

# Influencia del aerosol marino en la concentración de $PM_{10}$ en A Coruña en 2020

Superaciones del valor límite diario de  
 $PM_{10}$  en la estación de calidad del aire  
Torre de Hércules (15030027)



XUNTA  
DE GALICIA

## **EQUIPO DE TRABAJO**

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda  
Dirección Xeral de Calidade Ambiental, Sostibilidade e Cambio Climático

### **María Luz Macho Eiras**

*Subdirectora Xeral de Meteoroloxía e Cambio Climático.*

## **CALIDAD DEL AIRE:**

### **Nuria Gallego Fernández**

*Jefa de Sección de Calidad del Aire*

### **Anthony David Saunders Estévez**

*Técnico Superior de Calidad del Aire*

### **Paula Costa Tomé**

*Técnico Superior de Calidad del Aire*

### **Cristina Otero Martínez**

*Técnico Especialista de Calidad del Aire*

## **LMAG:**

### **Lucas Luis Blanes Fernández**

*Director del Laboratorio de Medio Ambiente de Galicia (LMAG)*

### **Erea Estévez Campos**

*Técnico Analista de Laboratorio (LMAG)*

### **Asunción Marchