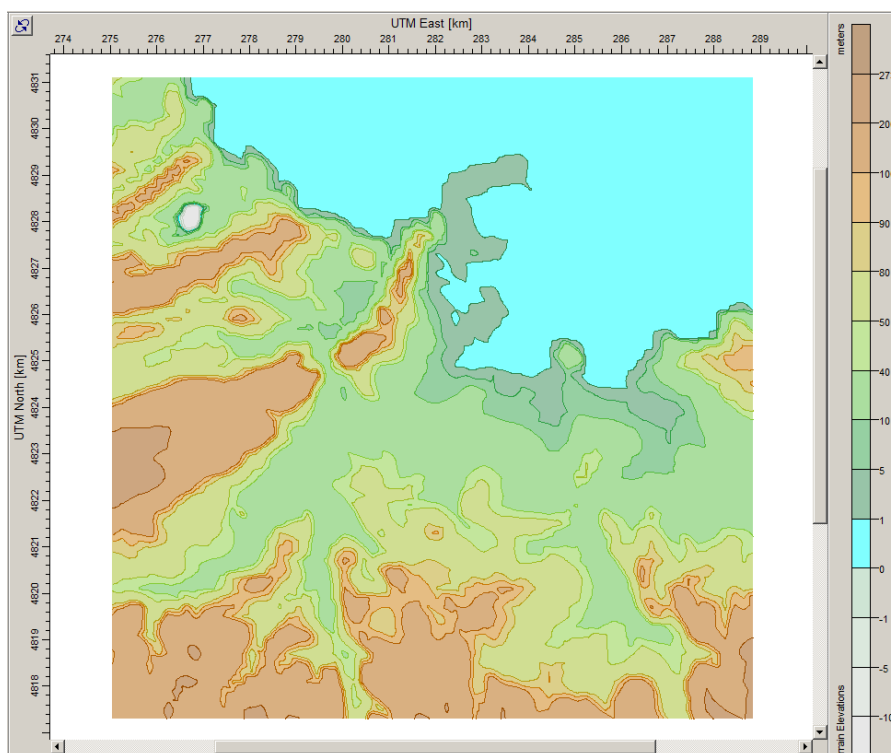


Figura 3. Modelo Digital del Terreno del ámbito de estudio



### 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.

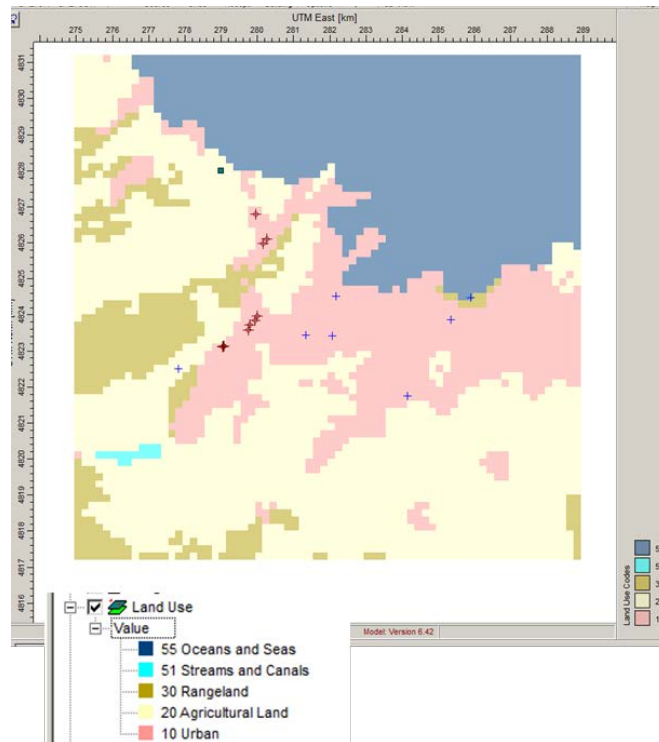


Figura 4. Usos del suelo (CORINE Land Cover) del ámbito de estudio

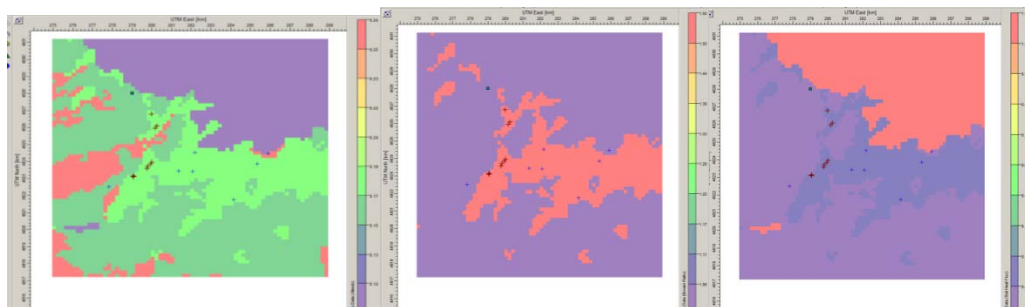


Figura 5. Albedo, Razón de Bowen y Flujo de calor al suelo de acuerdo con los usos del suelo categorizados en el ámbito de estudio

#### 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 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.

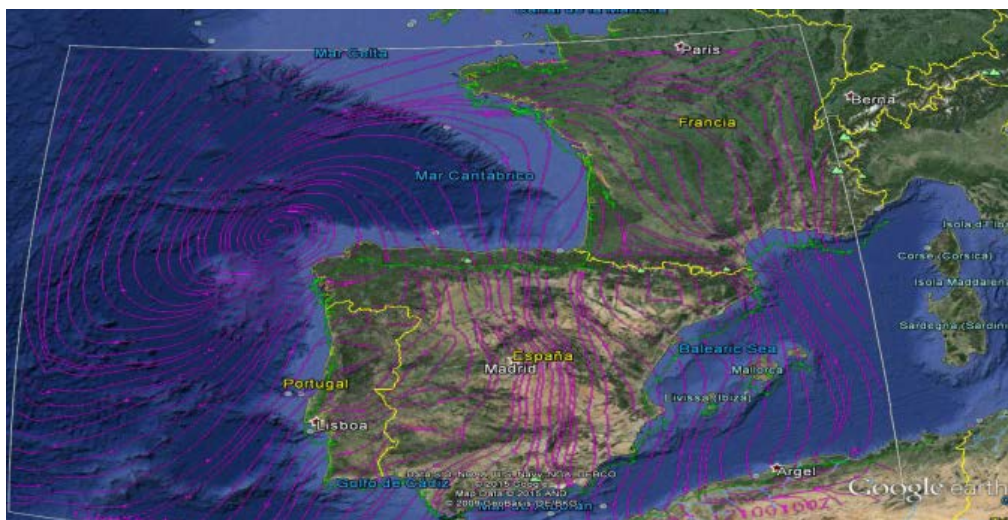


Figura 7. Líneas de corriente de viento superficial en D-1





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

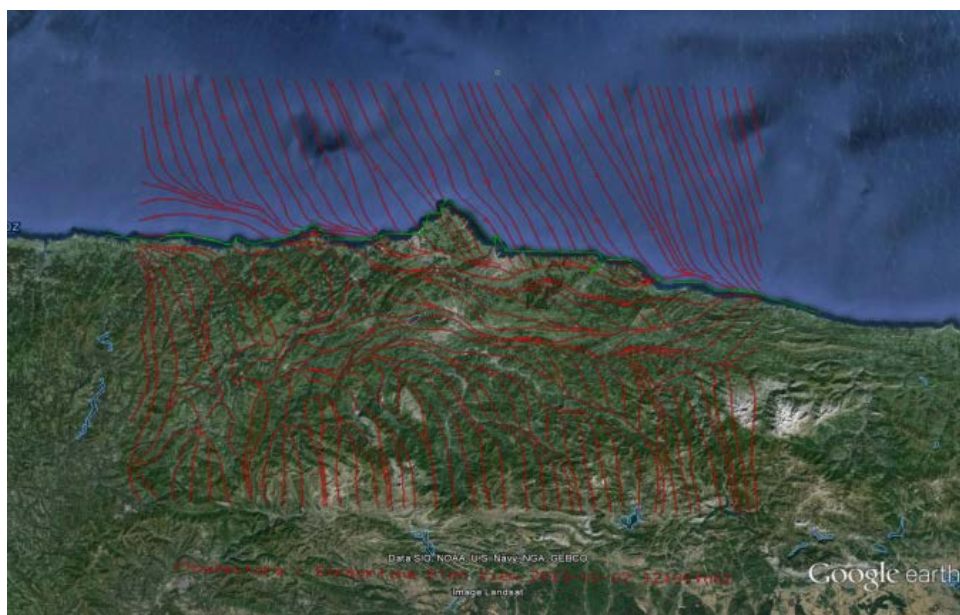


Figura 9. Líneas de corriente de viento superficial en D-3.

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).

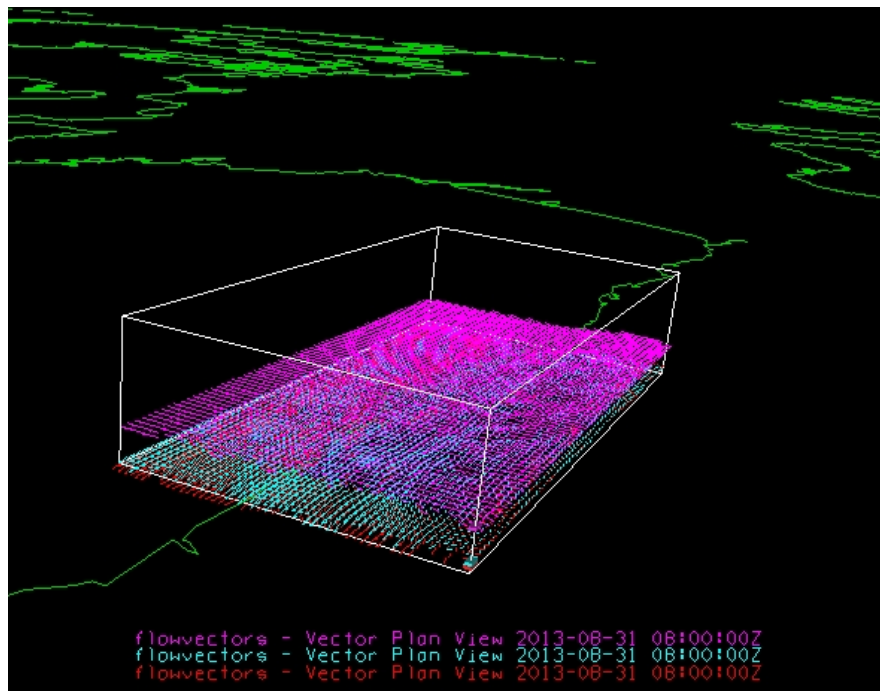


Figura 10. Representación tridimensional de vectores de viento en 3 niveles de altura dentro del dominio D-3 correspondientes a las 8:00 del día 31/08/2013

#### 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 Tranqueru por considerar que tiene una mayor completitud de datos.

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

	Temperatura	Velocidad	Dirección
<b>Número de muestras</b>	8422	8042	8042
<b>Sesgo medio</b>	-0,44 °C	0,75 m/s (*)	0,98 °
<b>Sesgo medio normalizado</b>	-0,03 °C	0,20 m/s	0,01 °
<b>RMSE. Error cuadrático medio</b>	2,28 °C	2,08 m/s	91,48 °
<b>r de Pearson</b>	0,87	0,63	0,54
<b>IOA (*)</b>	0,76	-0,46	0,65

(\*) 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 Tranqueru. De esta manera se puede apreciar gráficamente el grado bondad del modelo a través de la concordancia de observaciones y predicciones.

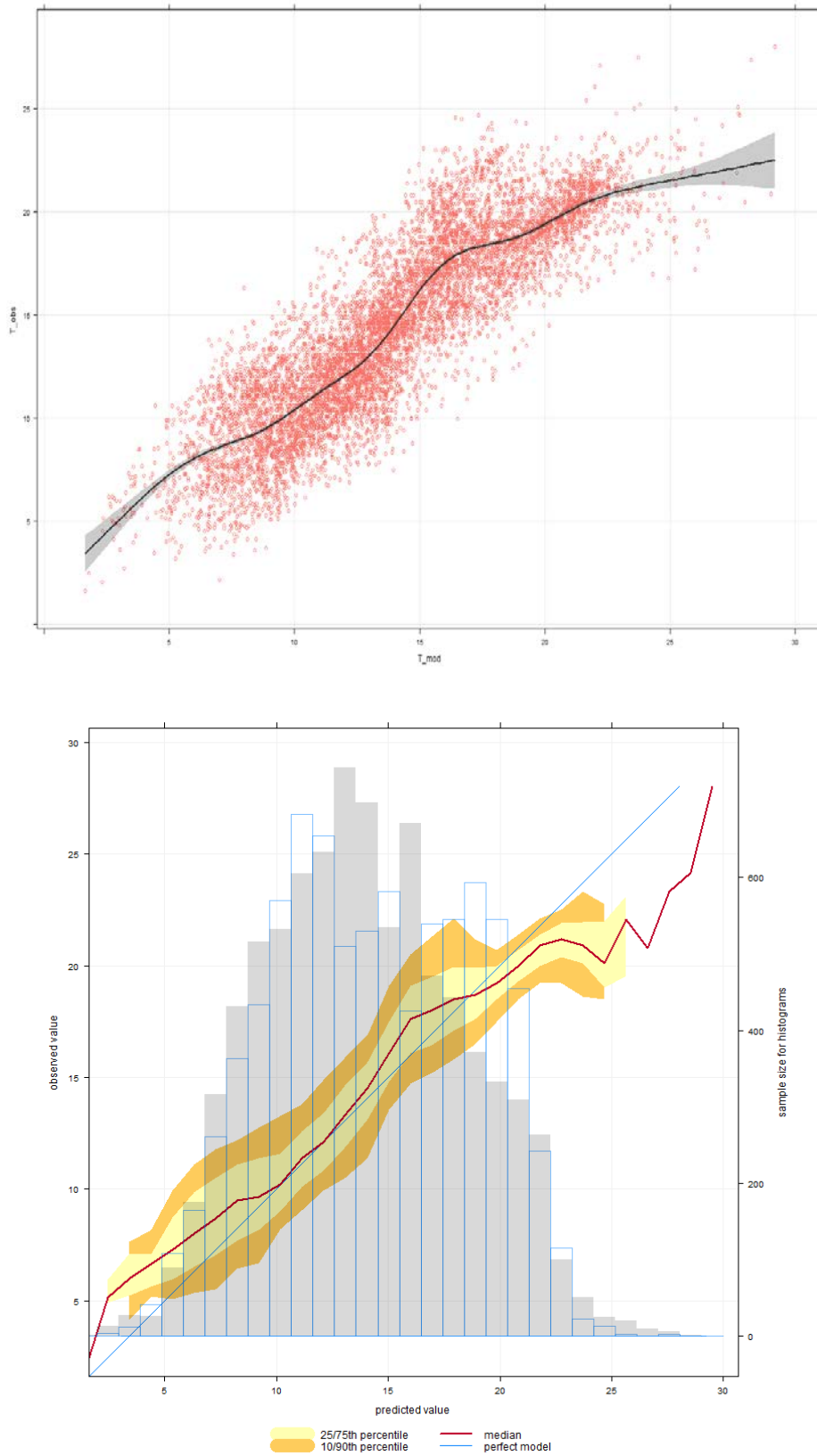


Figura 11. Dispersión y concordancia por cuantiles de valores de temperatura modelizada y observada en la estación de Tranqueru

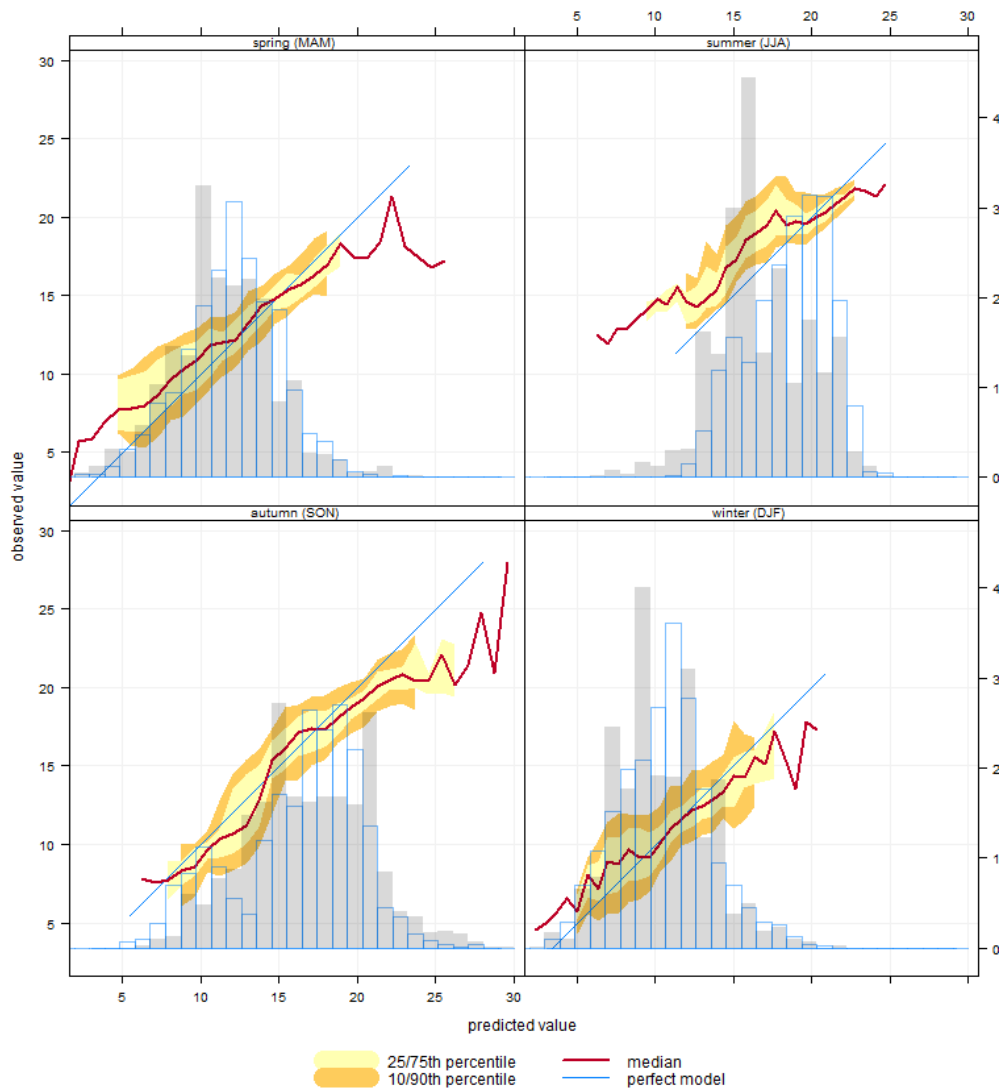


Figura 12. Concordancia por cuantiles de valores de temperatura modelizada y observada en la estación de Tranqueru por estaciones



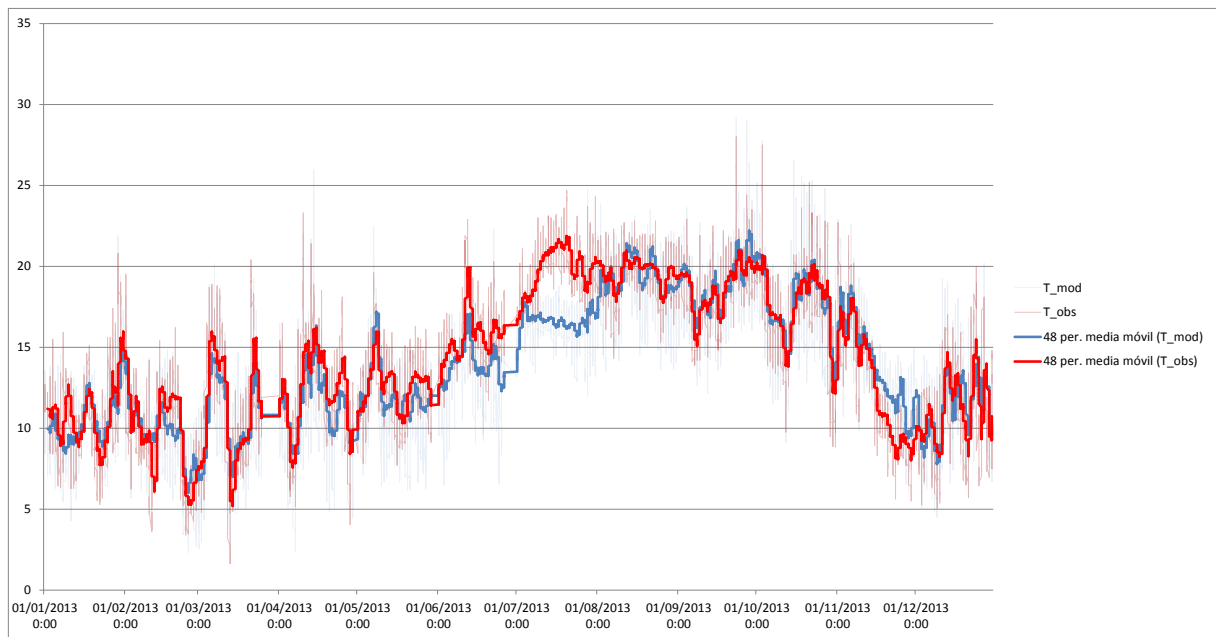


Figura 13. Serie anual y medias móviles de temperatura modelizada y observada en la estación de Tranqueru

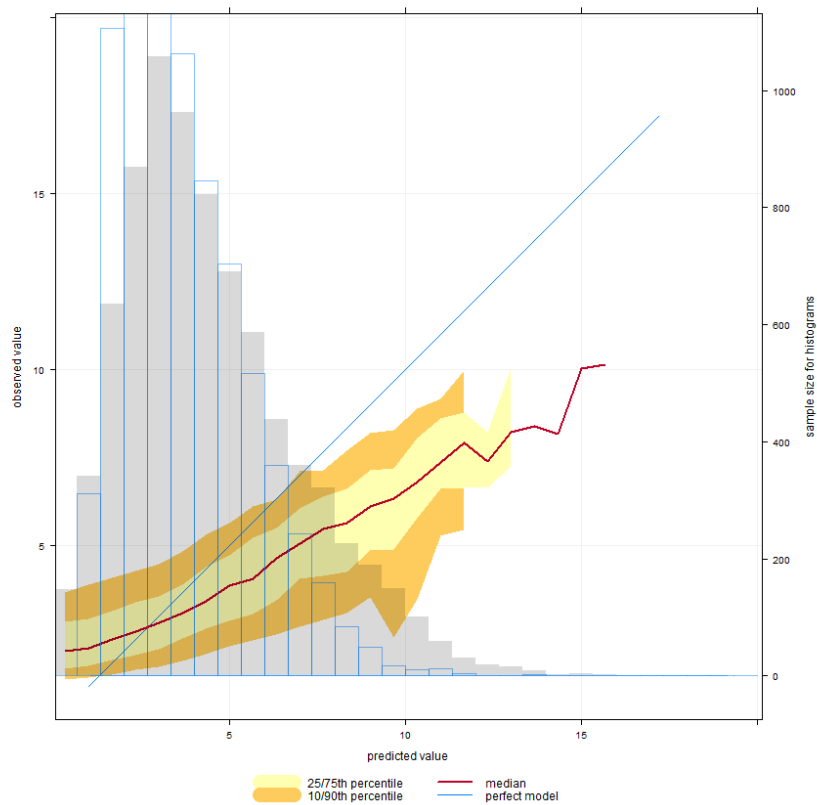
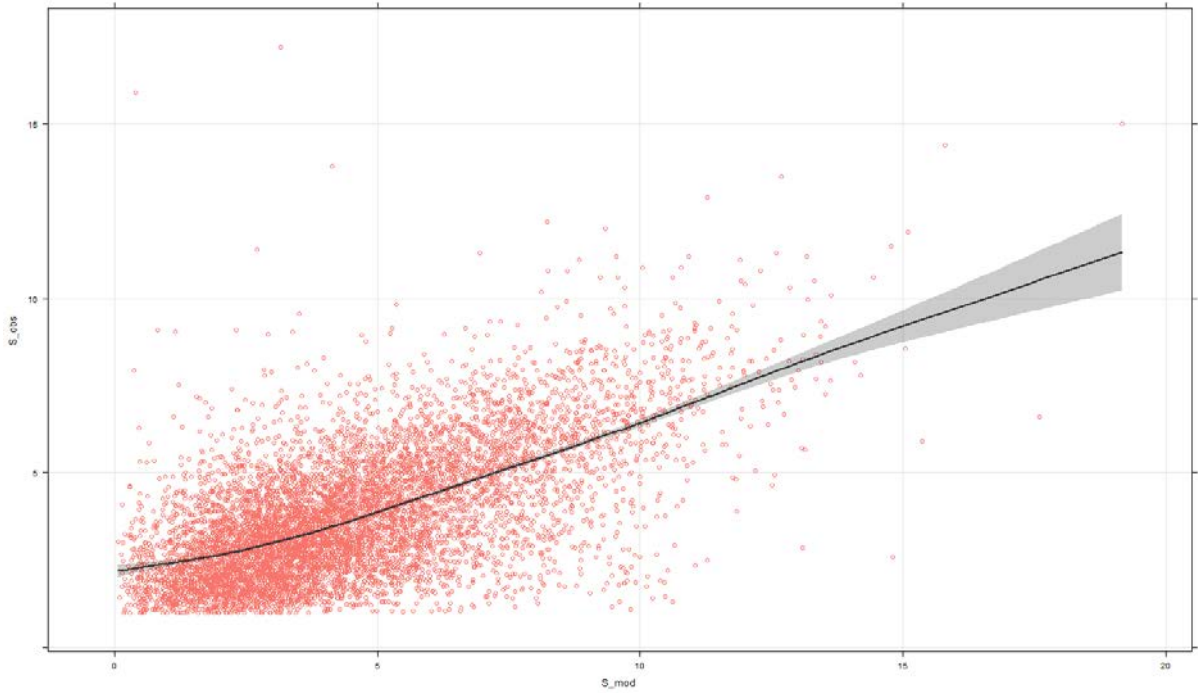


Figura 14. Dispersión y concordancia por cuantiles de valores de velocidad de viento modelizada y observada en la estación de Tranqueru

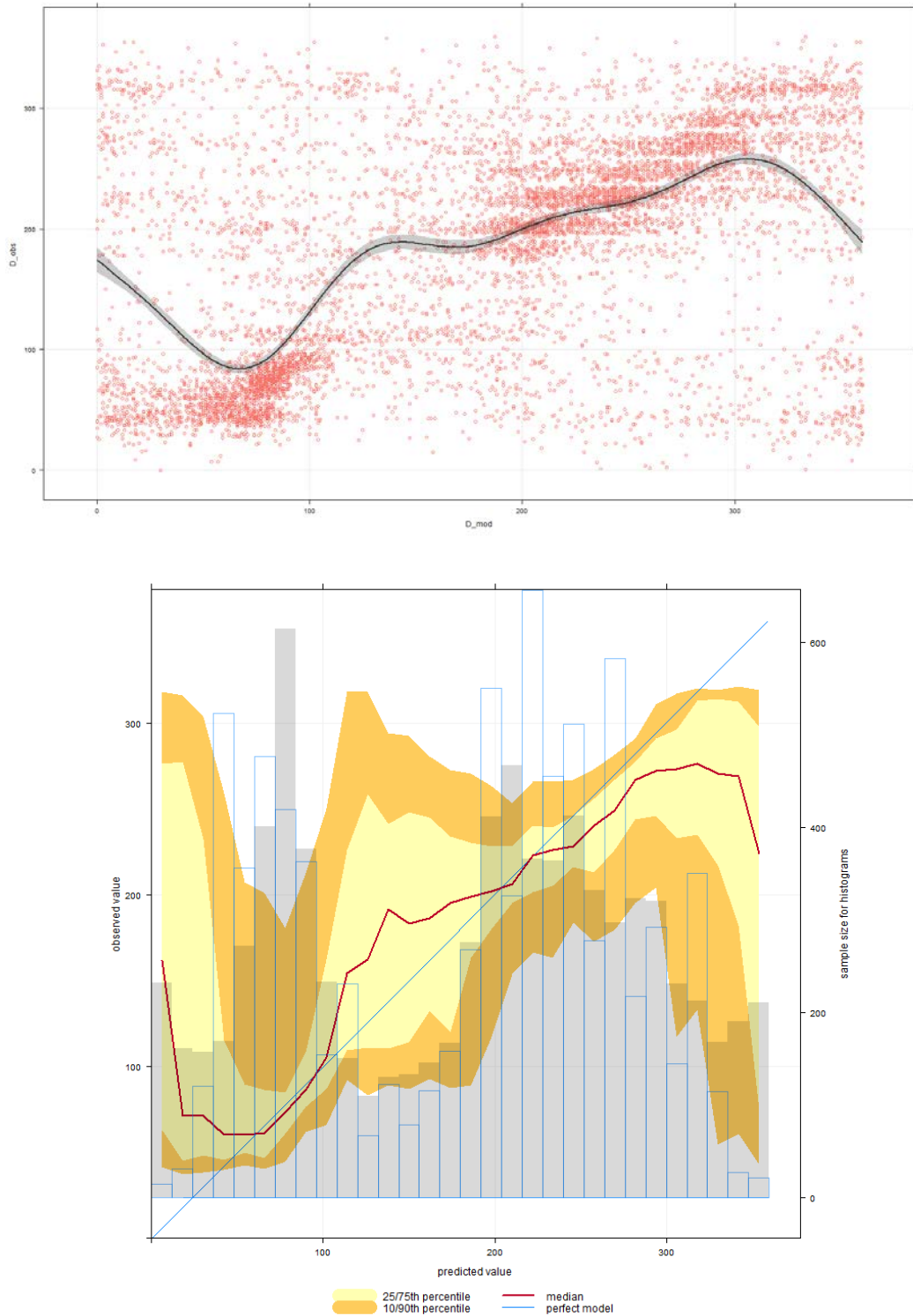


Figura 15. Dispersión y concordancia por cuantiles de valores de dirección de viento modelizada y observada en la estación de Tranqueru

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 +0,75 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 o menos favorables en cuanto a la capacidad de predicción, algún problema del equipo 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, las cuales 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 que se han tenido en cuenta en la modelización. Se han considerado emisiones procedentes de industrias, del tráfico urbano de Gijón, del tráfico autonómico y nacional y las emisiones portuarias.

##### 4.5.1. Emisiones Industriales

En concreto en el ámbito de estudio, el 99,3% de las emisiones confinadas de partículas se encuentran representadas por las siguientes tres empresas; Arcelor Mittal (Industria metalúrgica), EDP (Central Térmica de Aboño) y Tudela Veguín (Industria cementera). Todas ellas poseen focos puntuales principales, es decir, chimeneas que poseen equipos de medición en continuo de las emisiones de distintos contaminantes y otros focos secundarios que si bien no miden en continuo, se han incluido en la modelización con un valor constante anual de emisión de partículas con el fin de partir del dato más cercano a la realidad posible.

Además de los focos puntuales, todas estas empresas disponen de uno o varios parques de acopio de materiales que están provocando emisiones de partículas difusas, bien por los movimientos de

materiales dentro de cada parque, por la erosión provocada por el viento o bien por la circulación interna de vehículos que está generando resuspensión de las partículas en el aire o su propia emisión por el tubo de escape y por el desgaste de los neumáticos.

#### 4.5.1.1. Focos Puntuales:

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, y sólo algunos también dispone de datos de caudal y temperatura de los gases con esta 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.

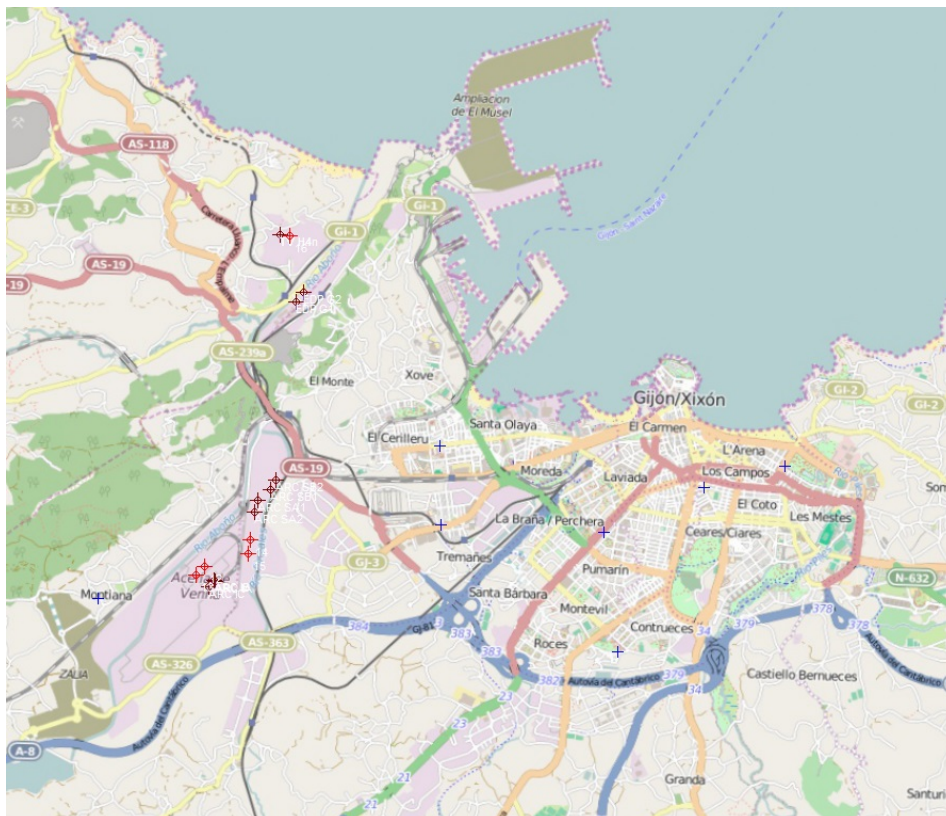


Figura 16. Focos industriales considerados en el ámbito de estudio

## 1. EDP - Central Térmica de Aboño

La Central Térmica de Aboño, propiedad de EDP, cuenta con dos chimeneas principales correspondientes al grupo 1 y 2 que disponen de equipos de medición en continuo de la concentración de partículas con resolución horaria. También se dispone de la serie horaria completa para el año 2013 del caudal y la temperatura de salida de los gases por chimenea.

La Tabla 2 reúne los parámetros físicos de los focos principales de la Central Térmica de Aboño para los cuales se dispone de medidas en continuo.

Tabla 2. Focos principales de EDP considerados en la modelización. Parámetros físicos

Nombre Foco	UTM X	UTM Y	Altura	Diámetro	Cota del terreno
Grupo 1'	280.152	4.825.971	175	4,8	6,94
Grupo 2'	280.252	4.826.097	225	6,2	5,51

## 2. Arcelor Mittal

La empresa Arcelor Mittal cuenta en el Área de Gijón con 7 focos principales que disponen de medición en continuo de la concentración de partículas con una resolución horaria, de medidas del caudal de salida de gases con resolución mensual y de una temperatura media anual para cada uno de ellos. Además, dispone de otros 4 focos secundarios que destacan por sus emisiones significativas de partículas declaradas en el PRTR (2013) y por ello se han incluido en la presente modelización.

La Tabla 3 reúne los parámetros físicos de los focos principales mientras que la Tabla 4 recoge tanto los parámetros físicos como los de emisión de PM10.

Tabla 3. Focos principales de Arcelor Mittal considerados en la modelización. Parámetros físicos

Nombre Foco	UTM X	UTM Y	Altura	Diámetro	Cota del terreno
Sinter A primario'	279.785	4.823.724	99,5	4,8	14,83
Sinter A secundario'	279.742	4.823.577	50	2,8	15,96
Sinter B primario'	279.941	4.823.851	79,8	5,5	14,99
Sinter B secundario'	280.004	4.823.970	32,7	3,5	13,04
Carbón de Inyec A	279.072	4.823.132	57	0,9	21,61
Carbón de Inyec B	279.065	4.823.140	57	0,9	21,89
Carbón de Inyec C	279.043	4.823.104	53,4	1,2	21,41

Tabla 4. Focos secundarios de Arcelor Mittal considerados en la modelización. Parámetros físicos y de emisión

	UTM X	UTM Y	Altura [m]	Diámetro [m]	Velocidad [m/s]	Temp [K]	Tasa de PM10 g/s
<b>Convertidor 1</b>	279.255,7	4.822.658	72	1,8	10,2	343	2,6
<b>Convertidor 2</b>	279.224,2	4.822.628	72	1,8	7,2	343	1,9
<b>Baterías 1</b>	279.684,8	4.823.236	127,5	3,6	5,7	453	2
<b>Baterías 2</b>	279.668,8	4.823.058	129,6	3,6	5,7	459	2

\* Las baterías de cok 1 y2 dejaron de operar a partir de octubre de 2013. Tal circunstancia se ha tenido en cuenta en el estudio.

### 3. Cementos Tudela Veguín

La fábrica de cementos de Aboño, propiedad de Tudela Veguín S.A., posee, de acuerdo a los focos notificados en el PRTR de 2013, de dos focos que destacan por su emisión anual de partículas, el Horno 4 y el enfriador H4.

El Horno 4 dispone de un sistema de medición en continuo de la concentración de los contaminantes emitidos, entre ellos partículas. El dato de caudal y temperatura de salida de los gases considerado para este foco ha sido un valor anual medio.

La concentración de partículas emitidas por el enfriador H4 (foco secundario) así como su caudal de salida de gases y la temperatura de los mismos proceden de las medidas realizadas por un organismo de control autorizado tomadas con la frecuencia que se establece en la Autorización Ambiental Integrada.

Las Tabla 5 y 8 recogen los parámetros físicos del foco Horno 4 y los parámetros físicos y de emisión del Enfriador H4 considerados en el estudio.

Tabla 5. Focos principales de planta de Cementos Tudela Veguín considerados en la modelización. Parámetros físicos

Foco	UTM X	UTM Y	Altura	Diámetro	Cota del terreno
<b>Horno de Clíinker 4</b>	279.964	4.826.797	51,7	2,7	18,87

Tabla 6. Focos secundarios de Tudela Veguín considerados en la modelización. Parámetros físicos y de emisión

Foco	UTM X	UTM Y	Altura [m]	Diámetro [m]	Velocidad [m/s]	Temp [K]	Tasa de PM10 g/s
<b>Enfriador H4</b>	280.083	4.826.787	22,75	2,2	20,2	502	1



#### 4.5.1.2. *Difusas Industriales:*

Las emisiones difusas industriales son aquellas que se generan como consecuencia del almacenamiento, transporte y manipulación de materiales debidas a los movimientos de materiales dentro de los parques de acopio de las industrias.

En las operaciones efectuadas en los parques de materiales de las tres empresas representativas de las emisiones de partículas del área de Gijón, dedicadas al almacenamiento y el suministro adecuado de material o combustible a la empresa a la que pertenecen, se producen emisiones difusas de partículas. Las operaciones que se identifican como fuente potencial de estas emisiones son:

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

El efecto de las condiciones atmosféricas sobre apilamientos de material particulado provoca que el polvo se movilice 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.

Una norma que tiene en cuenta estos factores es la EPA AP42 sección 13.2.5 la cual se ha empleado en el presente estudio, para calcular las emisiones debidas a la erosión del viento, tanto de apilamientos de materiales de industrias como aquellos que se encuentran en El Musel.

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.**

El aporte de carbón/mineral de hierro/caliza/yeso al parque de cada empresa, su apilamiento, manipulación y la recogida para su molienda son operaciones que, en función del grado de humedad y el viento dominante, provocan emisiones de partículas.

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 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 cada parque de materiales.

- **Resuspensión de partículas en viales.**

El tráfico de camiones que circula por los viales de los parques provoca levantamiento de material pulverulento.

Según el documento AP-42 de la EPA, (USEPA, 2011) la emisión de partículas, ya sea en viales de tráfico rodado normal como en viales de zonas industriales, pavimentadas o sin pavimentar, depende del número de vehículos por kilómetro recorrido y el peso de los mismos, así como de la cantidad de partículas finas que se encuentran depositadas sobre el pavimento. En este último caso, al no existir

datos, se ha optado por utilizar el valor medio recomendado por la EPA para zonas pavimentadas ( $9,7 \text{ g/m}^2$ , Sección 13.2.1) y para zonas no pavimentadas (7,1%, Sección 13.2.2), los cuales se han elegido con un criterio conservador.

La Figura 17 muestra las superficies industriales donde se generan las emisiones difusas debidas a las operaciones anteriormente descritas.

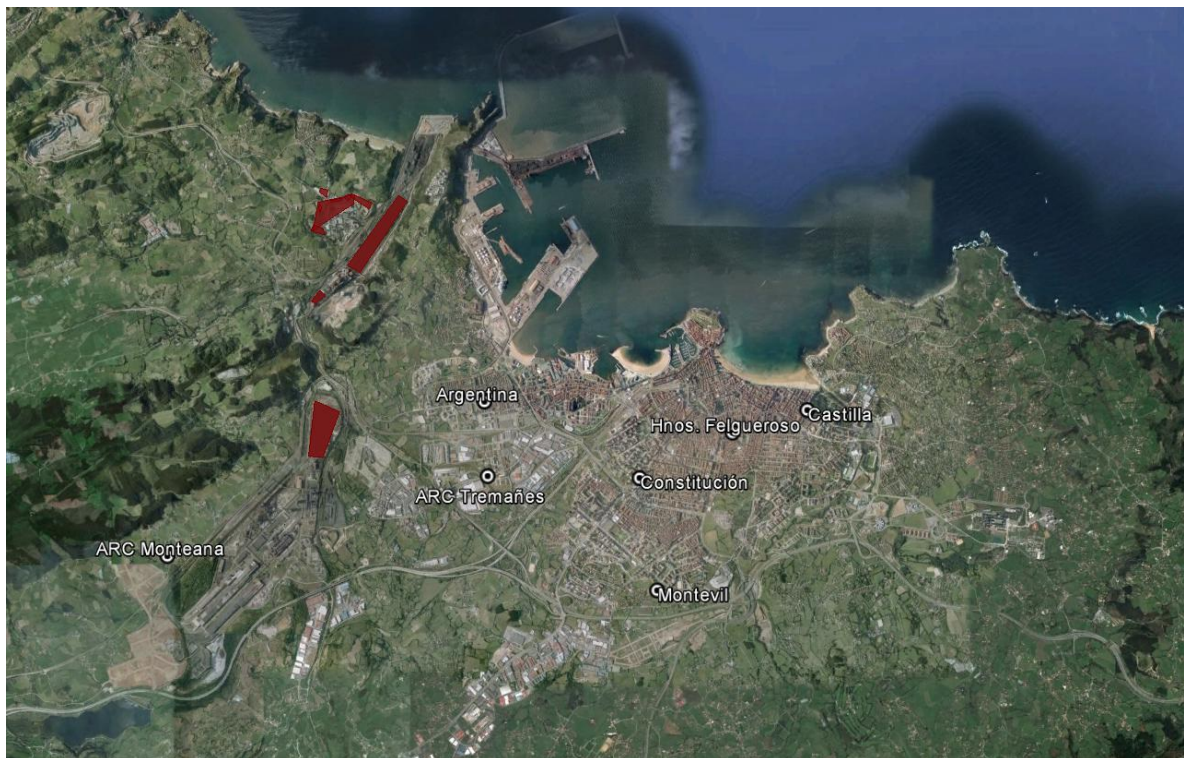


Figura 17. Fuentes difusas industriales en el ámbito de estudio

### 1. EDP - Central Térmica de Aboño

El almacenamiento del combustible principal en la Central Térmica de Aboño se distribuye entre dos parques de carbón:

- El Parque de carbón diario se localiza al oeste de las instalaciones de la Central con una capacidad aproximada de almacenamiento de 100.000 tm dotado de una rotopala reversible que puede almacenar o recoger. Existen tolvas de descarga para camiones y para trenes, con la versatilidad de poder ser apilado o llevado a tolvas de almacenamiento intermedio.
- Parque de carbones de la cantera, se localiza al sur de las instalaciones, al oeste del gasómetro Mann. Es utilizado como reserva estratégica y tiene una capacidad de 500.000 tm. No cuenta con cintas transportadoras en comunicación con el Sistema de la Central, y todos los movimientos de mineral se realizan mediante pala, tractor bulldócer y camiones.

Además, se dispone de una serie anual con resolución horaria de cantidad de material que llega por ferrocarril y por vehículos pesados a la central.

## 2. Arcelor Mittal

La empresa Arcelor Mittal cuenta con dos parques de almacenamiento de sus materiales:

- El Parque de Carbones de Aboño, el cual se localiza al este de la ría de Aboño en el concejo de Carreño, justo al norte de la CT Aboño. La actividad que realizan en el parque consiste en la preparación del carbón (almacenamiento y homogeneización) como fase preliminar del proceso siderúrgico. Se trabaja con cintas transportadoras principalmente. En él se tratan tres tipos de carbones con una humedad del 8% y el firme se encuentra sin pavimentar. Se dispone de las toneladas de carbón que circula por el parque en el año 2013.
- El Parque de minerales se ubica en el suroeste del término municipal de Gijón, al norte de la propia Planta de Arcelor Mittal. La actividad del parque de minerales consiste en el almacenamiento y homogeneización de minerales como fase preliminar del proceso siderúrgico. Se reciben tres tipos de minerales con diferente porcentaje de humedad (6%, 8% y 2,2%). Se dispone de la cantidad de material que tratan al año. El firme se encuentra pavimentado.

Además, se dispone del número de viajes que realizan dentro de cada parque al año, la longitud que recorren los vehículos y el peso de éstos con carga y sin carga.

## 3. Cementos Tudela Veguín

La fábrica de cementos Tudela Veguín dispone de un área donde se acopian distintos materiales a la intemperie, coque de petróleo, escorias siderúrgicas cristalizadas, mineral de hierro entre otros, que a pesar del grado de humedad que presentan son susceptibles de generar emisiones de partículas PM10.

Las operaciones principales son la entrada en fábrica por carretera mediante camión, desplazamiento al lugar de almacenamiento, descarga mediante el sistema basculante del propio camión y apilado mediante pala excavadora. La salida del material del acopio puede ser mediante carga con pala llevarlo directamente hasta punto de consumo, o carga en camión para su transporte al destino final. Se dispone de la distribución horaria de las toneladas de cada tipo de material transportadas en un día tipo, de la humedad de cada uno y de la superficie media anual ocupada por cada material en su zona de acopio.

Además, se dispone de la intensidad media de tráfico diaria los días laborables y los no laborables.

### 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, (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 18). De esta manera se obtiene la distribución espacio temporal de las emisiones de partículas PM10 provocadas por el tráfico rodado en el área de estudio.

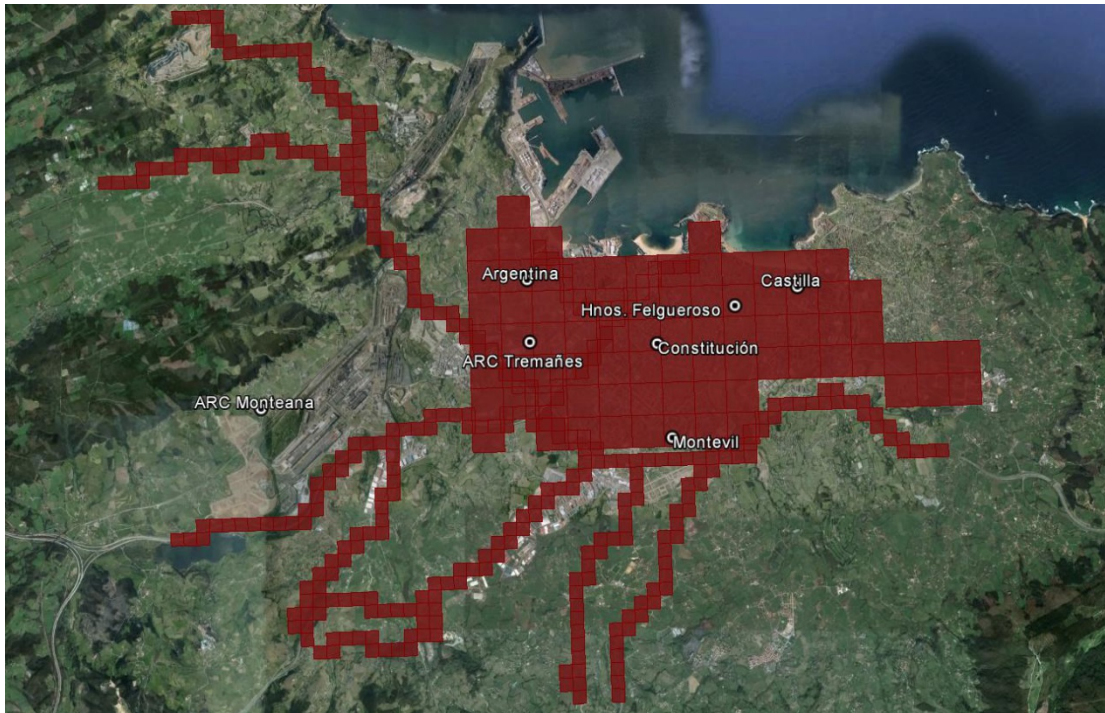


Figura 18. Fuentes de emisión del tráfico rodado del área de Gijón y de las carreteras autonómicas y nacionales en el ámbito de estudio junto con las estaciones de calidad del aire de referencia

#### 4.5.2.1. Tráfico Urbano

Los datos que se han empleado para modelizar el tráfico urbano del núcleo de población de Gijón provienen del estudio de aforos de la ciudad. Se dispone de datos de intensidad media diaria (IMD) en función de si es día laborable, sábado o domingo para cada mes y se ha extrapolado la relación de vehículos ligeros y pesados del núcleo urbano de Avilés.

El cálculo de emisiones se ha realizado para cada celda de una malla de 500m que cubre la totalidad del núcleo urbano de Gijón 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 Gijón, 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 vehículo ligero y pesado.

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.

El Puerto de Gijón cuenta con 7 muelles principales donde se descarga principalmente carbón, coque de petróleo, clinker, minerales de hierro y otros no metálicos, entre otros materiales, susceptibles de provocar emisiones difusas de partículas PM10 a la atmósfera:

Tabla 7. Muelles del Puerto de Gijón

Muelles Puerto de Gijón	
Espigón II	Muelle Norte
Ingeniero Moliner	Ribera 2
Ingeniero Olano	Marcelino León
La osa 9	

Además, destacan varias zonas de almacenamiento de materiales, de las cuales se han incluido en la modelización la explanada de Aboño y la superficie de almacenamiento del muelle de Marcelino León, ambas gestionadas por la empresa EBHI y en ambas se almacena carbón.

Las operaciones que se identifican como fuente potencial de emisiones son las mismas que se han descrito para las fuentes difusas industriales. En el caso de la actividad del puerto de Gijón, además se han considerado las debidas al tráfico rodado portuario.

En resumen, se han tenido en cuenta aquellas emisiones debidas a:

- Manipulación y operaciones de carga y descarga,
- Almacenamiento a la intemperie en parvas (por erosión del viento),
- Resuspensión de partículas PM10 en los viales de las zonas de almacenamiento debidas al tráfico interno,
- Tráfico rodado portuario.

La estimación de las emisiones debidas al tráfico rodado se ha realizado siguiendo la misma metodología que se ha empleado para el tráfico urbano, autonómico y nacional. 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).

Se dispone de los siguientes datos facilitados por la autoridad portuaria y la empresa estibadora EBHI para la estimación de las emisiones horarias del año 2013:

- Los movimientos de entrada y salida de los buques al puerto, es decir, operaciones de carga y descarga en los muelles.
- Datos de IMD (intensidad media diaria) del tráfico obtenidos a partir del “Plan de Aforos y análisis de Seguridad Vial del Puerto de Gijón, 2013”.
- Movimientos diarios de carbón internos e interparques en el muelle de Marcelino León y en la explanada de Aboño agrupados por tipo de transporte (cintas, camión o tren) y una curva tipo de distribución horaria de actividad laboral a partir de los cuales se han estimado las emisiones debidas a los movimientos de graneles así como aquellas debidas al tráfico de vehículos dentro de cada parque (AP-42 EPA Sección 13.2.2) para vías no pavimentadas).
- La superficie ocupada por almacenamientos de carbón en la explanada de Aboño y en el muelle de Marcelino León, mediante la cual se ha estimado la emisión de PM10 debida a la erosión provocada por el viento considerando una velocidad del viento media horaria obtenida con el modelo CALMET en cada zona en concreto.



Figura 19. Localización de las áreas principales de emisión de partículas en el Puerto de Gijón, muelles y vías principales



#### 4.6. ESTACIONES DE CALIDAD DEL AIRE – PUNTOS 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 Tremañes y Monteana pertenecientes a la red de vigilancia de calidad del aire de la empresa Arcelor Mittal. En la Figura 20 se muestran sus ubicaciones respecto al área de estudio.

Tabla 8. Estaciones de calidad del aire contrastadas con el modelo. Puntos de control

NOMBRE	CODIGO	TIPO	AREA	ANALIZADORES
<b>Hermanos Felgueroso</b>	ES1270A	Tráfico	Urbana	SO <sub>2</sub> ;NO <sub>x</sub> ;PM10;CO;O <sub>3</sub>
<b>Argentina</b>	ES1271A	Tráfico	Urbana	SO <sub>2</sub> ;NO <sub>x</sub> ;PM10;CO;O <sub>3</sub>
<b>Constitución</b>	ES1272A	Tráfico	Urbana	SO <sub>2</sub> ;NO <sub>x</sub> ;PM10;PM2,5;CO;O <sub>3</sub> ,BTX
<b>Avenida de Castilla</b>	ES1358A	Tráfico	Urbana	SO <sub>2</sub> ;NO <sub>x</sub> ;PM10;CO;O <sub>3</sub>
<b>Montevil</b>	ES1974A	Fondo	Suburbana	SO <sub>2</sub> ;NO <sub>x</sub> ;PM10;PM2,5;O <sub>3</sub>
<b>Tremañes</b>	RVCA Arcelor Mittal	Industrial	Urbana	SO <sub>2</sub> ;NO <sub>x</sub> ;PM10;PM2,5;BTX;SH <sub>2</sub>
<b>Monteana</b>	RVCA Arcelor Mittal	Industrial	Rural	SO <sub>2</sub> ;NO <sub>x</sub> ;PM10



Figura 20. Ubicación de las estaciones de calidad del aire consideradas como puntos de control en el estudio de modelización



## 5. MODELIZACIÓN

---

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 Gijón no corresponde con dicha medida.

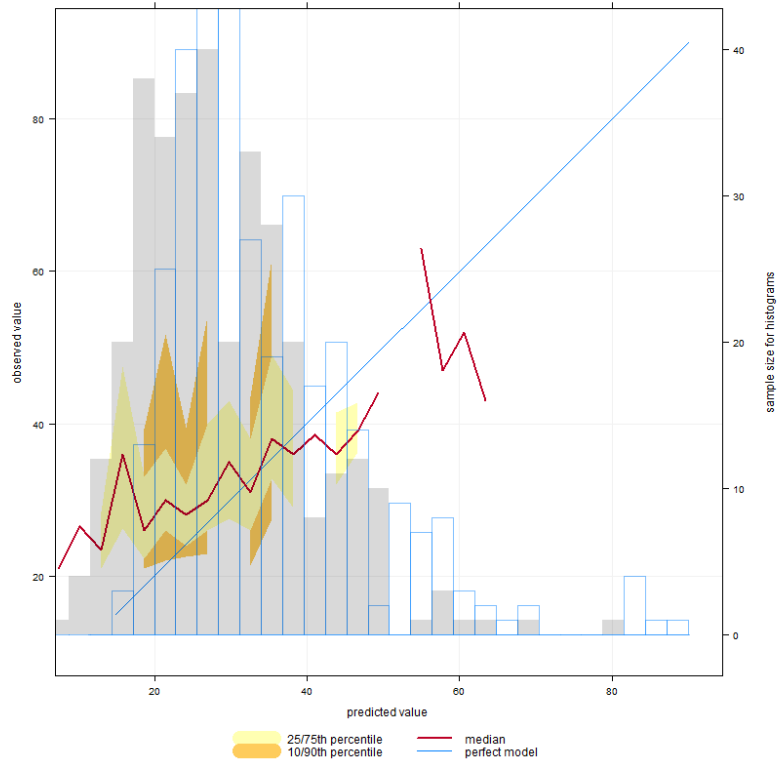
Tabla 9. Estadísticos principales de concordancia del modelo

	Argentina	Hnos Felgueroso	Constitución	Castilla	Montevil	Tremañes	Monteana
<b>Número de muestras</b>	336	327	340	338	343	331	332
<b>Sesgo medio normalizado</b>	-0,17	0,22	0,07	0,10	0,0002	-0,27	-0,33
<b>RMSE (Error cuadrático medio)</b>	14,6	13,29	10,37	11,82	9,081	15,07	21,66
<b>r de Pearson</b>	0,36	0,35	0,52	0,24	0,58	0,52	0,65
<b>IOA (*)</b>	0,46	0,23	0,48	0,27	0,50	0,32	0,42

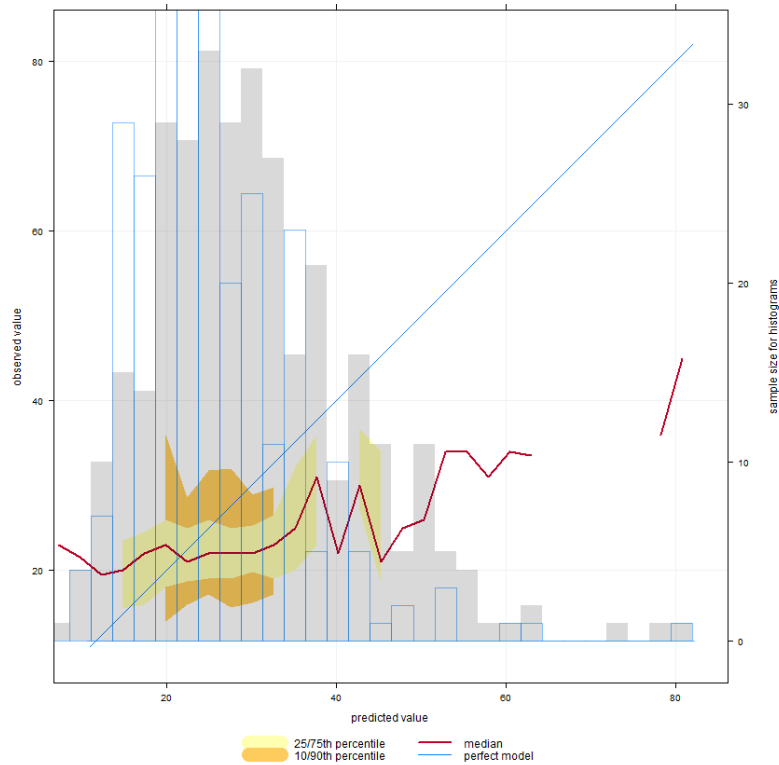
(\*) IOA, "Index of Agreement" o índice de concordancia (Willmott et al., 2011), es un indicador de la bondad de un modelo predictivo. Éste puede tomar valores entre -1 y +1, los valores que se aproximan a +1 indican un desempeño mejor del modelo, mientras que -1 indica falta absoluta de concordancia.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

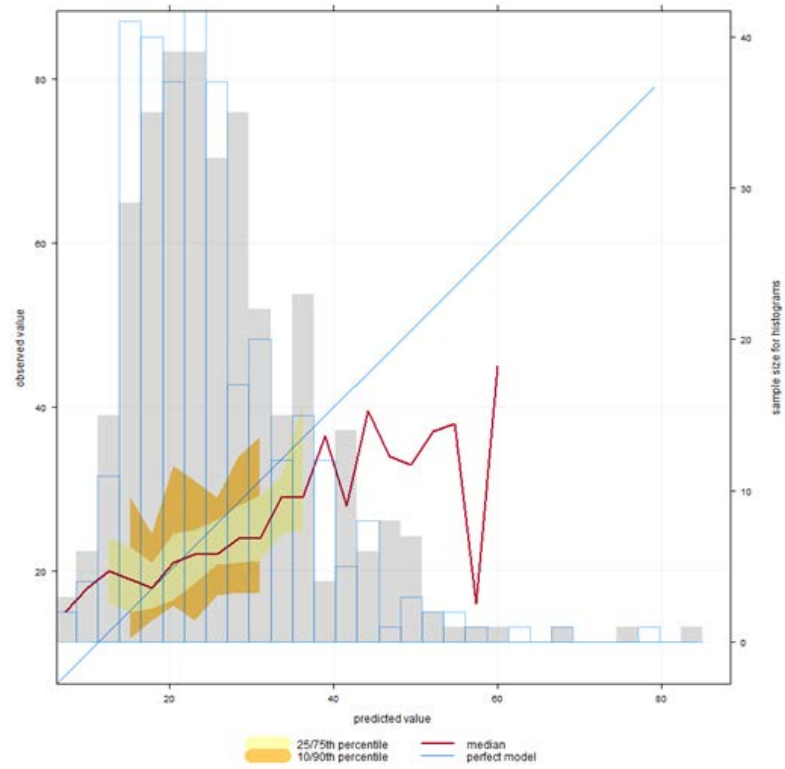
### Argentina



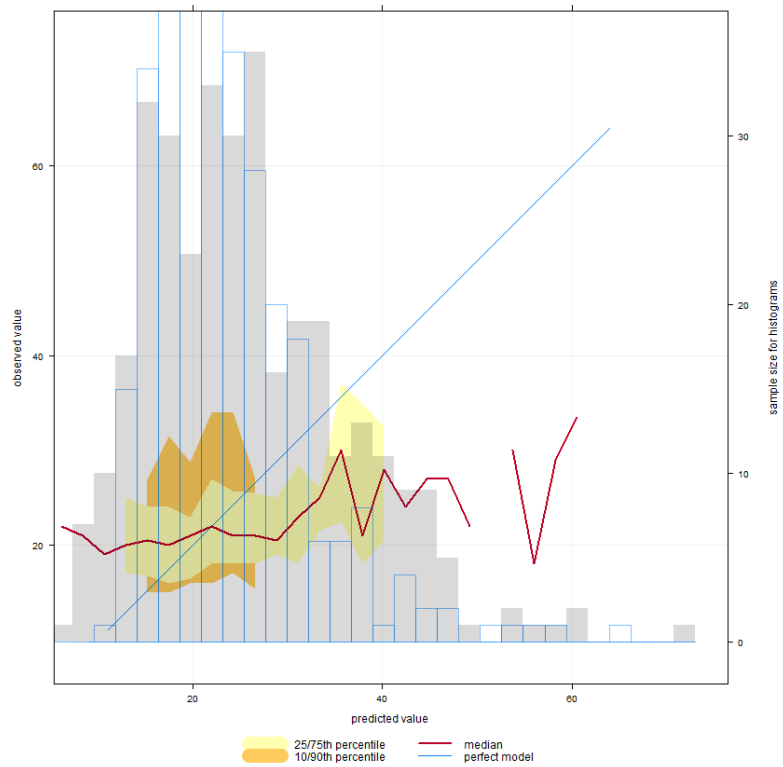
### Hermanos Felgueroso



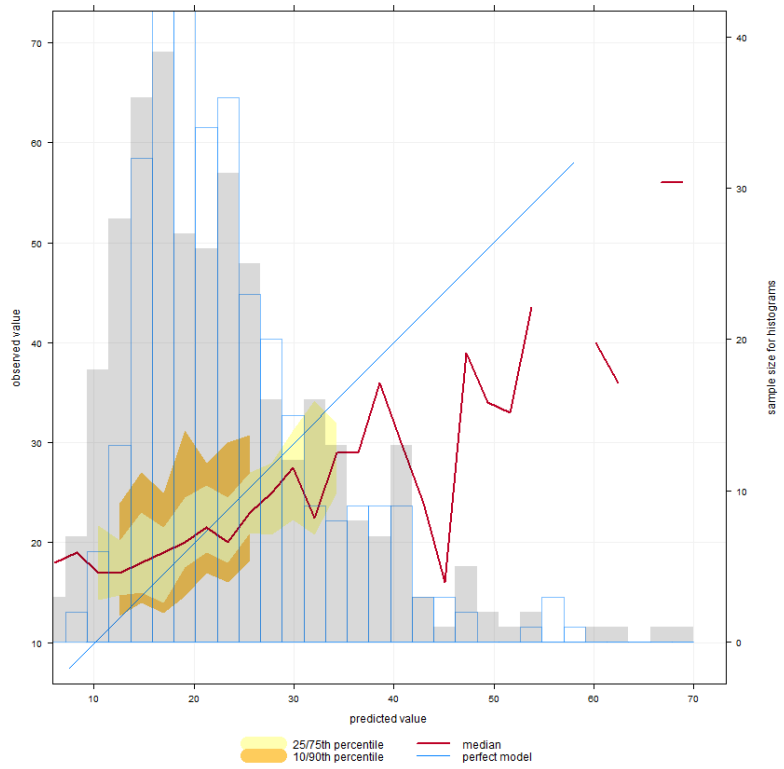
### Constitución



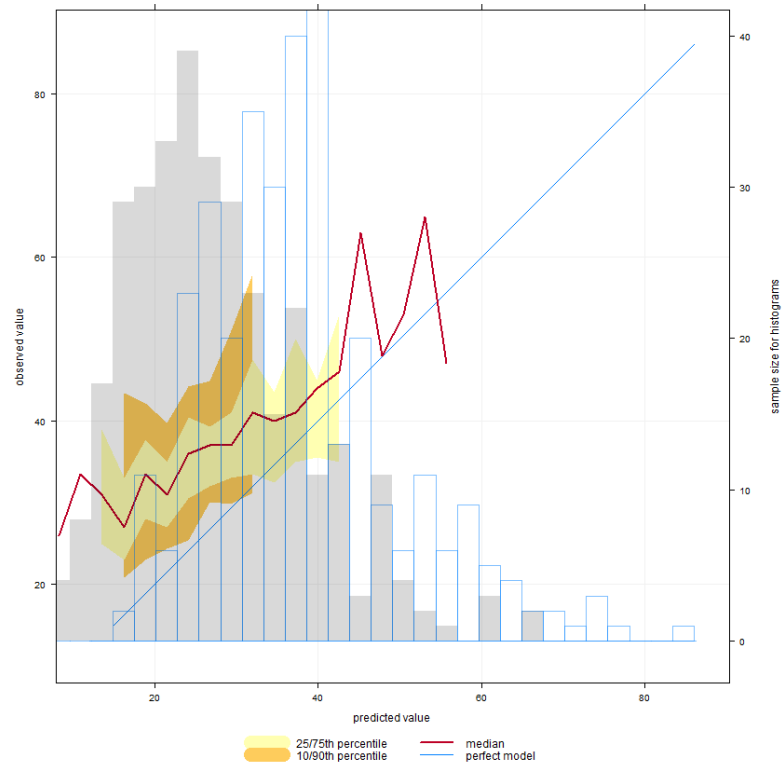
### Castilla



Montevil



Tremañes



Monteana

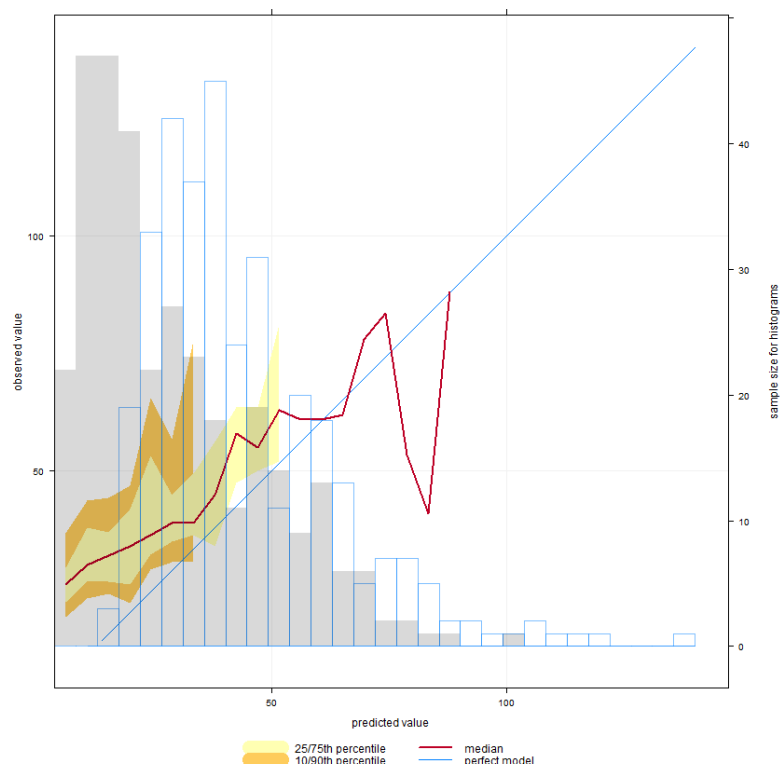


Figura 21. Diagramas de concordancia por cuantiles de los valores medios diarios de PM10 previstos por el modelo y los valores medidos en cada estación

Tabla 10. Indicadores de calidad utilizados en el modelo CALIOPE

PM <sub>10</sub>	Tabla 10. Indicadores de calidad utilizados en el modelo CALIOPE		
	Muy Bueno	$ MB  < 10$	$r > 0.55$
Bueno (B)	$10 \leq  MB  < 15$	$0.40 < r \leq 0.55$	$10 \leq RMSE < 15$
Aceptable (A)	$15 \leq  MB  < 20$	$0.25 < r \leq 0.40$	$15 \leq RMSE < 20$
Malo (M)	$20 \leq  MB  < 30$	$0.10 < r \leq 0.25$	$20 \leq RMSE < 30$
Muy Malo (MM)	$ MB  \geq 30$	$r \leq 0.10$	RMSE $\geq 30$

En las estaciones de Avenida de la Constitución, Montevil, y Monteana se alcanzan índices de concordancia (IOA) del modelo aceptables, con una correlación r de Pearson 0,5-0,7. 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”-“muy buenos”, excepto Monteana) para poder

<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 emplear filtros de realimentación porque, si bien mejoran la predictibilidad, desvirtúan la contribución por sectores y otros análisis de la explotación del modelo. Adicionalmente, CALIOPE integra un sistema de modelización de polvo mineral atmosférico, no utilizado en el presente estudio, y que colaboraría potencialmente a mejorar el nivel de concordancia de la predicción.



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 siempre las limitaciones de la modelización.

El resto de estaciones se pueden considerar que alcanzan niveles de calidad “bueno”-“aceptable”.

Cabe reflexionar sobre la relación entre el tipo de estación y la correlación de los datos medidos y modelizados. Se observa cómo aquellas estaciones que tienen una clara influencia industrial, Montevil, Monteana, Tremañes e incluso Constitución (que tiene más influencia industrial que urbana como se verá más adelante en los resultados), reflejan una correlación superior que las estaciones de H Felgueroso y Avenida de Castilla en las que predominan las emisiones debidas al tráfico urbano. Esto es claramente atribuible a la calidad de los datos de partida, siendo los datos industriales canalizados los que poseen una mejor calidad.

Destaca la estación de Argentina que si bien es una estación en la que el sector industrial tiene una notable influencia, la r de Pearson que presenta no es tan buena como se debería esperar, esto podría indicar la existencia de fenómenos de microescala que el presente estudio no alcanza a reflejar.

## 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 rosas o gráficos polares 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 Argentina.

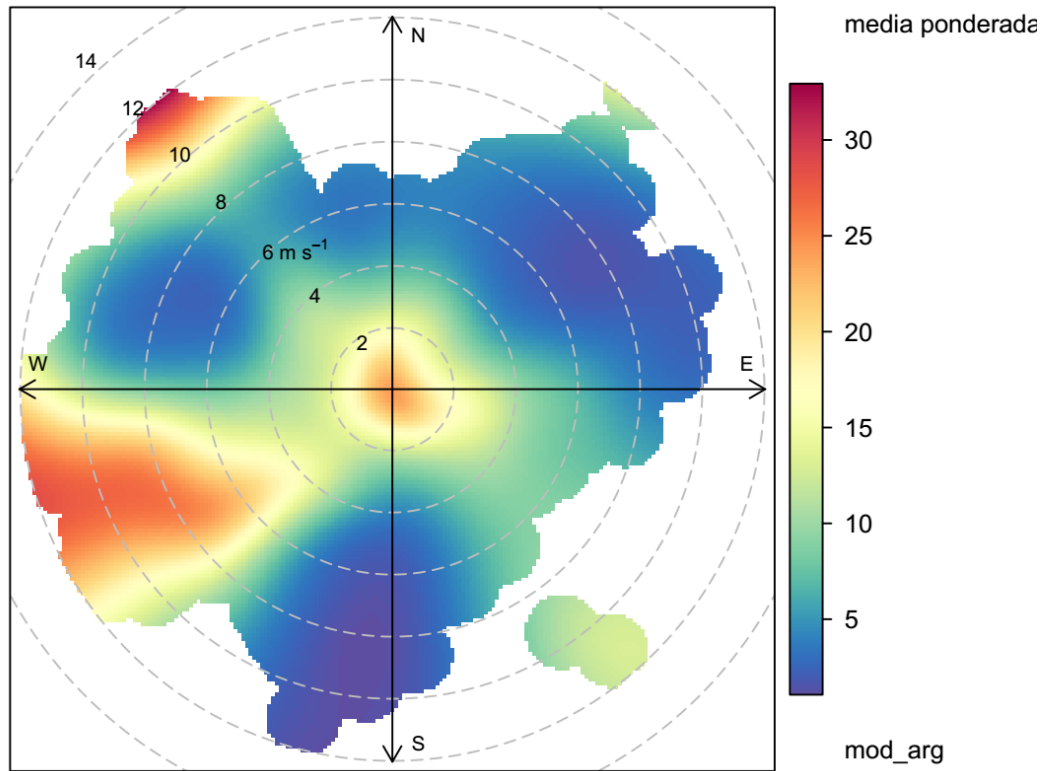


Figura 22. Representación polar del viento modelizado horario vs concentración PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) calculada en el punto de control de Argentina en el año 2013

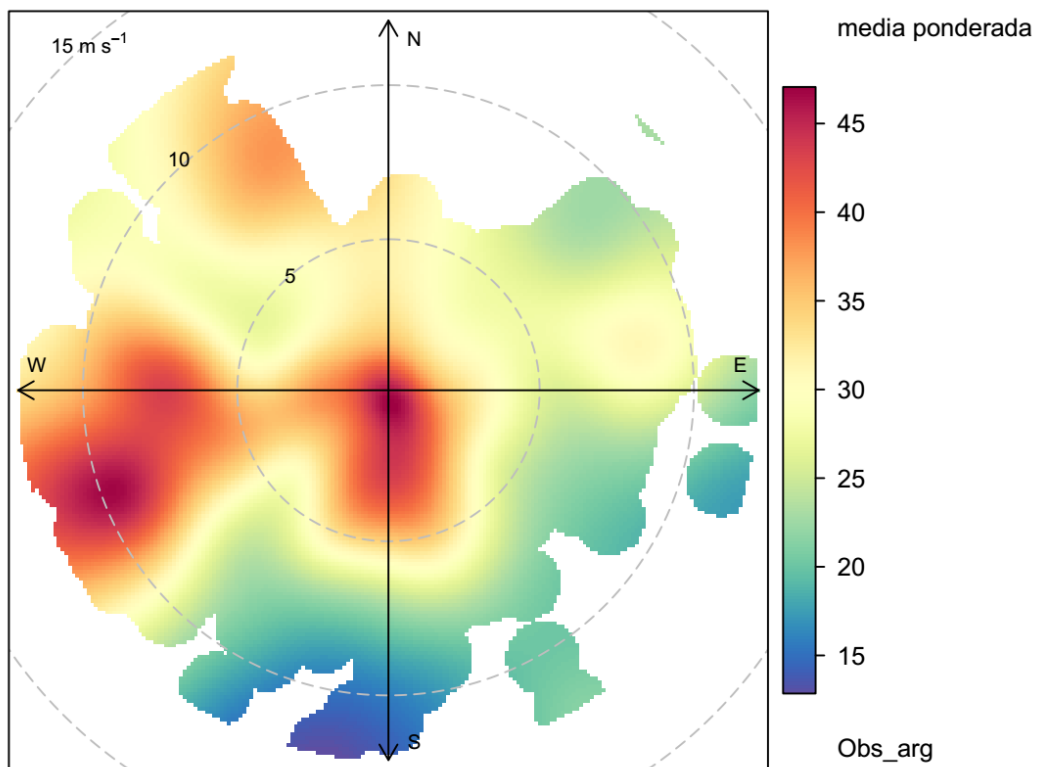


Figura 23. Representación polar del viento medido horario vs la concentración PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) medida en la estación de Argentina en el año 2013

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 44 y 45 se representan las mismas variables (viento; dirección y velocidad frente a concentración en Argentina) 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 Argentina, teniendo en cuenta la meteorología, y una vez que se han normalizado éstas. Dicha similitud se puede comprobar para cada estación del año (Figura 26 y Figura 27).

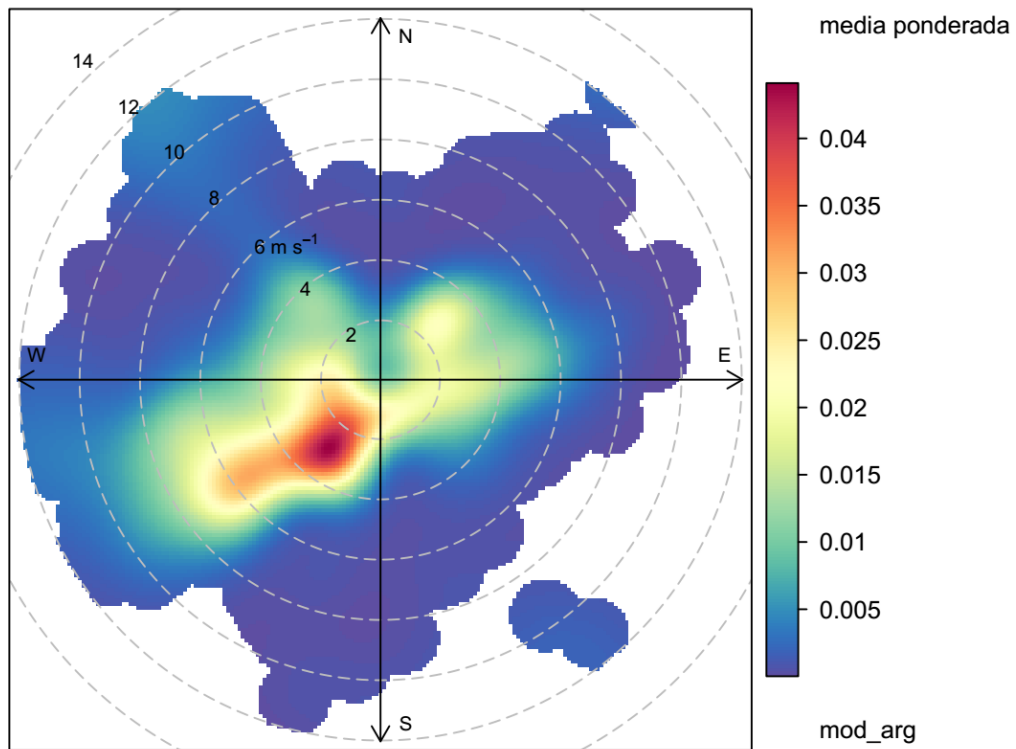


Figura 24. Representación polar del viento modelizado horario vs concentración calculada PM10 (normalizada) en el punto de control de Argentina en el año 2013

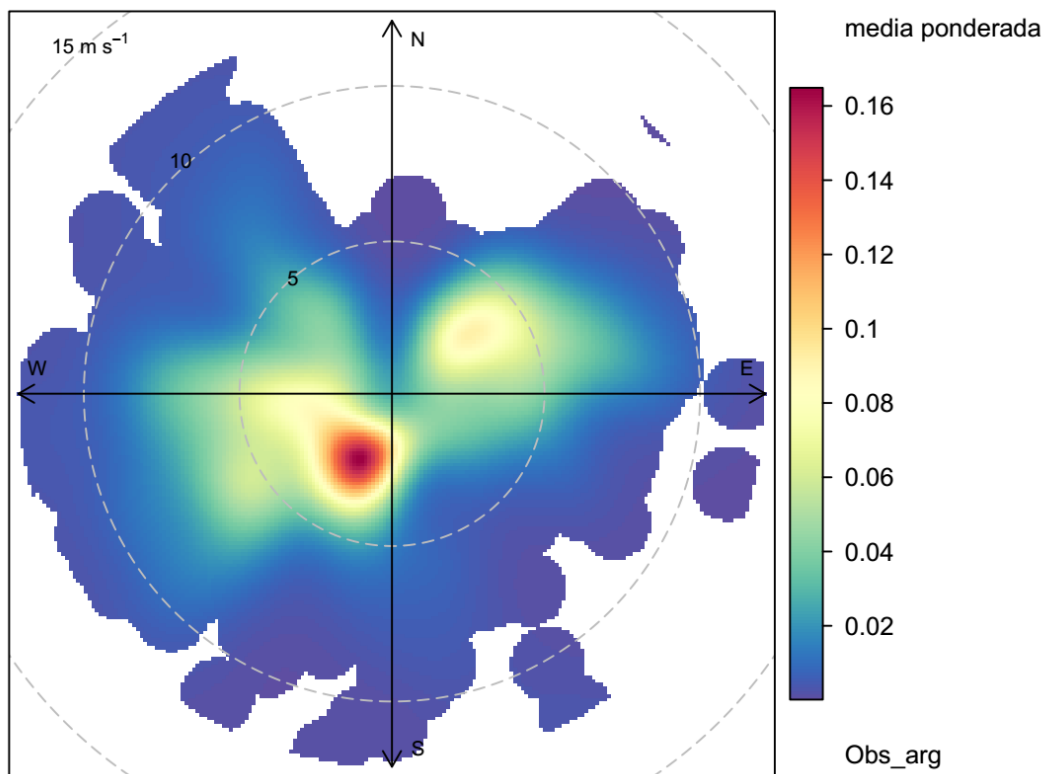


Figura 25. Representación polar del viento medido horario vs concentración medida PM10 normalizada en la estación de Argentina en el año 2013

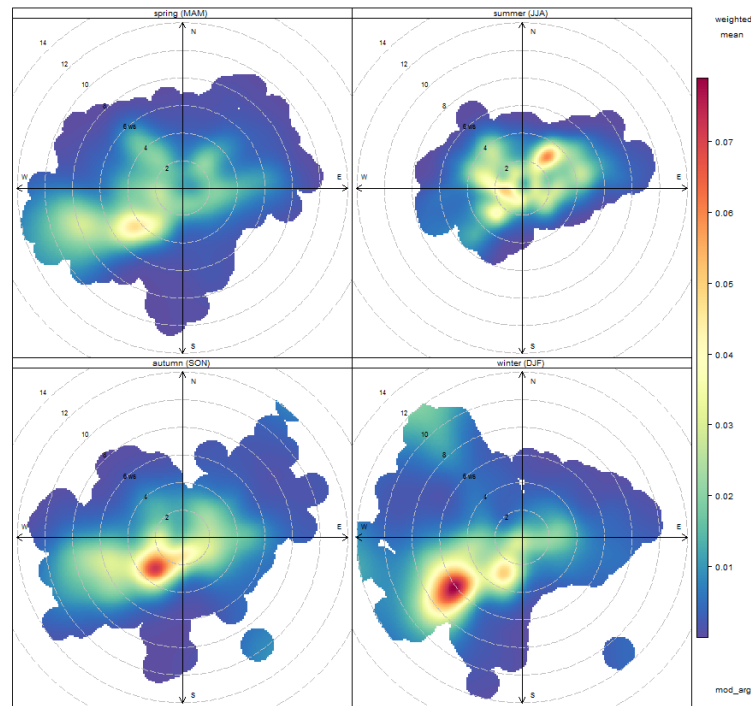


Figura 26. Representación polar del viento modelizado horario vs concentración PM10 calculada y normalizada en el punto de control de Argentina en el año 2013 por estaciones del año.

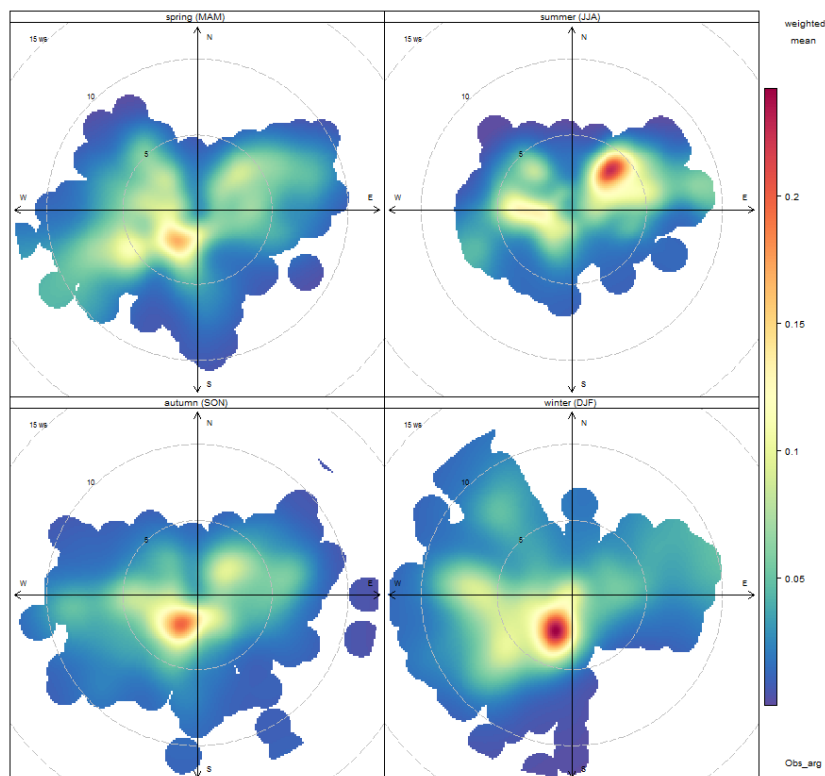


Figura 27. Representación polar del viento medido horario vs concentración PM10 medida y normalizada en la estación de Argentina en el año 2013 por estaciones del año.

### 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 Argentina.
- 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 Gijón 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:

1. Industrial canalizado
2. Industrial difuso
3. Tráfico urbano
4. Tráfico autonómico y nacional
5. Portuario

El sector **Industrial** se encuentra representado por EDP, Arcelor Mittal y Cementos Tudela Veguín, dado el interés en conocer el comportamiento e importancia de las fuentes difusas, a la hora de realizar el análisis se ha separado la contribución debida a las fuentes puntuales canalizadas de las fuentes difusas.

El **Tráfico Urbano** representa las emisiones del parque de vehículos en el núcleo urbano de Gijón.

El **Tráfico Autonómico y Nacional** representado por las emisiones de los vehículos circulantes 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, así como al tráfico interior de las zonas de almacenamiento.

#### 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 28, 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 29 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 los focos canalizados y en azul la contribución por los focos difusos industriales. Es interesante observar que el sector industrial forma un “fondo” en el ámbito del estudio, provocado por la dispersión a través de chimenea, mientras que las difusas tienen un ámbito de influencia muy pequeño, son emisiones generadas a nivel de suelo, en que la baja dispersión provoca altos niveles de concentración muy localizados en el entorno de la emisión (puntualmente, en episodios de erosión asociados a altas velocidades de viento y, siendo las emisiones altas, tienen una dispersión mayor).

En un segundo plano aparecen el resto de sectores, en color marrón se visualiza la zona donde mayor contribución tiene el tráfico urbano que se centra en el este del núcleo urbano de Gijón, en color verde se observa la zona en la que predominan las emisiones de PM10 procedentes de la actividad portuaria, la cual se extiende hacia el mar y en azul claro aparecen zonas muy reducidas en donde la contribución por emisiones del tráfico autonómico y nacional es la predominante.

Comparando ambas imágenes (“P50” y “P90”) se observa como en la representación “P90”, la superficie del área de estudio en la que predomina el sector industrial (emisores puntuales) y el sector portuario es ligeramente superior, en detrimento de las zonas de mayor contribución por tráfico urbano, autonómico y nacional e industrial difuso, 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 y difusos portuarios. Para tener un mayor detalle de cómo evolucionan las contribuciones en los niveles altos, se ha de observar los mapas de distribución porcentual por sectores y de isoconcentración que se detallan más adelante.

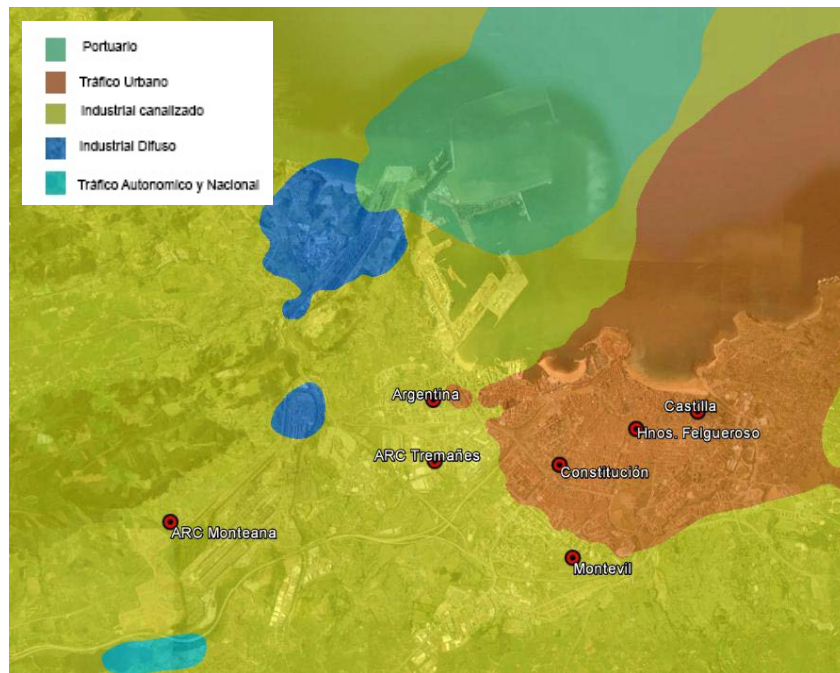


Figura 28. Distribución espacial del sector de mayor contribución en "P50" de los valores de concentración de PM10 modelizados y la ubicación de las estaciones de calidad del aire

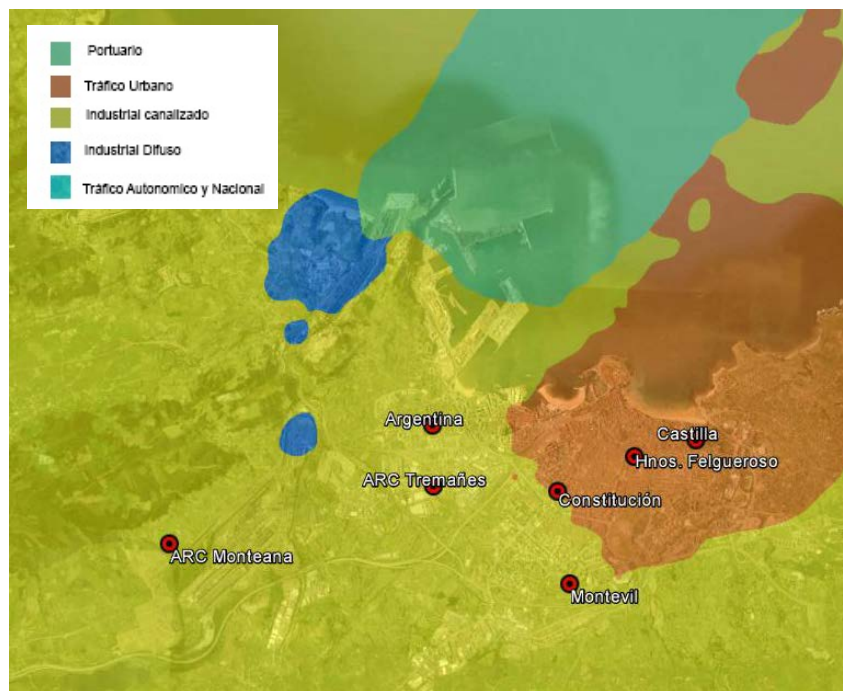


Figura 29. Distribución espacial del sector de mayor contribución en "P90" de los valores de concentración de PM10 modelizados y la ubicación de las estaciones de calidad del aire

Los **mapas de isoconcentración** (a partir de la Figura 30) 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 30 y Figura 31 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 30 se pueden observar las zonas donde se dan los mayores valores de concentración de PM10 del percentil 50. Destaca en primer lugar la zona norte de Aboño donde se ubica la cementera Tudela Veguín con su parque de almacenamiento de materiales, el parque de carbón de Arcelor Mittal y más al norte la explanada de Aboño de EBHI para almacenamiento de carbón. En segundo lugar, destaca la zona del parque de minerales de Arcelor Mittal donde además se localizan sus focos principales de emisión y en tercer lugar, destaca la zona del muelle de Marcelino León. En todos los casos, son ámbitos limitados al entorno del origen de las emisiones.

Respecto a los puntos de control, se observa que los que corresponden con las estaciones de Argentina y Hermanos Felgueroso poseen un valor para el percentil 50 de las concentraciones medias diarias modelizadas de PM10 entre los 10 y los 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que para el resto de puntos de control este valor se sitúa entre los 5 y los 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Si se observa el mapa de isoconcentración para los valores del percentil 90,4 alcanzados en la zona (Figura 31), destacan de manera más definida las áreas correspondientes a cada zona de almacenamiento de materiales donde se producen emisiones difusas de PM10, las cuales tienen en general una capacidad de dispersión muy baja ya que se producen a nivel del suelo y dependen de la velocidad del viento para su desplazamiento (a pesar de que, puntualmente, en episodios de erosión asociados a altas velocidades de viento y, siendo las emisiones altas, tienen una dispersión mayor).

En concreto destacan las siguientes zonas, se enumeran por orden de mayor a menor concentración de PM10 alcanzado para el valor del Percentil 90,4:

1. Zona de Tudela Veguín
2. Zona del muelle de Marcelino León
3. Zona de Arcelor Mittal donde se ubican focos de emisión de menor altura
4. Zona de la explanada de Aboño propiedad de EBHI
5. Zona de la Central Térmica de Aboño
6. Zona del parque de Minerales de Arcelor Mittal
7. Zona del parque de carbones de Arcelor Mittal.

En el caso de los valores del percentil 90,4, todos los puntos de control pasan a estar comprendidos entre los niveles de 20 a 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  excepto Montevil que se encuentra por debajo de los 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y Monteana en torno a los 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

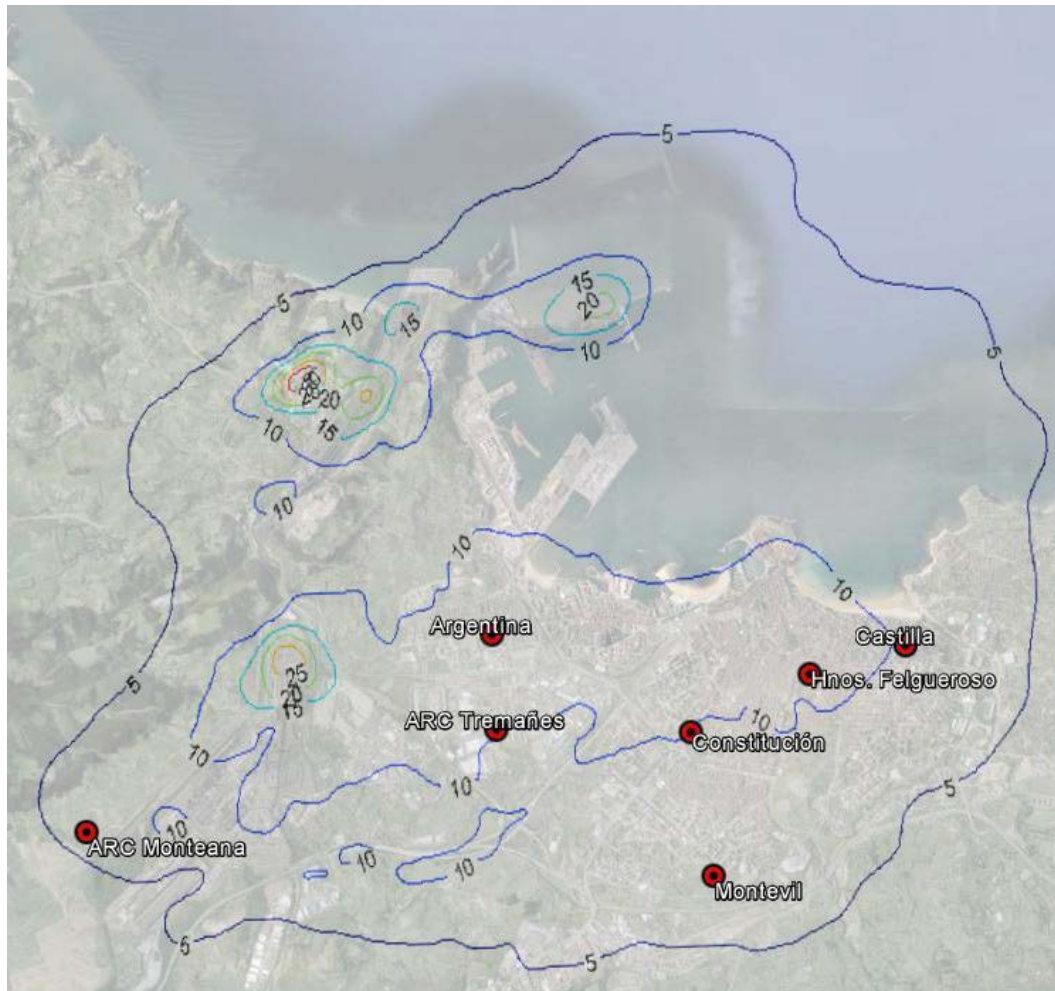


Figura 30. Niveles de isoconcentración de PM10 del Percentil 50 de los valores modelizados y ubicación de las estaciones de calidad del aire para todos los focos de emisión



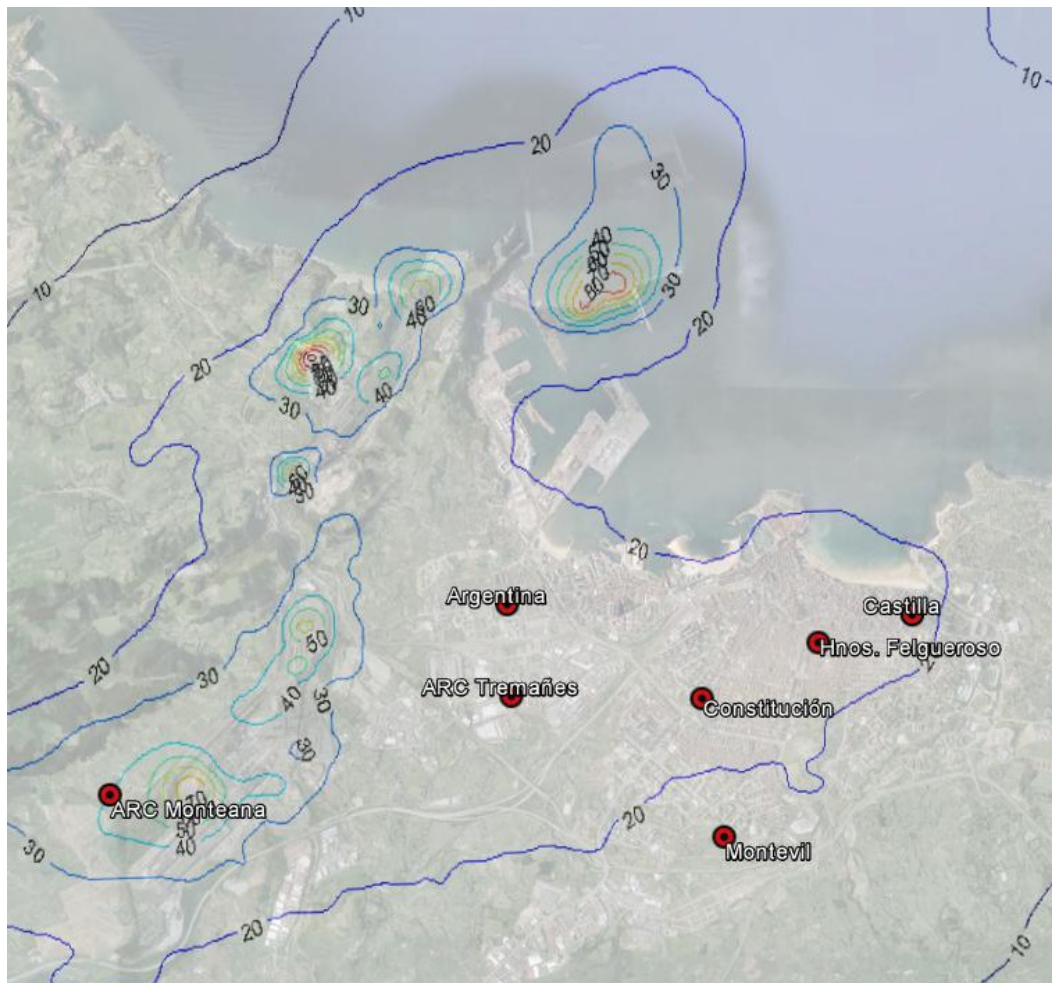


Figura 31. Niveles de isoconcentración de PM10 del Percentil 90,4 de los valores modelizados y ubicación de las estaciones de calidad del aire para todos los focos de emisión

Las siguientes figuras representan **los mapas de curvas de porcentajes de contribución por sectores** para el ámbito de estudio tanto para “P50” (es decir, durante los 182 días de mayor contaminación) como para “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 32. Curvas de porcentaje de contribución del sector industrial (focos puntuales). P50

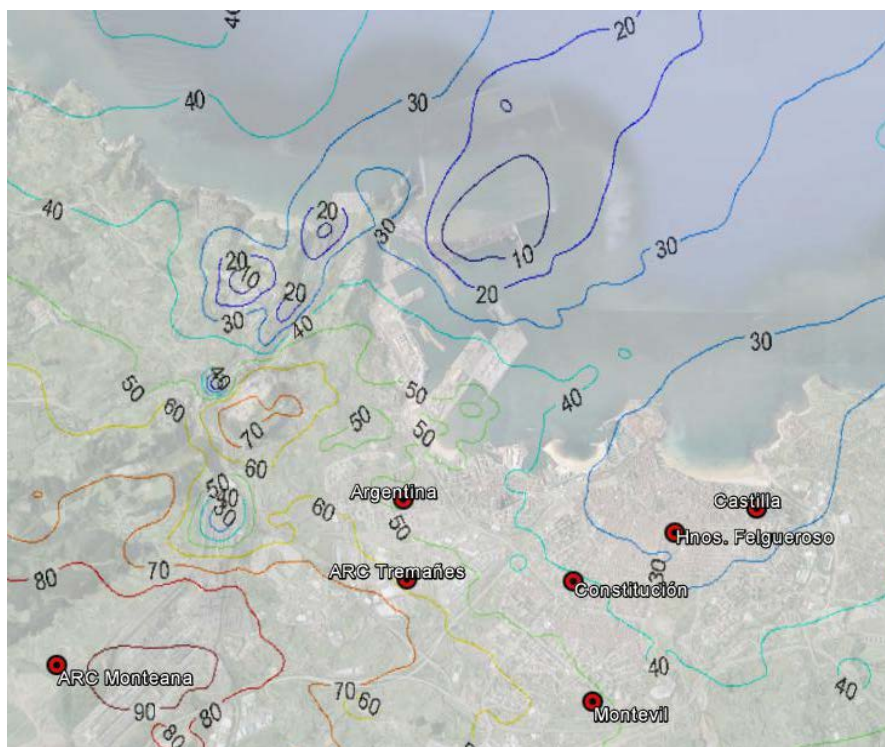


Figura 33. Curvas de porcentaje de contribución del sector industrial (focos puntuales). P90

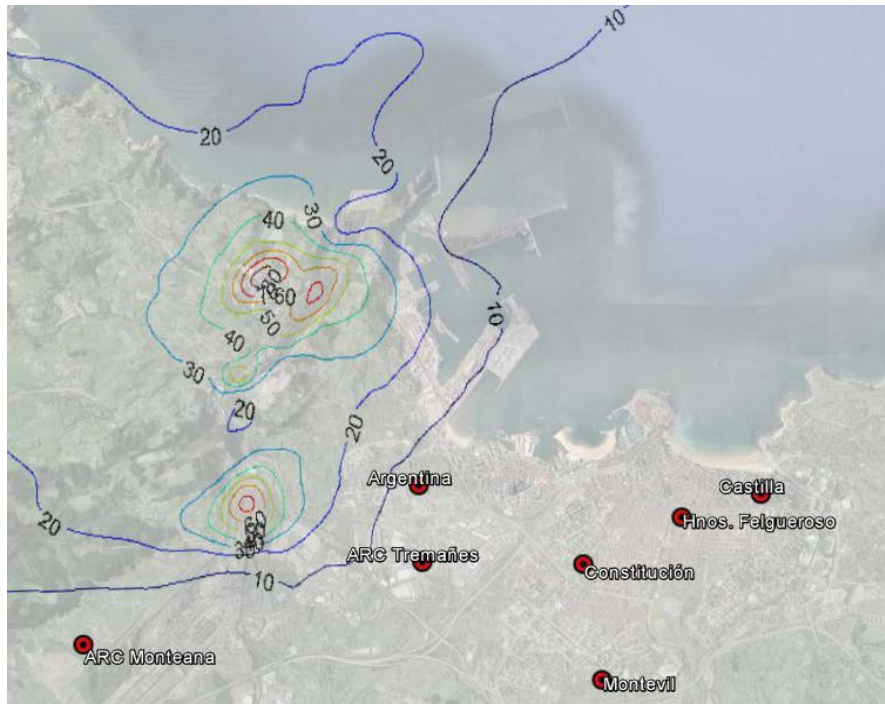


Figura 34. Curvas de porcentaje de contribución del sector industrial (fuentes difusas). P50

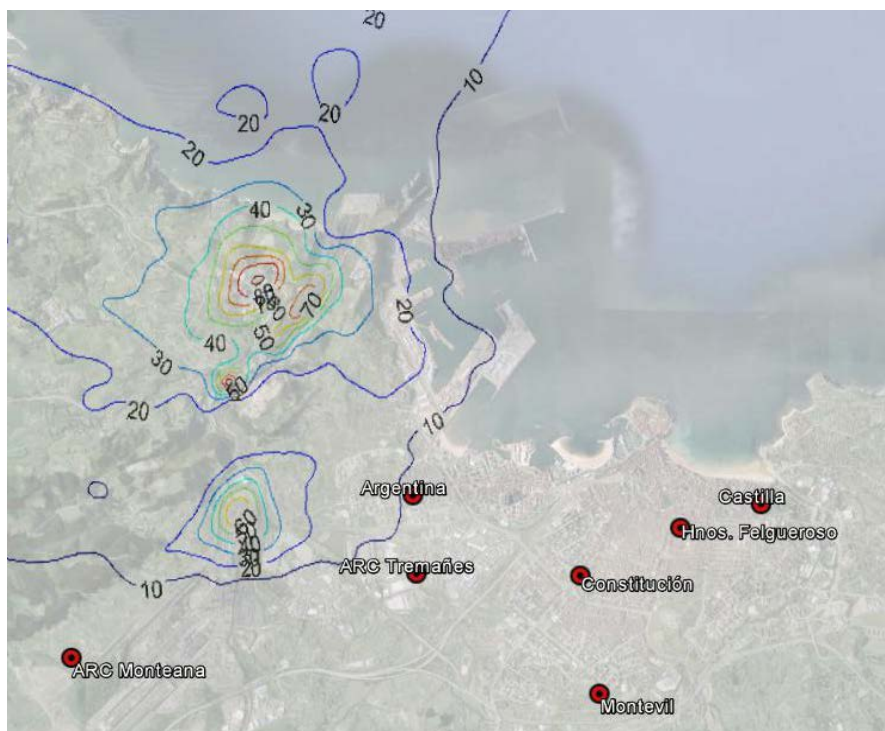


Figura 35. Curvas de porcentaje de contribución del sector industrial (fuentes difusas). P90



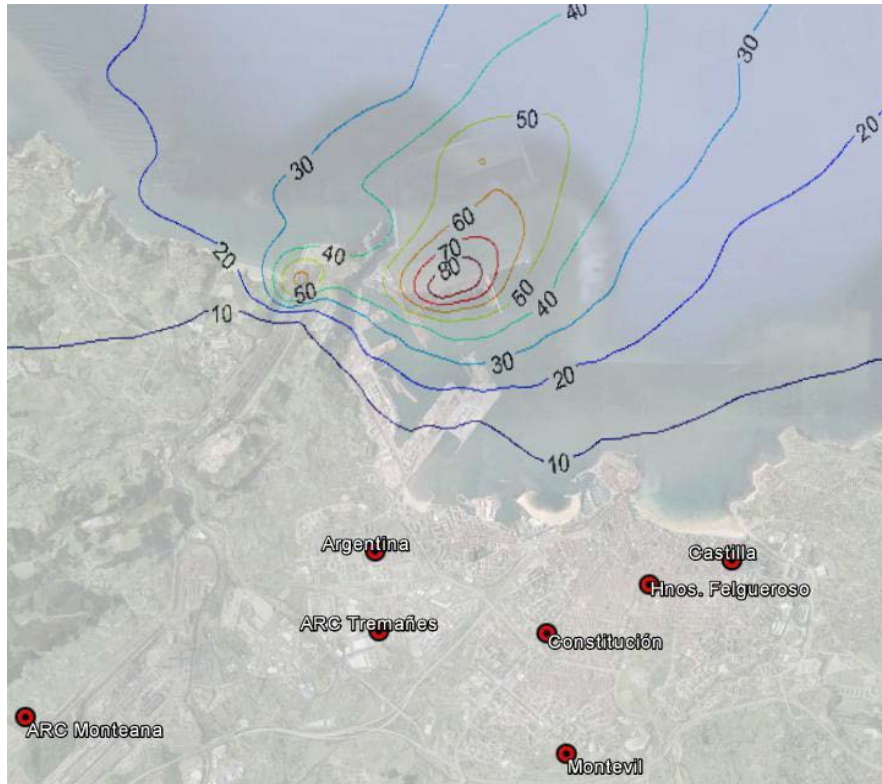


Figura 36. Curvas de porcentaje de contribución del sector portuario. P50

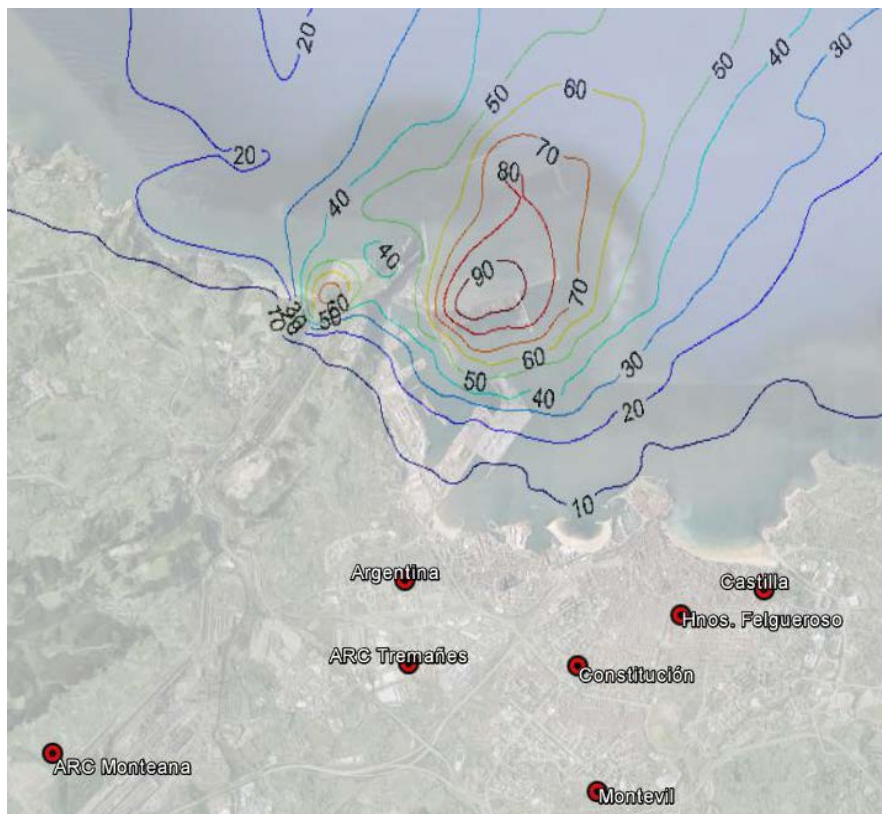


Figura 37. Curvas de porcentaje de contribución del sector portuario. P90

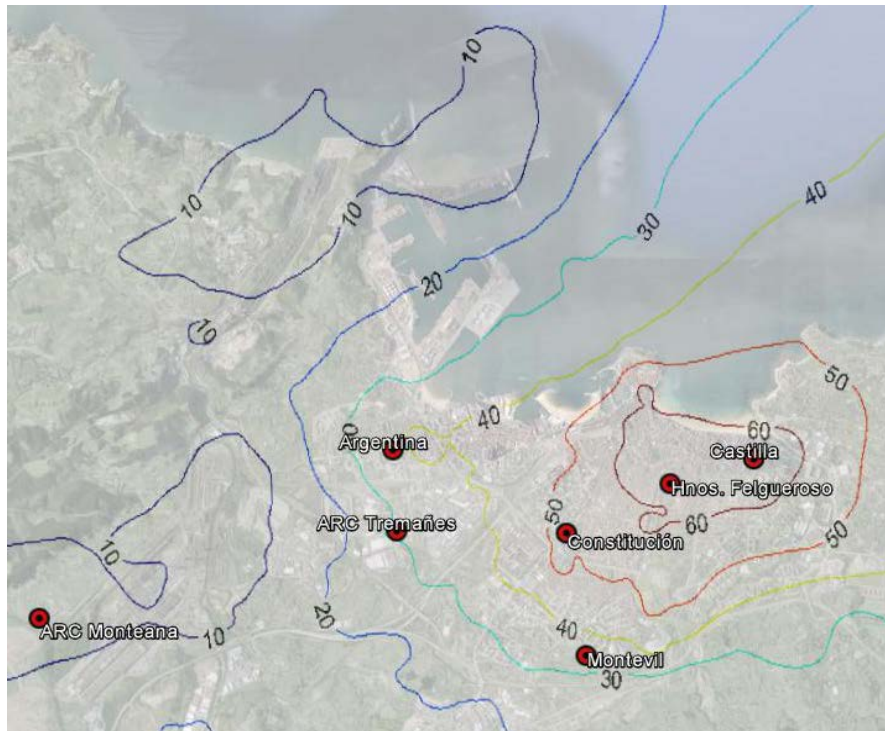


Figura 38. Curvas de porcentaje de contribución de las emisiones procedentes del tráfico urbano. P50

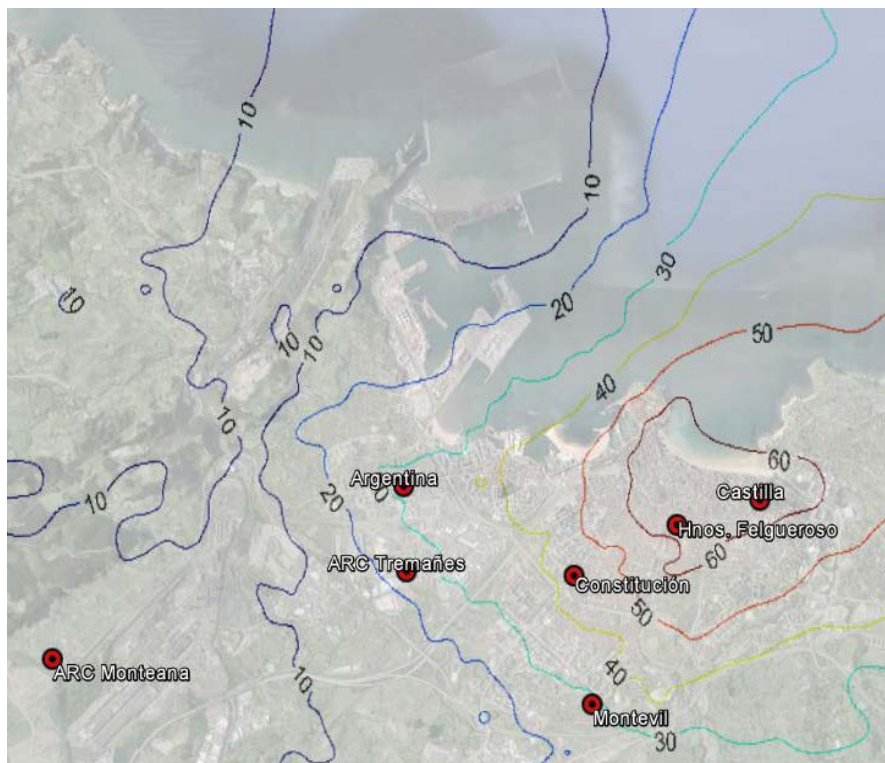


Figura 39. Curvas de porcentaje de contribución emisiones procedentes del tráfico urbano. P90





Figura 40. Curvas de porcentaje de contribución emisiones procedentes del tráfico autonómico y nacional. P50



Figura 41. 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.

Un indicador que se usa habitualmente para evaluar la capacidad de la atmósfera para la dispersión de contaminantes es el Factor de Ventilación (FV), que es el producto del ECM y la velocidad media de viento, teniendo en cuenta que –como hemos visto– hay otros muchos factores que pueden influir. Se considera que un ECM medio elevado junto con velocidades de viento elevadas (FV elevados) favorece la dispersión, mientras que un ECM bajo junto con velocidades de viento bajas favorece la acumulación. Por tanto, la concentración (o los niveles de contaminación) es inversamente proporcional al FV.

A su vez, los niveles alcanzados de contaminación no sólo dependen de las condiciones meteorológicas, sino que dependen también de la cuantía de las emisiones. Para recoger este hecho, se ha calculado un indicador basado en las emisiones urbanas diarias (EUD).

En este estudio, se ha comprobado una correlación media-fuerte ( $r=0,68$ ) entre los valores medidos PM10 en la estación de Hermanos Felgueroso (urbana) y el parámetro EUD/FV (que recoge tanto las emisiones urbanas como la dificultad para la dispersión atmosférica), lo que indica que, efectivamente, espesores de capa de mezcla medios diarios bajos (por debajo de 400-500 m) y velocidades medias bajas, favorecen la acumulación de partículas de una manera intensa en dicha estación. El factor de ventilación medido o su previsión (a varios días) se utiliza en algunos protocolos de actuación de calidad del aire. Estos resultados sugieren que dicho parámetro o algún otro indicador que pudiera recoger la capacidad de la dispersión atmosférica local, podría ser utilizado en el área de Gijón.



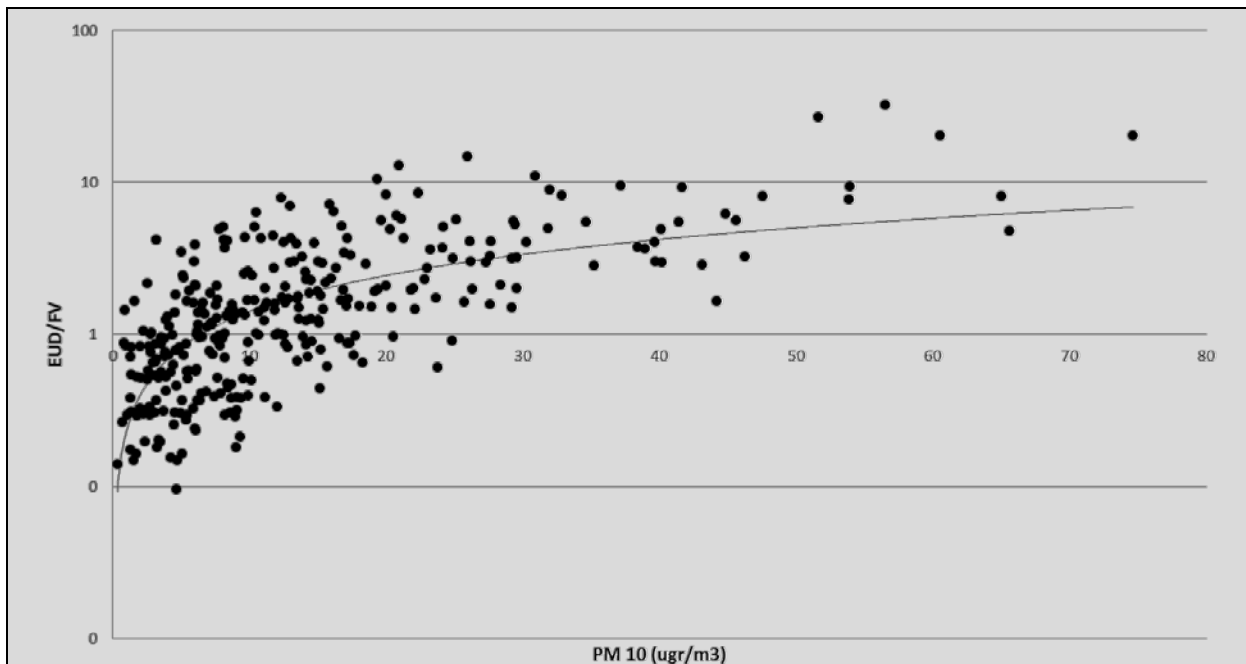


Figura 42. Correlación entre niveles PM10 vs parámetro EUD/FV

Esta relación, aunque compleja, se puede observar también 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 los ECM bajos (1er cuartil) sobre los dos siguientes. Esto indica que, efectivamente, hasta unos 650 m de espesor, los espesores reducidos favorecen relativamente los valores de concentración (Argentina). Sin embargo, se observa cómo para alturas mayores (último cuartil), es decir, dispersión favorable, se vuelven a encontrar valores altos de concentración de partículas asociados a vientos relativamente fuertes. Esto es debido a que con determinados regímenes de viento el alcance de una fuente puntual es mayor, y puede conllevar que aumenten las concentraciones en determinadas zonas alejadas que con vientos más débiles quedan fuera de su alcance. Con esto se puede intuir la complejidad subyacente entre la meteorología y las concentraciones a nivel superficial.

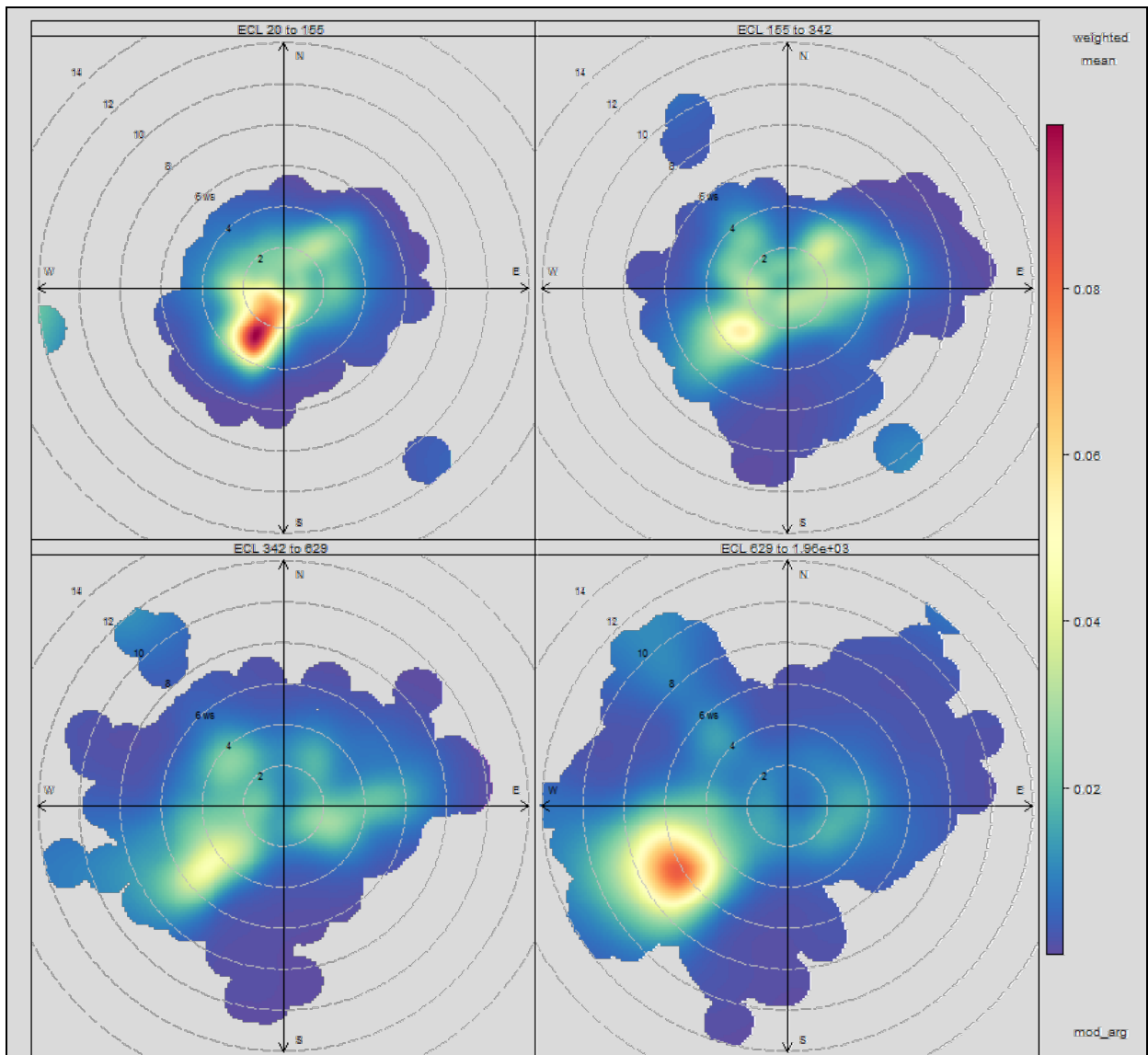


Figura 43. Representación polar del viento modelizado horario vs concentración PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) obtenida en el punto de control de Argentina en el año 2013 distribuida en cuartiles de espesor de la capa límite

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

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 Gijón.

Se dispone de un total de 403 receptores sobre el área urbana de Gijón, 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 dicho área (Tabla 11).

Tabla 11. Porcentaje de contribución por sectores en el área de Gijón

Sector / Estadístico	Industrial	Difusas Industriales	Tráfico Urbano	Tráfico Autonómico y Nacional	Portuario
Media anual 24H	29%	4%	55%	9%	2%

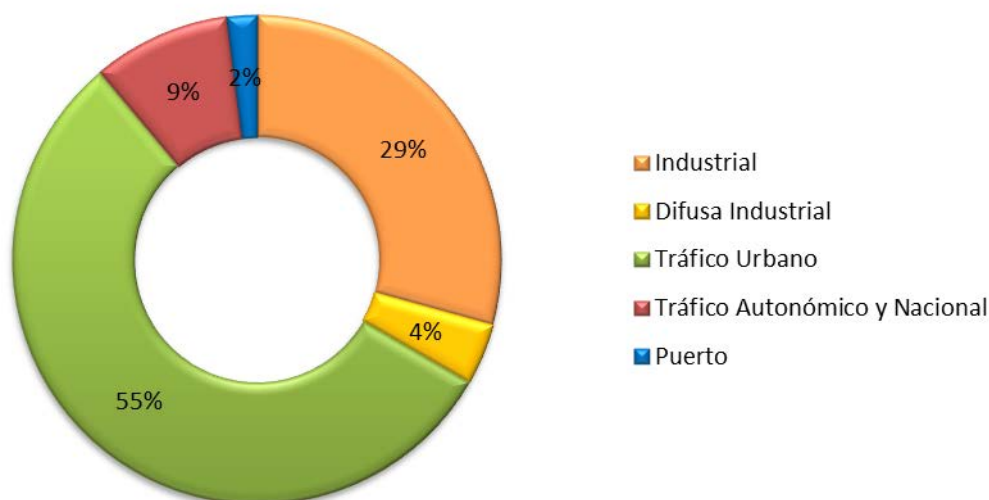


Figura 44. Representación gráfica de la distribución por sectores en el núcleo urbano de Gijón sobre valores medios diarios resultados del modelo. Media anual 24h

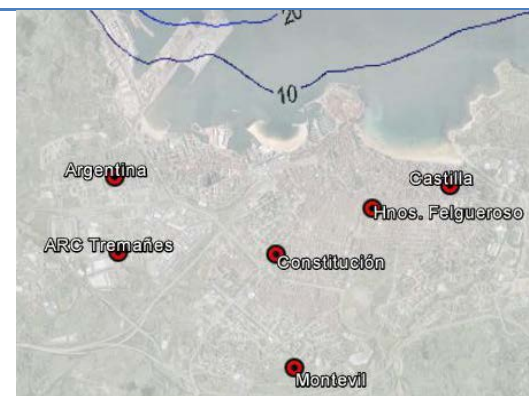
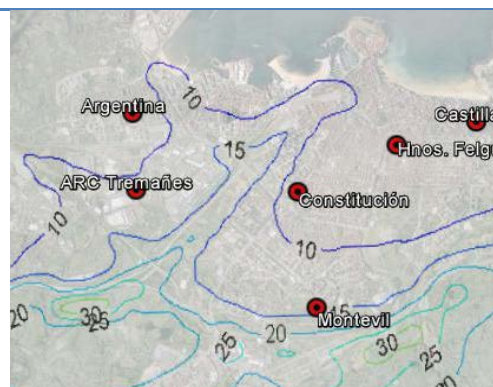
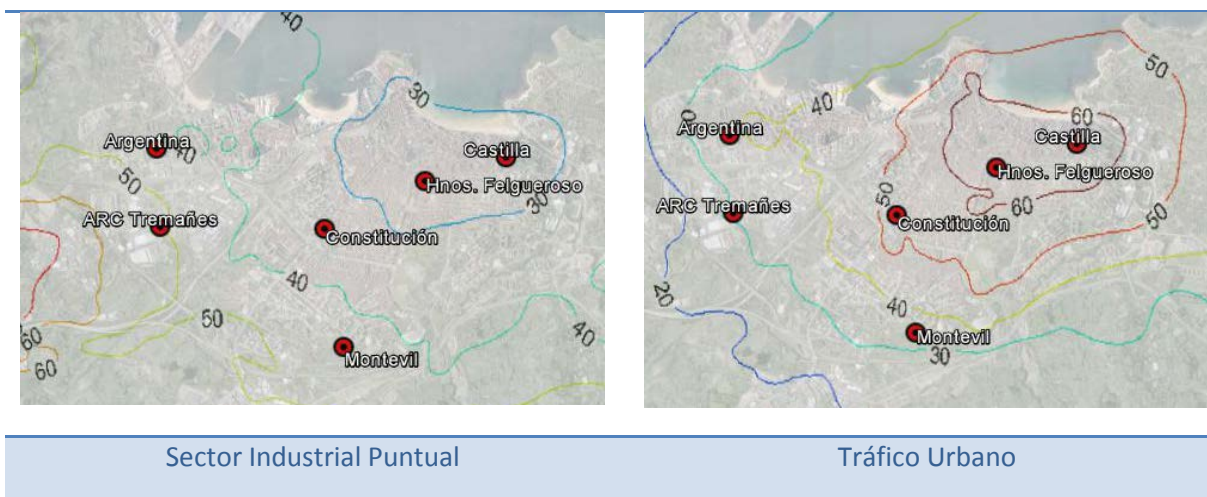
A la vista de los resultados, la principal fuente de contaminación por PM10 en el área de Gijón es el tráfico. En concreto, el tráfico urbano contribuye en un 55% al valor medio anual resultado de la modelización, siendo un 9% lo que contribuye el tráfico autonómico y nacional.

En segundo lugar destaca la procedencia de emisiones de PM10 del sector industrial, en total el 33% del valor medio anual resultado de la modelización de los cuales el 4% provendrían de emisiones difusas de los parques de almacenamiento de las industrias.

La actividad portuaria también aporta aunque levemente en la contribución de las emisiones recibidas en el núcleo urbano con un 2% sobre el valor medio anual.

La Figura 45 reúne los mapas de porcentajes de contribución por sectores centrados en el núcleo urbano de Gijón para "P50" anual (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 Argentina respecto a "P50" podemos concluir que más del 40% de las emisiones de PM10 provienen del sector industrial y que más del 30% del tráfico urbano, mientras que la contribución debido al tráfico autonómico y nacional, emisiones portuarias e industriales difusas están cada una de ellas por debajo del 10%. No obstante, este estudio en detalle para cada punto de control se realiza en el siguiente apartado de manera más precisa.



Tráfico Autonómico y Nacional

Industrial Difuso

Puerto

Figura 45. Curvas de porcentaje de contribución por sectores en el núcleo urbano de Gijón. P50.

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

En este apartado se analiza, con los resultados obtenidos de las modelizaciones para cada tipo de sector en el año 2013, la contribución relativa en los niveles de concentración de partículas PM10 alcanzados 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 Gijón así como Tremañes y Monteaña.

En la Tabla 12 se muestra la distribución porcentual por sectores considerando "P90" y "P50" de los valores medios diarios obtenido en cada punto de control. En la Figura 46 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 12. Resultados del 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.

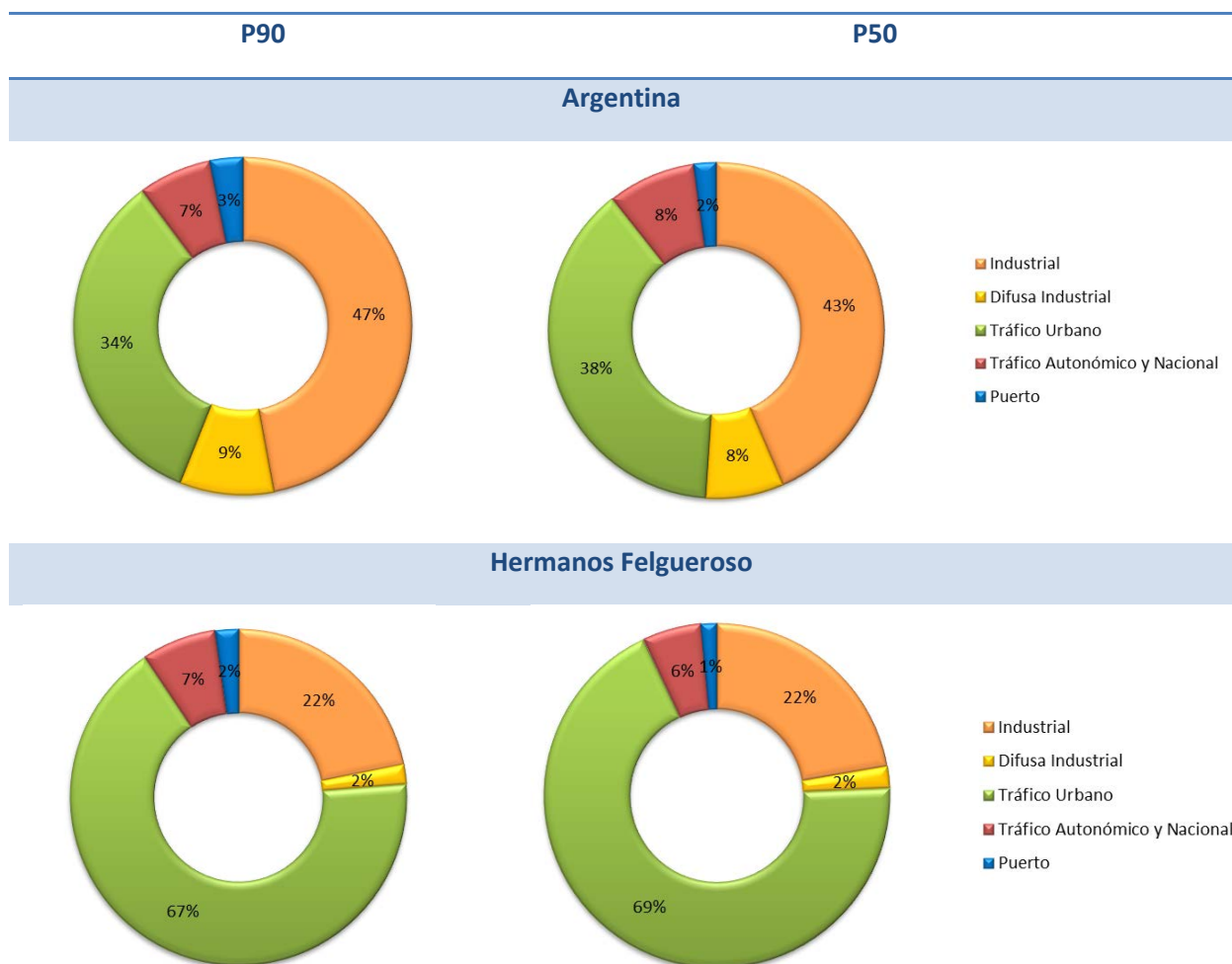
Sector	Industrial	Difusas Industriales	Tráfico Urbano	Tráfico Nacional y Autonómico	Puerto	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10
<b>Estación</b>	<b>Argentina</b>					
<b>P90</b>	47%	9%	34%	7%	3%	<b>24</b>
<b>P50</b>	43%	8%	38%	8%	2%	<b>11</b>
<b>Estación</b>	<b>Hermanos Felgueroso</b>					
<b>P90</b>	22%	2%	67%	7%	2%	<b>25</b>
<b>P50</b>	22%	2%	69%	6%	1%	<b>12</b>
<b>Estación</b>	<b>Constitución</b>					
<b>P90</b>	40%	3%	44%	10%	2%	<b>20</b>
<b>P50</b>	33%	3%	52%	9%	2%	<b>9</b>
<b>Estación</b>	<b>Avenida de Castilla</b>					
<b>P90</b>	27%	2%	62%	7%	2%	<b>20</b>
<b>P50</b>	26%	2%	63%	6%	2%	<b>8</b>
<b>Estación</b>	<b>Montevil</b>					
<b>P90</b>	53%	2%	29%	14%	2%	<b>17</b>
<b>P50</b>	46%	3%	34%	15%	2%	<b>6</b>



Sector	Industrial	Difusas Industriales	Tráfico Urbano	Tráfico Nacional y Autonómico	Puerto	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10
<b>Estación</b>	<b>Tremañes</b>					
<b>P90.</b>	57%	7%	25%	8%	2%	<b>23</b>
<b>P50</b>	50%	7%	31%	11%	2%	<b>9</b>
<b>Estación</b>	<b>Monteana</b>					
<b>P90</b>	86%	3%	7%	3%	0%	<b>38</b>
<b>P50</b>	79%	5%	8%	8%	1%	<b>5</b>

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  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con una media anual de  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

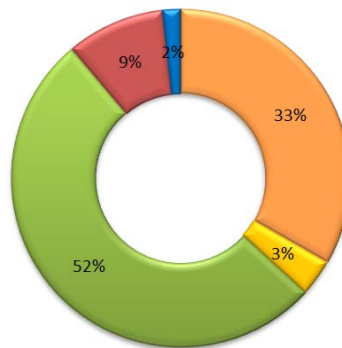
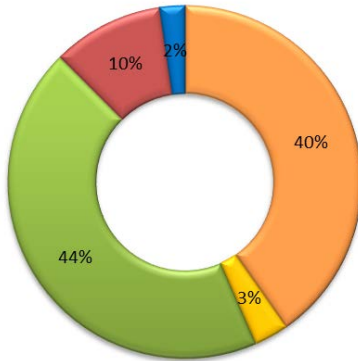
Figura 46. Resultados de modelo para 2013. Representación gráfica de la distribución por Sectores para “P90” y “P50” en los puntos de control



P90

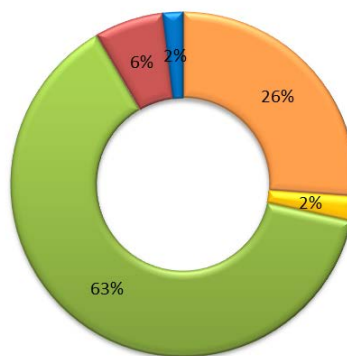
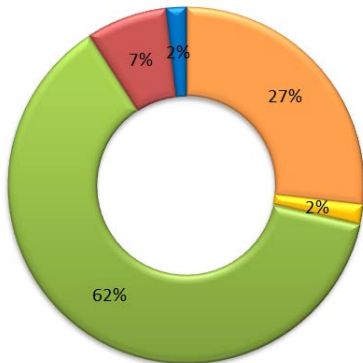
P50

Constitución



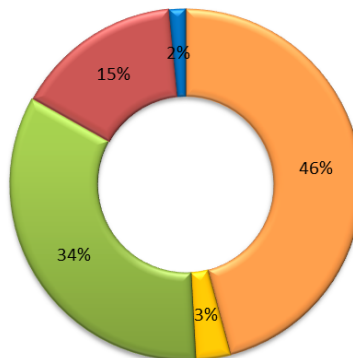
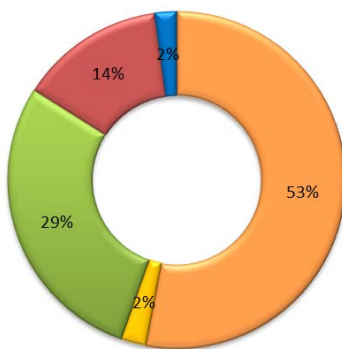
- Industrial
- Difusa Industrial
- Tráfico Urbano
- Tráfico Autonómico y Nacional
- Puerto

Avenida de Castilla



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

Montevil

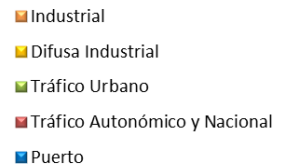
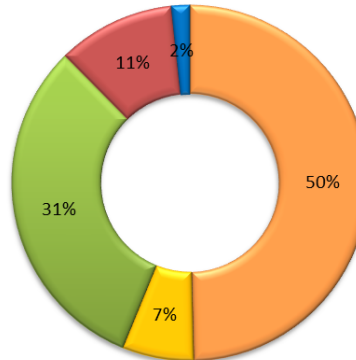
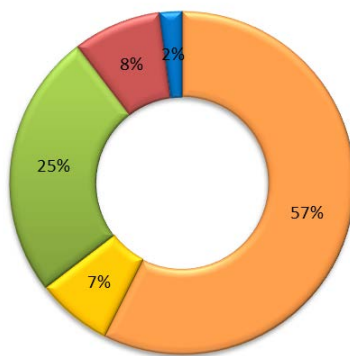


- Industrial
- Difusa Industrial
- Tráfico Urbano
- Tráfico Autonómico y Nacional
- Puerto

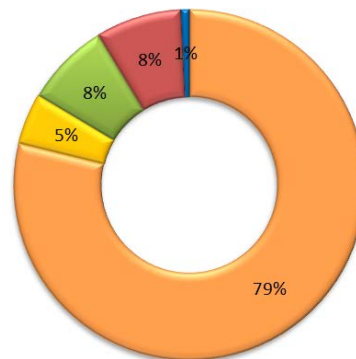
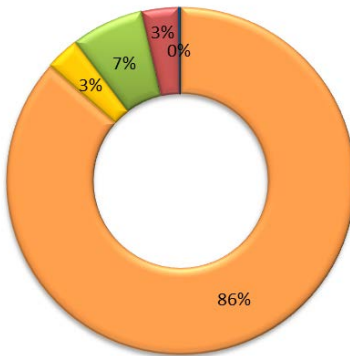
P90

P50

Tremañes



Monteana



Las conclusiones que se pueden extraer de estos resultados son:

- En los puntos de control de las estaciones de Argentina, Montevil, Tremañes y Monteana el sector que tiene más incidencia en los valores modelizados de PM10 para los 182 días del año de mayor contaminación es el Industrial seguido del tráfico urbano, el tráfico Autonómico y Nacional y en último lugar la actividad del Puerto de Gijón.
- El punto de control de Argentina recibe una contribución equivalente del tráfico Autonómico y Nacional y aquella procedente de las emisiones difusas industriales. Así mismo, se observa un aumento en la contribución del sector Industrial de “P90” frente al “P50” lo que indica que existe una relación positiva entre los valores más altos de PM10 obtenidos en esta ubicación y las emisiones debidas a los focos industriales.
- Por su parte, el punto de control ubicado en la estación de Monteana es el que mayor porcentaje de emisiones industriales recibe, contribuyendo en el 84% durante la mitad del año de valores más altos (5% se atribuye a emisiones difusas) y llegando a un 89% (3% emisiones difusas) para los 35 días de valores máximos anuales.
- Por otro lado, los resultados de la modelización en las ubicaciones de las estaciones de Constitución, Avenida de Castilla y Hermanos Felgueroso reflejan una mayor contribución

procedente de las emisiones del tráfico urbano, seguido del sector industrial, el tráfico autonómico y nacional y el sector portuario.

- En general, al comparar la distribución obtenida considerando "P90" frente a "P50", cabe resaltar que en todos los puntos de control excepto en Hermanos Felgueroso se observa un aumento de la contribución del sector industrial, lo que indica una relación positiva entre los valores más altos obtenidos durante el año y las emisiones procedentes de los focos industriales.
- El punto de control de Hermanos Felgueroso se mantiene invariable en cuanto a la contribución del sector industrial al comparar los resultados de "P50" y "P90" entre sí, lo que sugiere que en este caso, el sector industrial no parece ser responsable directo de los mayores valores alcanzados durante el año.
- En todas las ubicaciones, el sector que menos influencia tiene en los valores que resultan de la modelización es el sector portuario seguido de las emisiones difusas industriales.





Figura 47. Representación sobre imagen de satélite de la distribución por sectores en la ubicación de las estaciones de calidad del aire. P50





Figura 48. 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 49 , cada color representa una empresa mientras que el relleno con trama representa el porcentaje de contribución “P50” frente al sólido que se corresponde con el porcentaje “P90”. Así mismo, las líneas indican el valor del percentil 50 y percentil 90.4 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) 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 49 se refieren únicamente al sector industrial, más adelante, en la Figura 50, se representan referidos al conjunto de todos los sectores para cada punto de control.

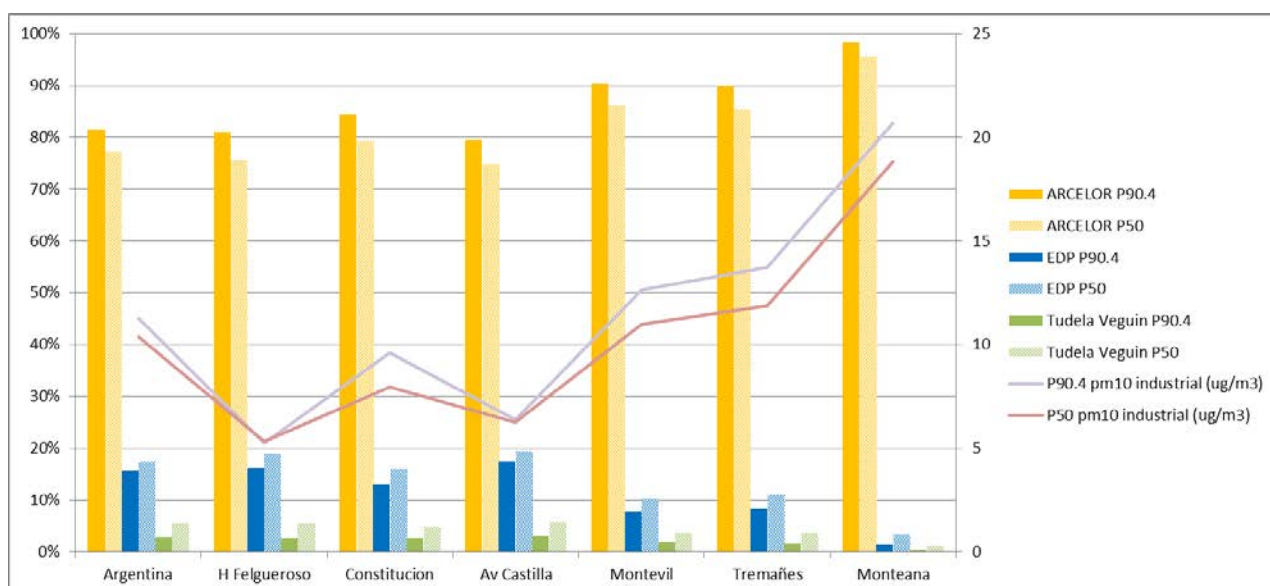


Figura 49. Contribución por empresa y por corte del percentil en cada punto de control. Considerando sólo el sector industrial

Se observa como Arcelor Mittal es la principal industria responsable de los valores de PM10 procedentes del sector industrial en todos puntos de control, con una contribución media en torno al 82%, seguido de EDP con un 14% y finalmente Cementos Tudela Veguín con el 4% para "P50".

En cuanto a la variación "P90" / "P50", se aprecia un ligero aumento de la contribución de Arcelor Mittal (86,5%) en detrimento de EDP (11,5%) y Tudela Veguín (2%) lo que indicaría la procedencia las emisiones que dan lugar a los valores máximos de PM10 ("P90") en todos los puntos de control (estos valores están referidos únicamente a las emisiones debidas a los focos industriales).

A continuación, en la Tabla 13 se muestra la contribución para cada foco concreto referido al 100% del sector industrial.

A la vista de los resultados de la Tabla 13, destacan en todos los puntos de control los focos de Arcelor Mittal correspondientes al "Sinter 1 primario", "Sinter 2 primario", y a los "convertidores 1 y 2". Además destaca con una contribución equivalente el "Grupo 1" de EDP en los puntos de control de las estaciones pertenecientes a la zona urbana de Gijón.

		ARCELOR						EDP				Tudela Veguín		
		SA1	SA2	SB1	SB2	INyec CARBON	Convertidor 1	Convertidor 2	Baterías 1	Baterías 2	G1	G2	Horno 4	Enfriador H4
Argentina	P90	19%	4%	7%	7%	2%	18%	13%	7%	6%	15%	1%	1%	2%
	P50	15%	3%	7%	10%	2%	16%	12%	6%	6%	16%	2%	2%	3%
H Felgueroso	P90	19%	3%	13%	6%	2%	16%	12%	6%	5%	15%	2%	1%	2%
	P50	16%	3%	11%	7%	2%	15%	12%	6%	5%	16%	3%	2%	3%
Constitución	P90	19%	3%	15%	6%	2%	16%	12%	6%	6%	12%	1%	1%	1%
	P50	17%	2%	13%	7%	2%	15%	12%	6%	6%	14%	2%	2%	3%
Av Castilla	P90	19%	3%	12%	6%	2%	16%	12%	6%	5%	16%	2%	1%	2%
	P50	16%	3%	11%	6%	2%	15%	12%	5%	5%	17%	3%	2%	4%
Montevil	P90	25%	2%	18%	5%	2%	15%	12%	6%	6%	7%	1%	1%	1%
	P50	22%	2%	16%	6%	2%	15%	12%	6%	6%	9%	1%	2%	2%
Tremañes	P90	20%	3%	17%	6%	2%	17%	12%	7%	6%	8%	1%	1%	1%
	P50	17%	3%	14%	9%	2%	16%	12%	6%	6%	10%	1%	1%	2%
Monteana	P90	18%	2%	15%	3%	2%	26%	19%	7%	7%	1%	0%	0%	0%
	P50	15%	3%	13%	4%	3%	25%	19%	7%	7%	3%	0%	0%	1%

Tabla 13. Contribución por foco y por corte del percentil en cada punto de control. Considerando únicamente los focos industriales

En la Figura 50 se han referido los porcentajes de contribución por empresa respecto al conjunto de todos los sectores.

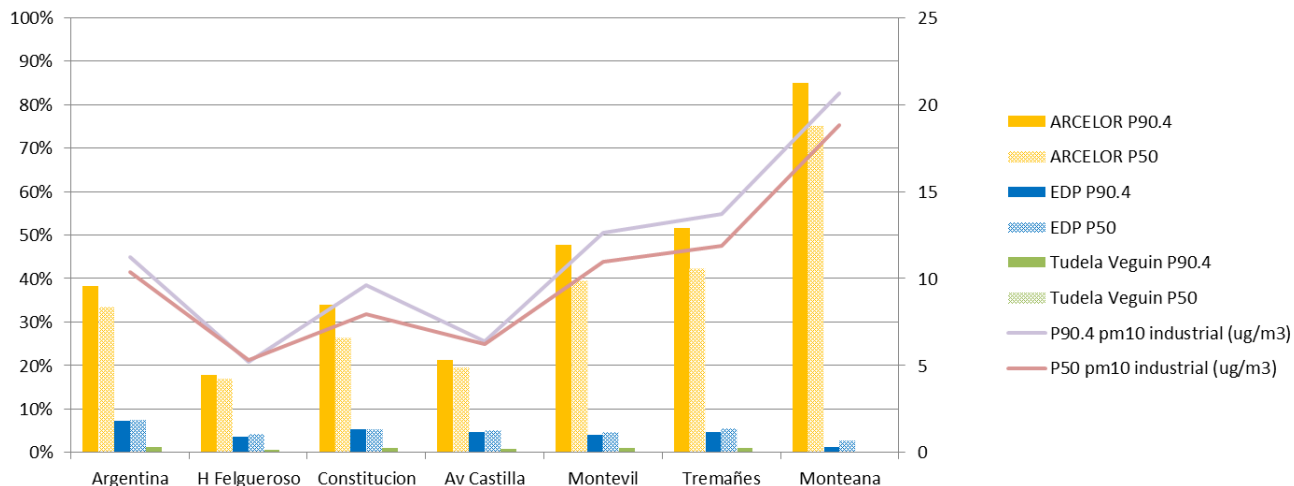


Figura 50. Contribución por empresa y por corte del percentil en cada punto de control. Considerando el conjunto de todos los sectores

Para más detalle en el Anexo 1 se pueden consultar los porcentajes desagregados por foco 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, aproximadamente, 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 Argentina, Tremañes y Monteana.

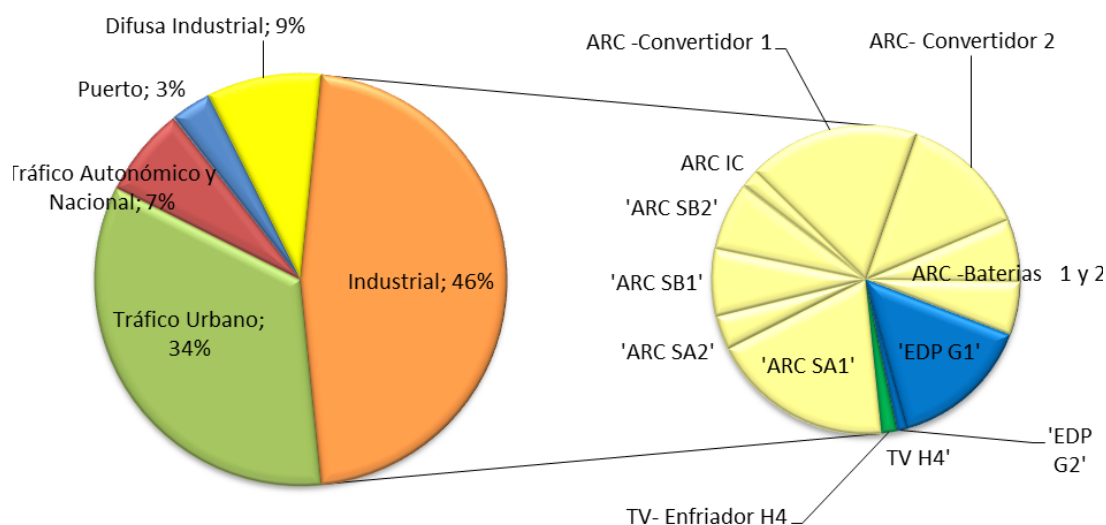


Figura 51. Contribución por sectores y por focos en el punto de control de Argentina. P90

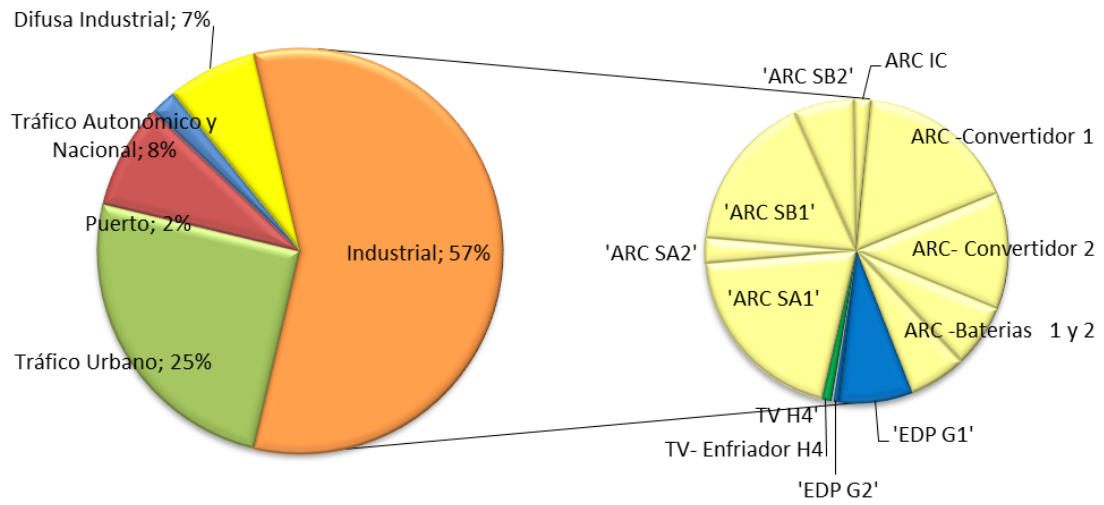


Figura 52. Contribución por sectores y por focos en el punto de control de Tremañes. P90

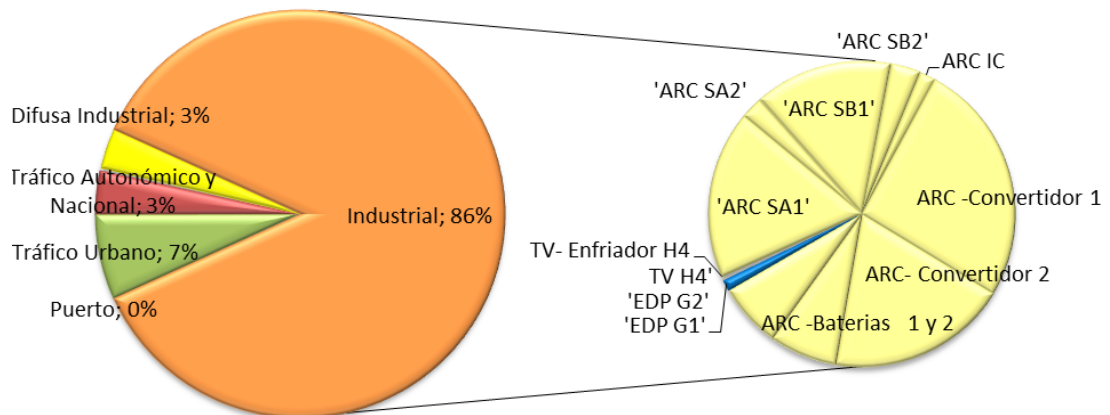


Figura 53. Contribución por sectores y por focos en el punto de control de Montaña. P90

## 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 las horas de mayor contaminación, el área donde su contribución es superior al resto de sectores, aumenta.
- Por otro lado, la zona del ámbito de estudio donde las emisiones debidas al tráfico urbano es predominante en los niveles de contaminación de partículas es aquella correspondiente a la zona este de núcleo urbano de Gijón ya que, fundamentalmente, se trata de la zona urbana más alejada de las fuentes industriales.
- La escasa dispersión de las emisiones difusas debidas a los movimientos de materiales y erosión de viento en los parques de almacenamiento de las industrias así como del puerto de Gijón, implica que sean éstas las que más contribución tienen en las cercanías de dichas fuentes sobre los niveles de PM10 calculados. Además son las que provocan los niveles absolutos más altos del estudio (hasta  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el P50 y  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el P90.4), siempre en su entorno más cercano.
- Respecto a los puntos de control, se observa que los correspondientes a la estación de Argentina y Hermanos Felgueroso poseen un valor para el percentil 50 de las concentraciones medias diarias modelizadas de PM10 entre  $10\text{-}15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que para el resto de puntos de control este valor se sitúa entre  $5\text{-}10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En el caso de los valores del percentil 90.4, todos los puntos de control pasan a estar comprendidos entre los niveles de  $20$  a  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  excepto Montevil que se encuentra por debajo de los  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y Montearna en torno a los  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- Al reducir el ámbito a la zona concreta del núcleo urbano de Gijón, se observa que la contaminación por PM10 recibida (valor medio anual de inmisión) procede principalmente del tráfico, en concreto al tráfico urbano (55%) y en menor medida al tráfico autonómico y nacional (9%). En segundo lugar, destaca la procedencia de emisiones de PM10 del sector industrial, que en total supone el 33% del valor medio anual calculado. En concreto, el 4% se debe a emisiones difusas de los parques de almacenamiento. La actividad Portuaria también aporta, aunque levemente, llegando a un 2% sobre el valor medio anual.
- Respecto a la contribución en los puntos de control Argentina, Montevil, Tremañes y Montearna, el sector que más incidencia tiene en los valores modelizados de PM10 es el industrial, seguido del tráfico urbano, el tráfico autonómico y nacional y en último lugar la actividad del Puerto de Gijón. En cambio, en Constitución, Avenida de Castilla y Hermanos Felgueroso, se observa una mayor contribución procedente de las emisiones del tráfico urbano, seguido del sector industrial, el tráfico autonómico y nacional y el sector portuario.



- En general, al comparar la distribución obtenida considerando P90 / P50 en todos los puntos de control, excepto en Hermanos Felgueroso, se observa un aumento de la contribución del sector industrial, lo que indica una relación positiva entre los valores más altos obtenidos y las emisiones procedentes de los focos industriales.

En concreto, en Argentina, durante los 35 días de mayor concentración de PM10, se incrementa la contribución del sector industrial en 4% debido a focos puntuales, 1% debido a fuentes difusas y otro 1% debido a las fuentes difusas portuarias.

En cuanto a la contribución por focos industriales se puede concluir que:

- Arcelor Mittal es la empresa que más contribuye a los valores de PM10 procedentes del sector industrial a tenor de los resultados modelizados en todos puntos de control, con una contribución media en torno al 82%, seguido de EDP con un 14% y finalmente Cementos Tudela Veguín con el 4%.
- Los focos que destacan por su contribución en los niveles de PM10 calculados en todos los puntos de control sobre el resto de focos son “Sinter 1 primario”, “Sinter 2 primario” y los “convertidores 1 y 2” de Arcelor Mittal y el “Grupo 1” de EDP, destacando éste último sólo en aquellos puntos de control ubicados dentro de la zona urbana de Gijón.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Plan de Mejora de la Calidad del Aire en la Aglomeración de Gijón (ES0304), 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.

## ANEXOS

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

	P	'ARC SA1'	'ARC SA2'	'ARC SB1'	'ARC SB2'	ARC IC	ARC - Convertidor 1	ARC- Convertidor 2	ARC- Baterías 1	ARC - Baterías 2	'EDP G1'	'EDP G2'	'TV H4' 2	'TV H4n'	TV- Enfriador H4	Difusa Industrial	Tráfico Urbano	Tráfico Autonómico y Nacional	Puerto
<b>Argentina</b>	90	9%	2%	3%	3%	1%	8%	6%	3%	3%	7%	0%	0%	0%	1%	9%	34%	7%	3%
	50	6%	1%	3%	4%	1%	7%	5%	3%	2%	7%	1%	1%	0%	1%	8%	38%	8%	2%
<b>H Felgueroso</b>	90	4%	1%	3%	1%	0%	3%	3%	1%	1%	3%	0%	0%	0%	0%	2%	67%	7%	2%
	50	4%	1%	3%	1%	0%	3%	3%	1%	1%	4%	1%	0%	0%	1%	2%	69%	6%	1%
<b>Constitución</b>	90	8%	1%	6%	2%	1%	6%	5%	3%	3%	5%	0%	0%	0%	1%	3%	44%	10%	2%
	50	5%	1%	4%	2%	1%	5%	4%	2%	2%	5%	1%	0%	0%	1%	3%	52%	9%	2%
<b>Av Castilla</b>	90	5%	1%	3%	2%	0%	4%	3%	1%	1%	4%	0%	0%	0%	1%	2%	62%	7%	2%
	50	4%	1%	3%	2%	1%	4%	3%	1%	1%	4%	1%	0%	0%	1%	2%	63%	6%	2%
<b>Montevil</b>	90	13%	1%	9%	3%	1%	8%	7%	3%	3%	4%	0%	0%	0%	1%	2%	29%	14%	2%
	50	10%	1%	7%	3%	1%	7%	6%	3%	3%	4%	1%	0%	0%	1%	3%	34%	15%	2%
<b>Tremañes</b>	90	11%	2%	10%	4%	1%	10%	7%	4%	3%	4%	0%	0%	0%	1%	7%	25%	8%	2%
	50	8%	1%	7%	4%	1%	8%	6%	3%	3%	5%	1%	0%	0%	1%	7%	31%	11%	2%
<b>Monteana</b>	90	15%	2%	13%	3%	2%	22%	16%	6%	6%	1%	0%	0%	0%	0%	3%	7%	3%	0%
	50	12%	2%	10%	4%	2%	19%	15%	6%	6%	2%	0%	0%	0%	1%	5%	8%	8%	1%



**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



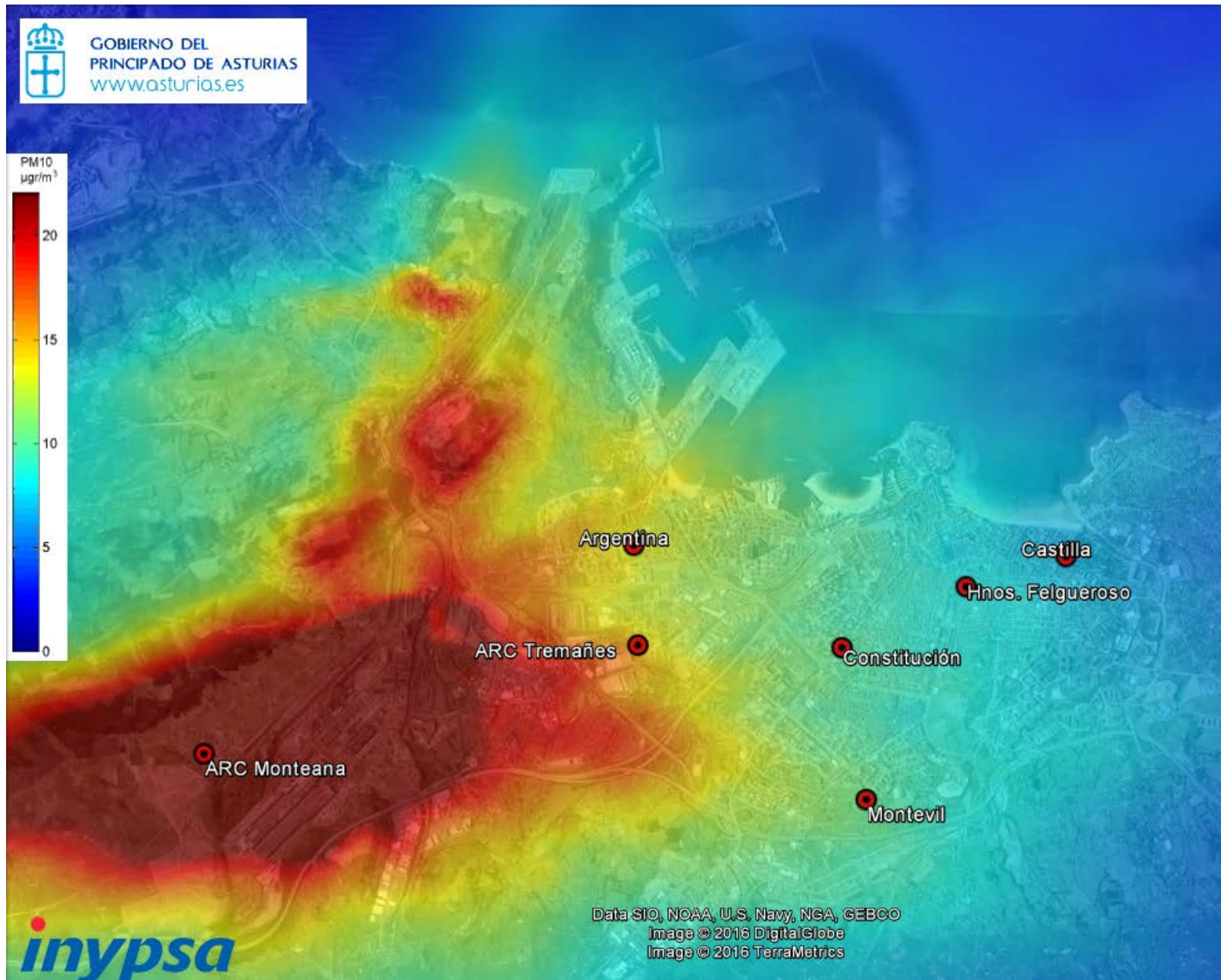


Figura 2. Percentil 90.4 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Sector industrial canalizado



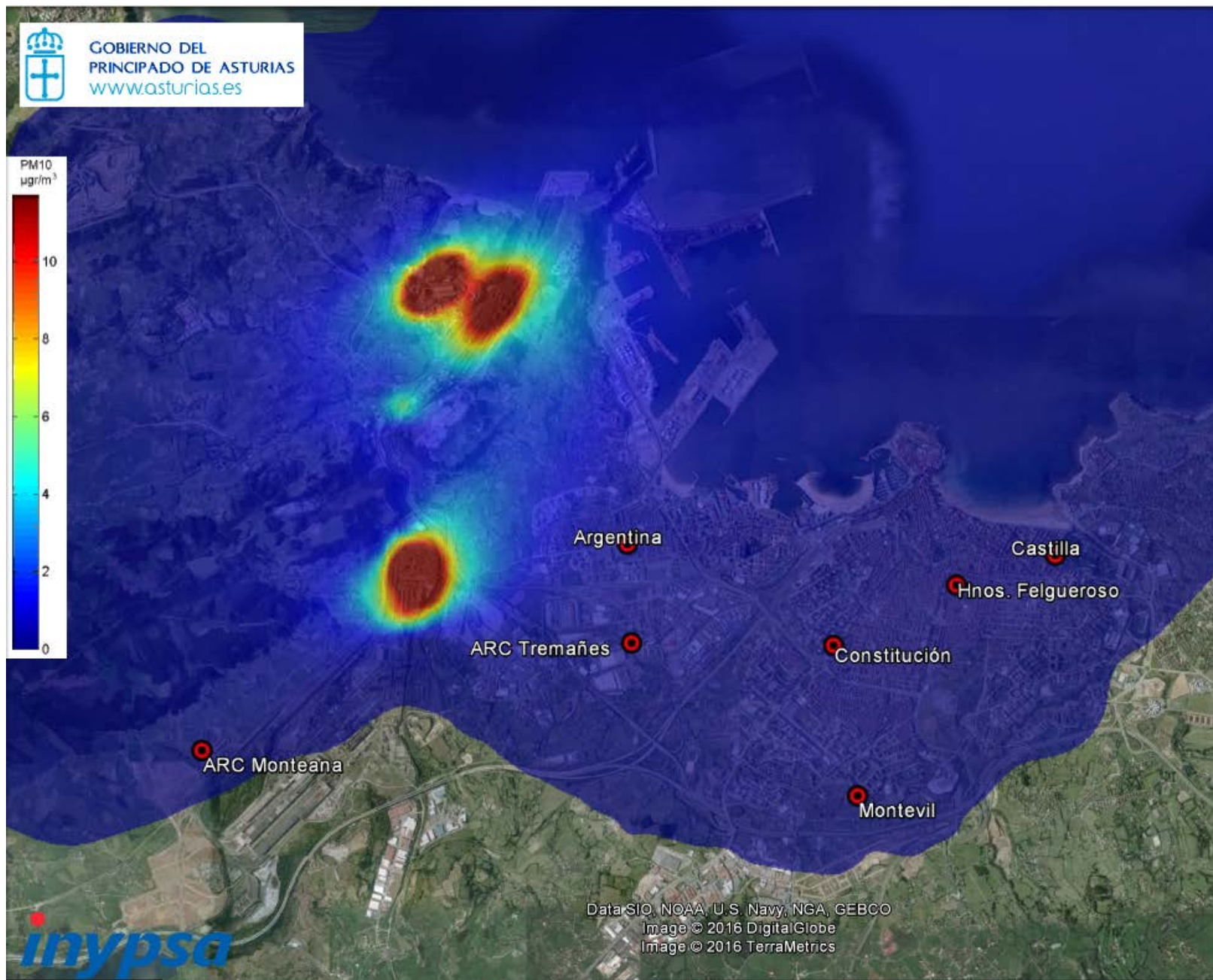


Figura 3. Percentil 50 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Sector industrial difuso

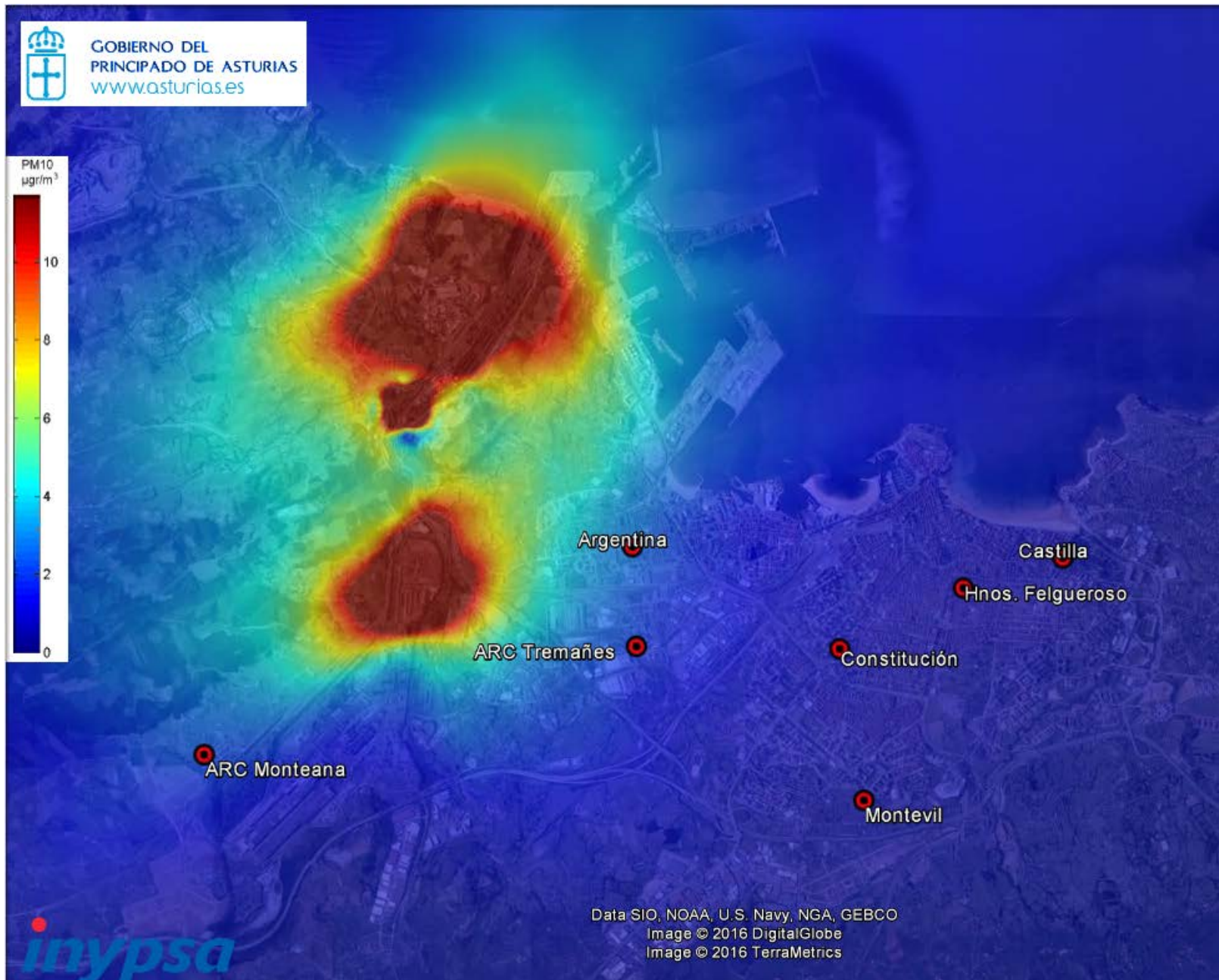


Figura 4. Percentil 90.4 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Sector industrial difuso



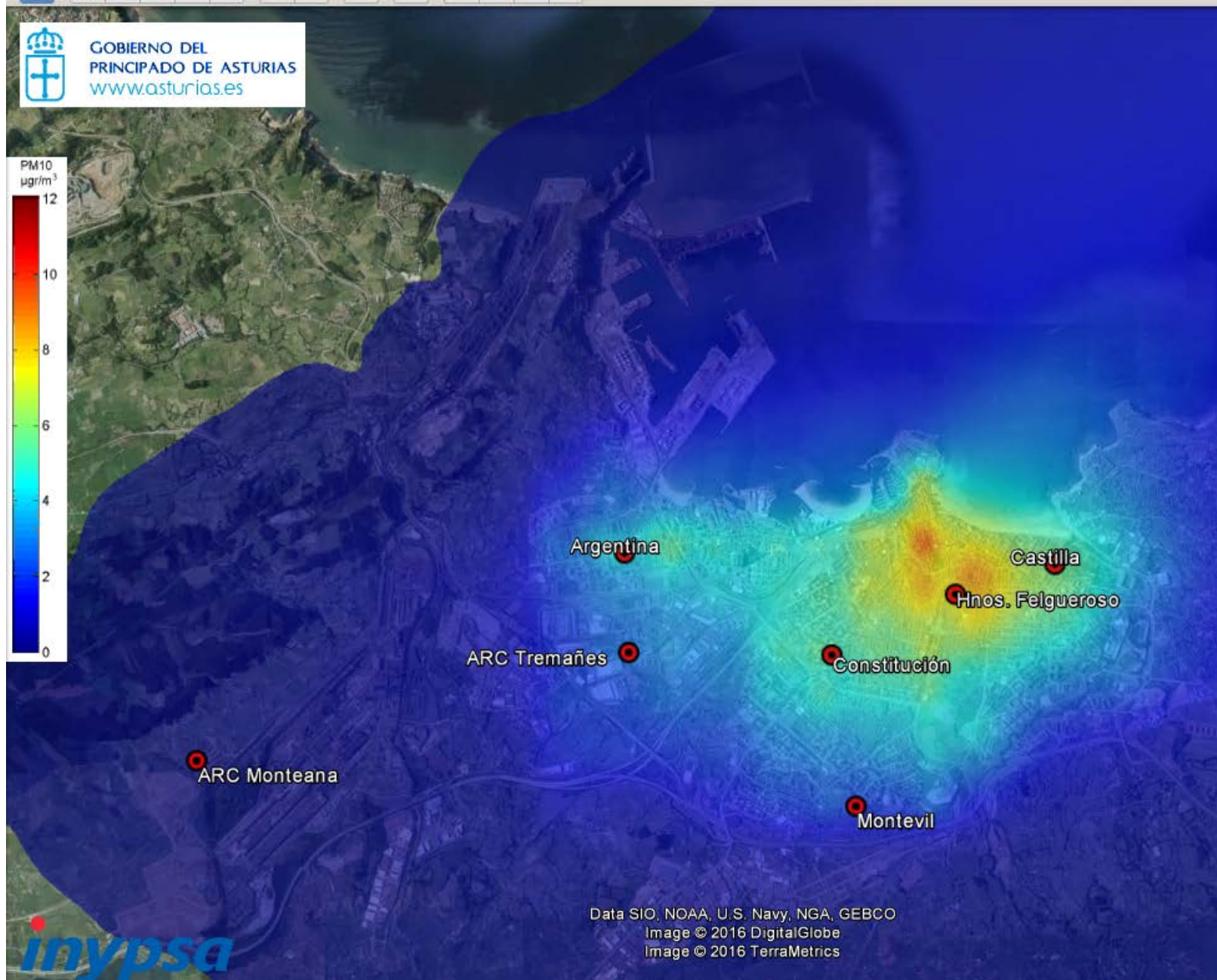


Figura 5. Percentil 50 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Tráfico urbano

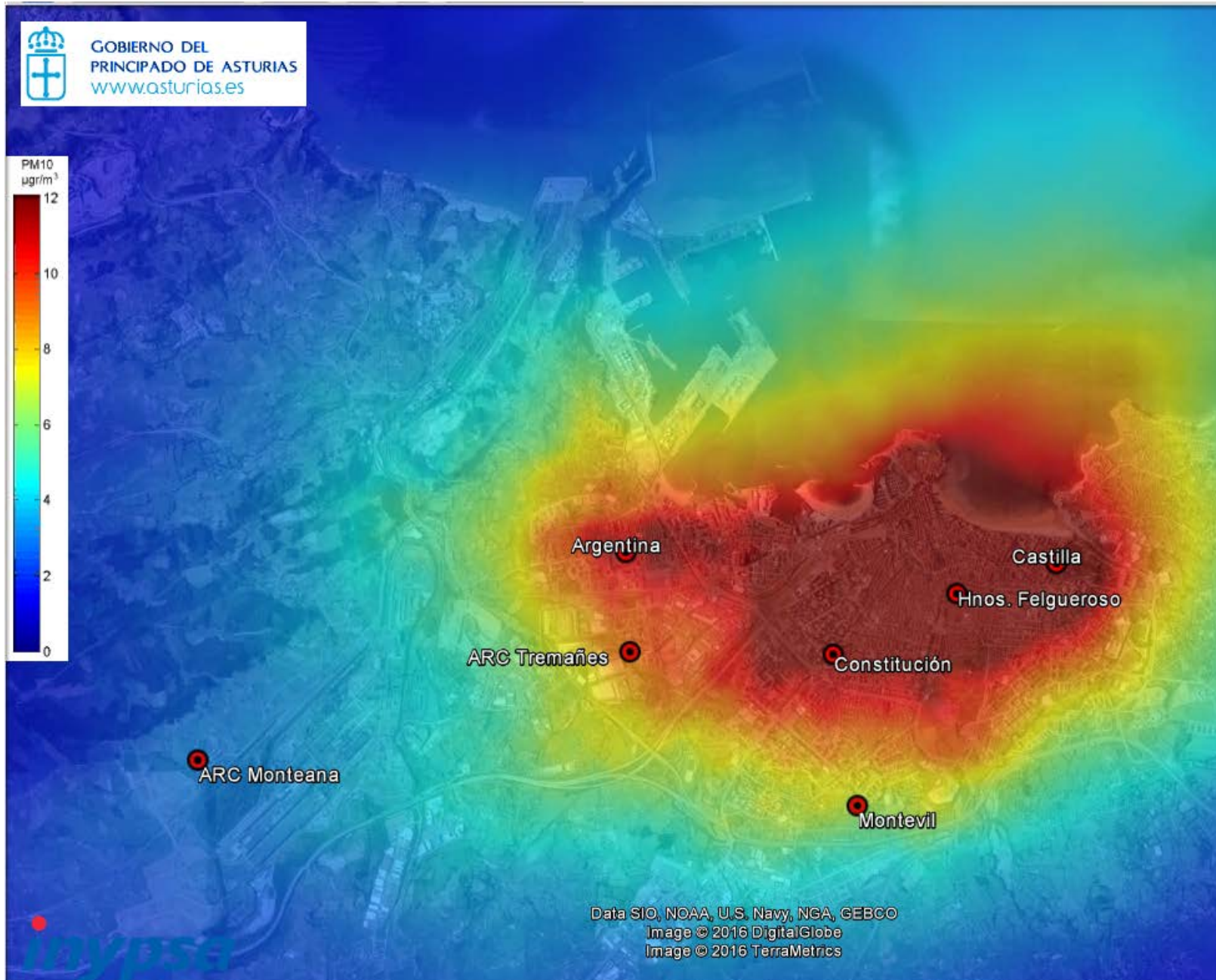


Figura 6. Percentil 90.4 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Tráfico urbano



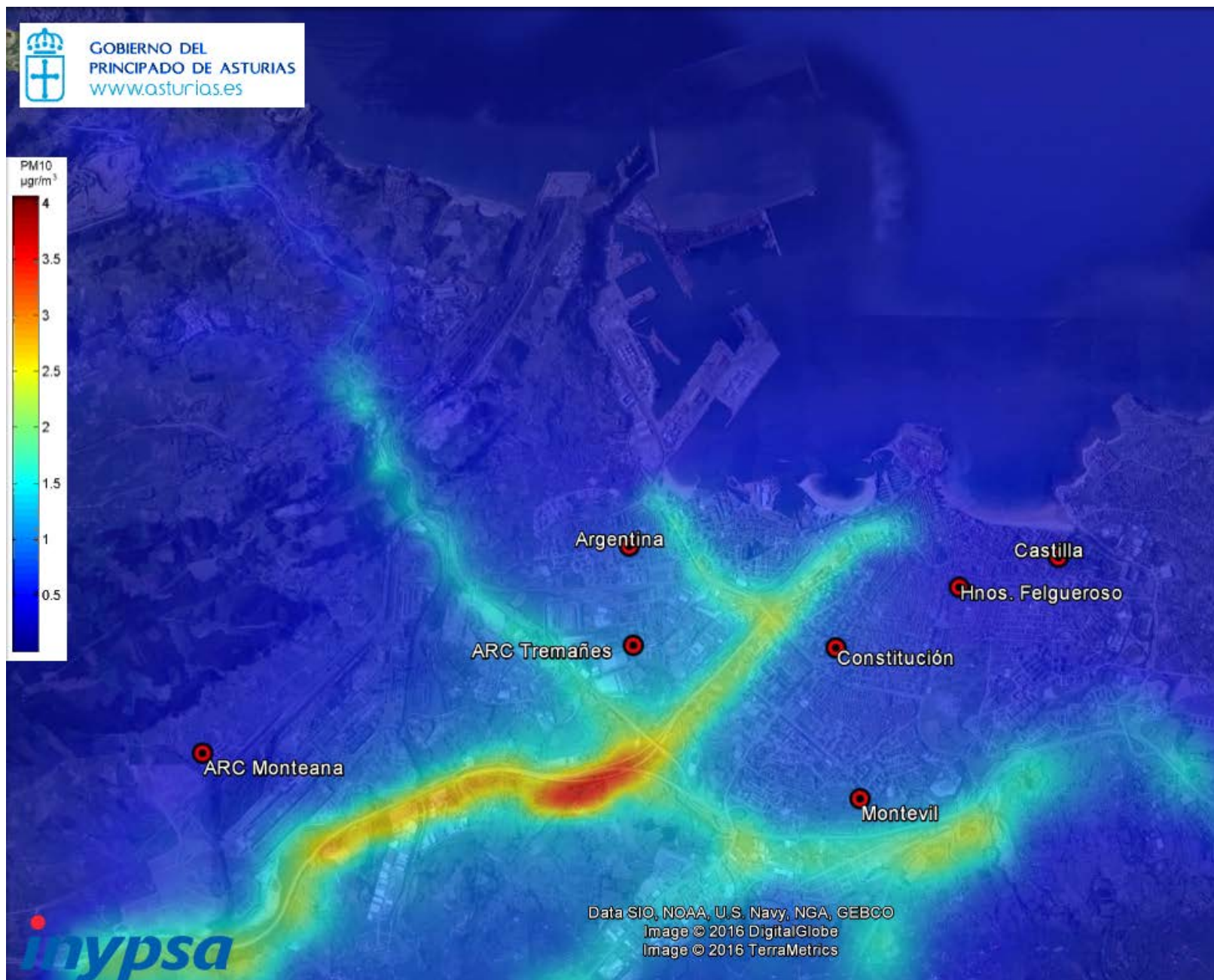


Figura 7. Percentil 50 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Tráfico autonómico y nacional





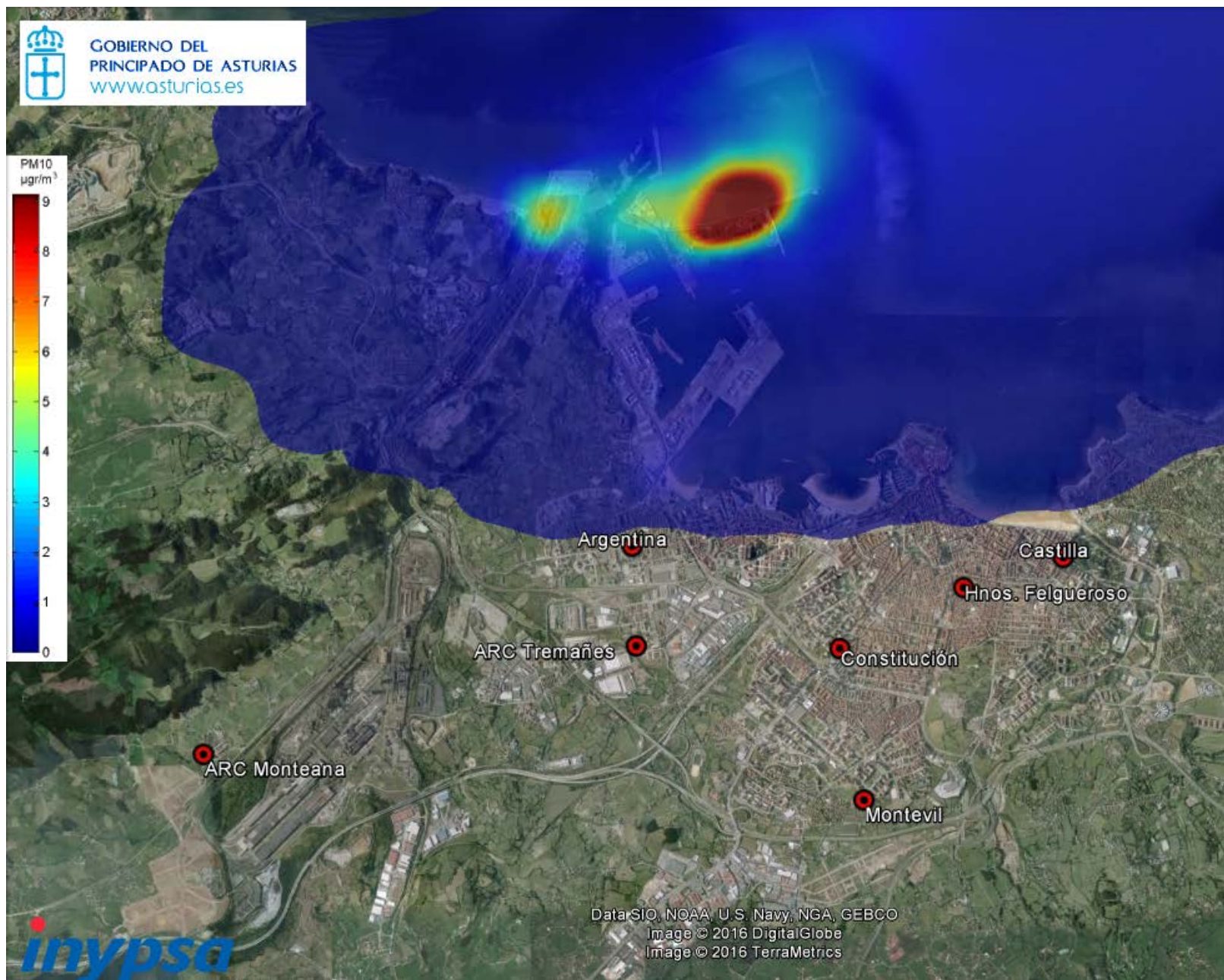


Figura 9. Percentil 50 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Sector Portuario

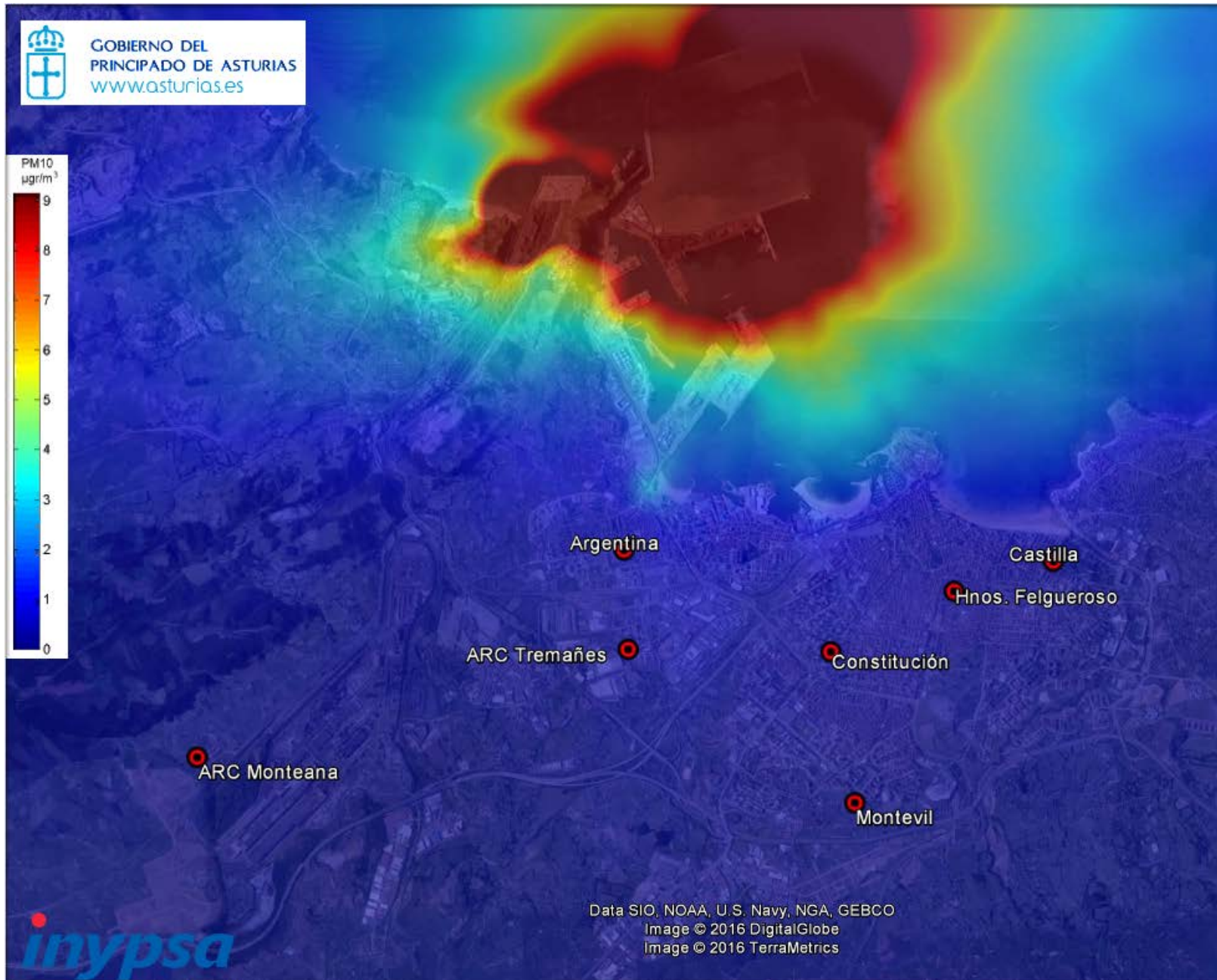


Figura 10. Percentil 90.4 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Sector Portuario



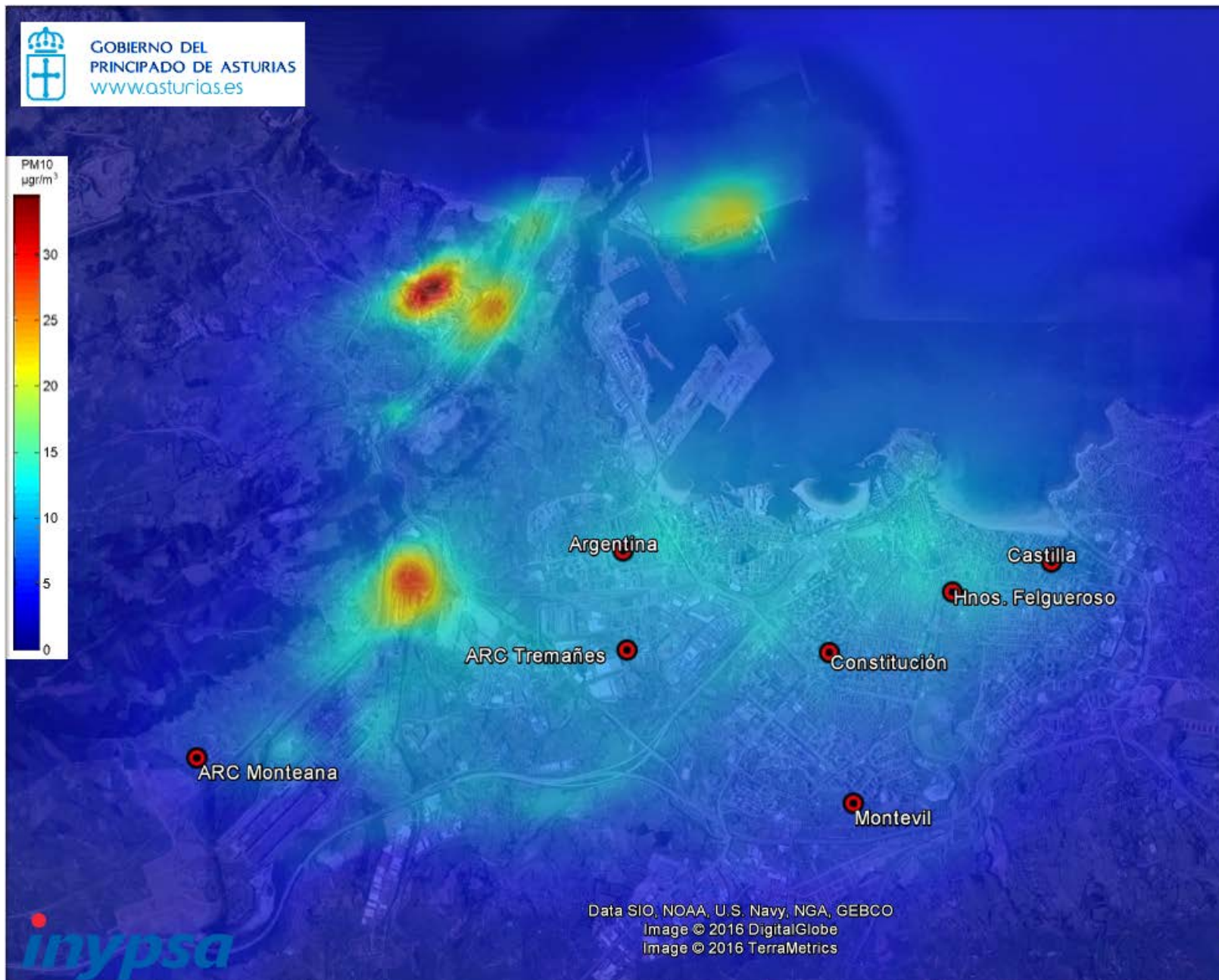


Figura 11. Percentil 50 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Todos los sectores

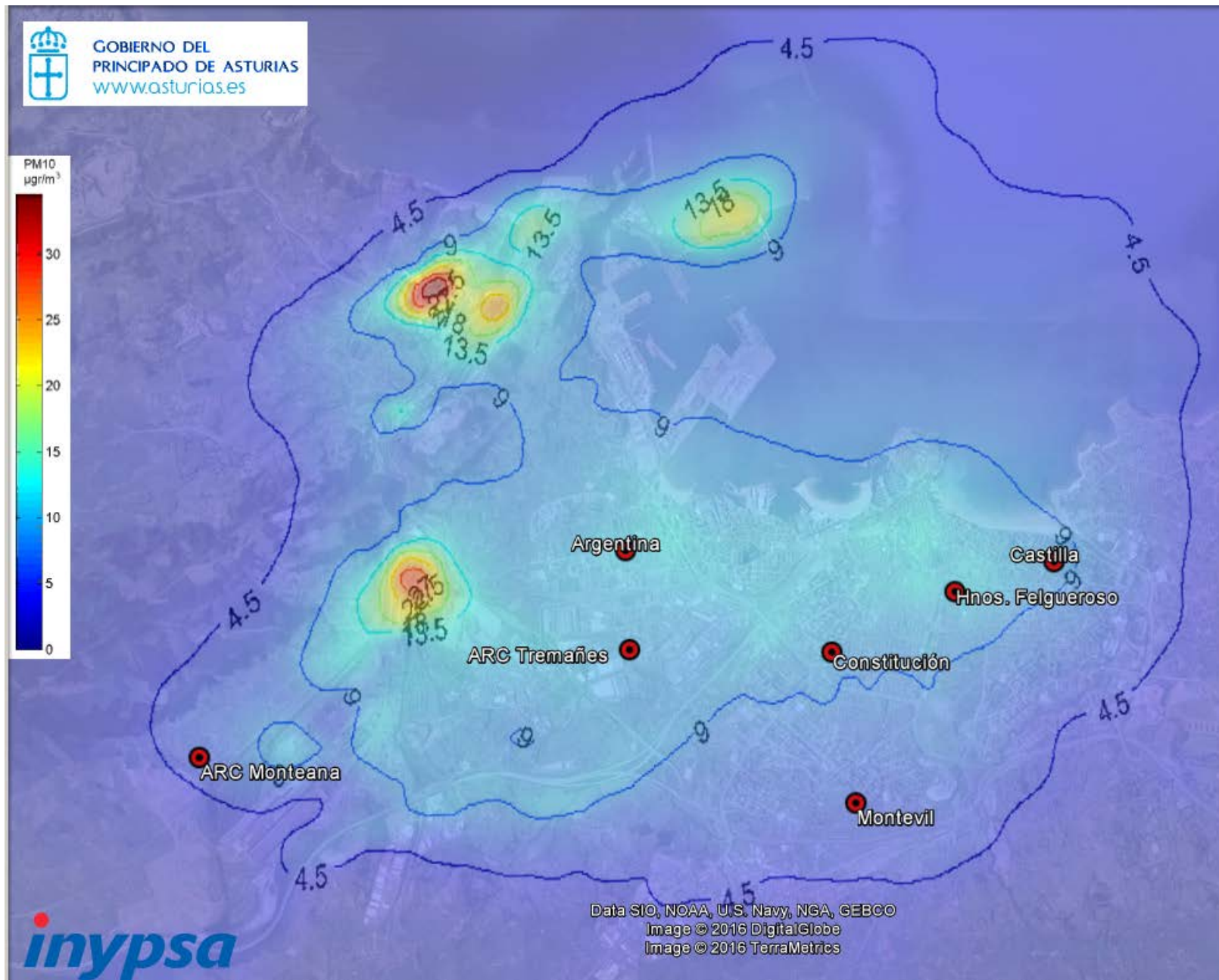


Figura 12. Curvas de Isoconcentración del Percentil 50 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Todos los sectores



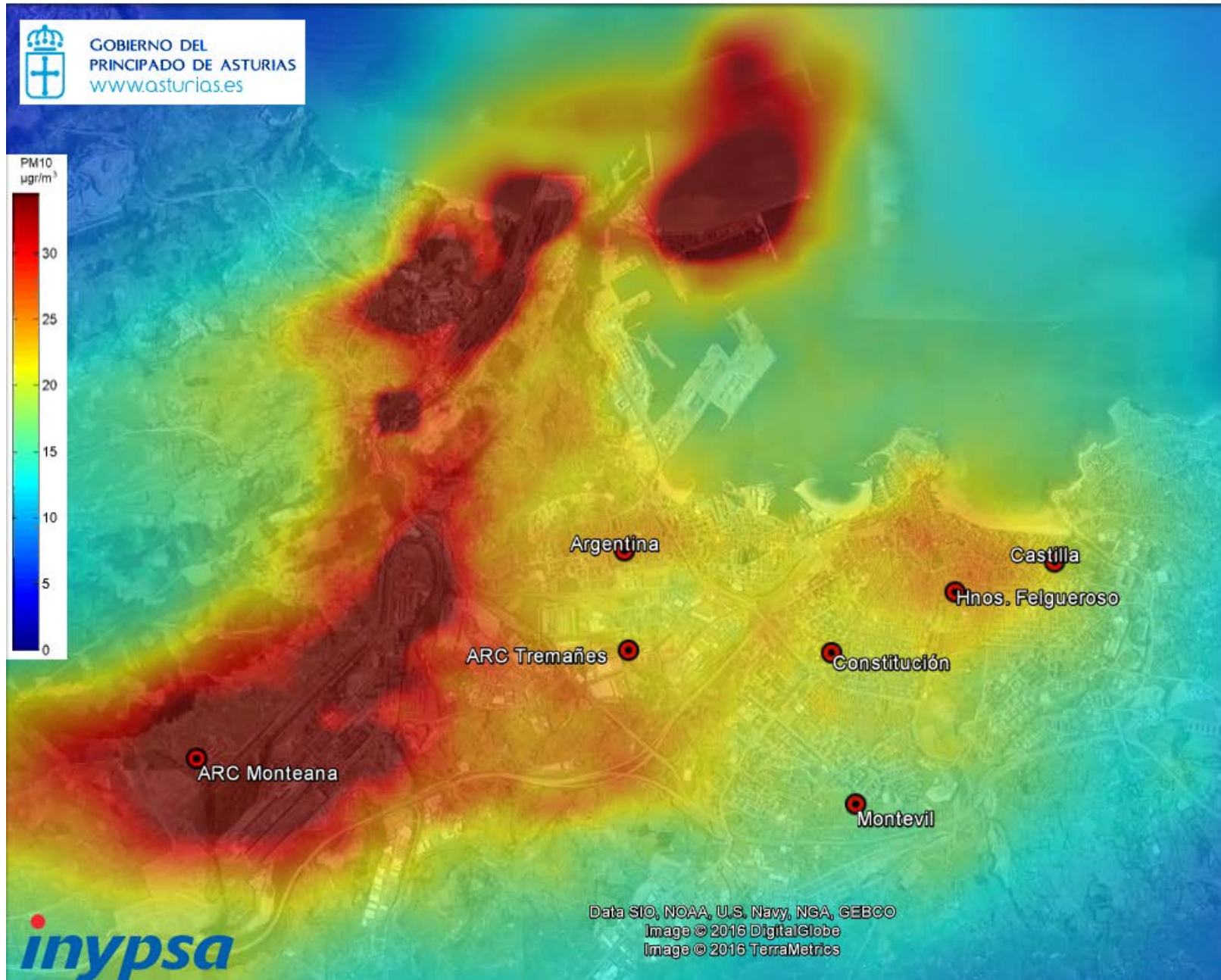


Figura 13. Percentil 90.4 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Todos los sectores

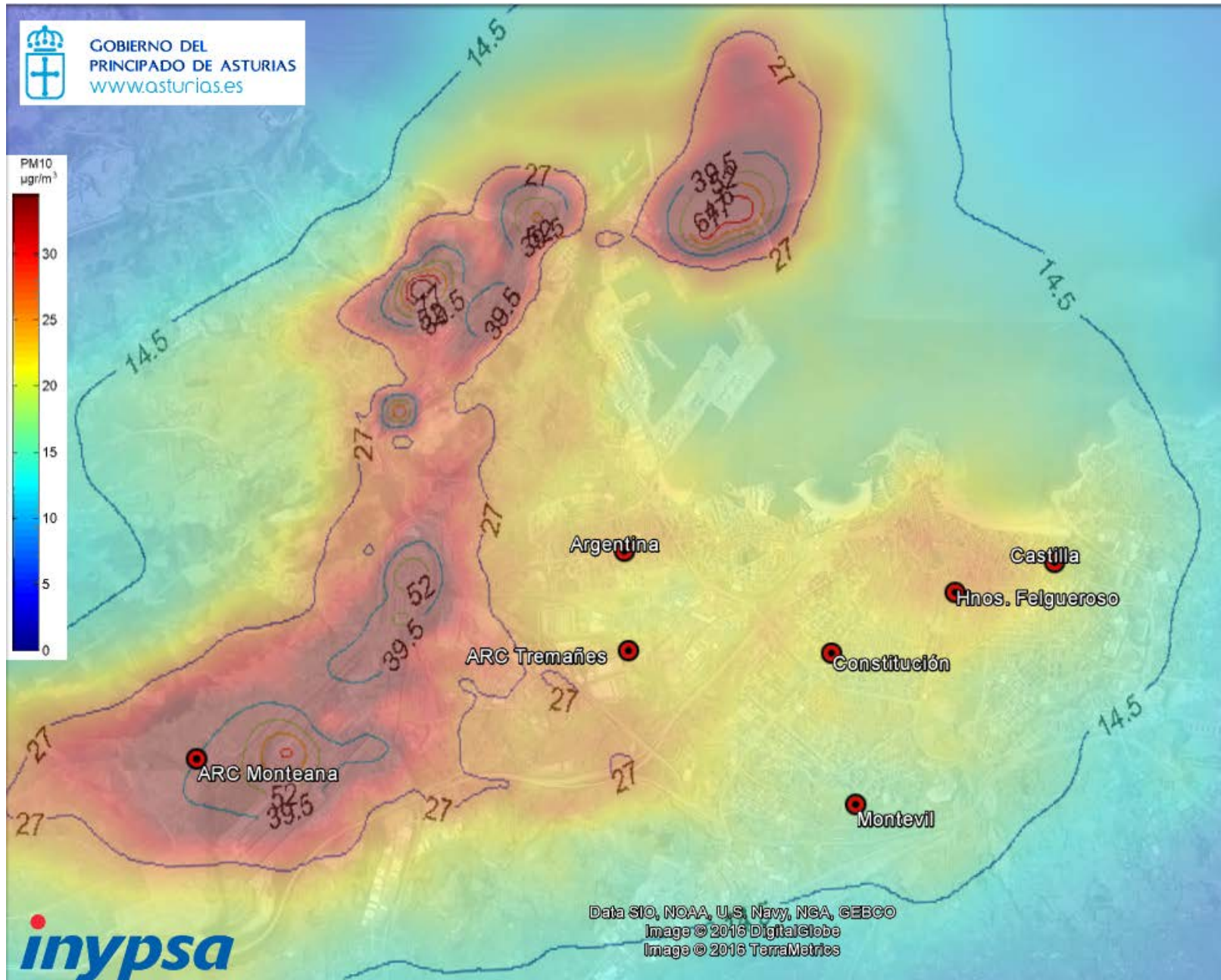


Figura 14. Curvas de Isoconcentración del Percentil 90.4 de los valores medios horarios de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) modelizados. Año 2013. Todos los sectores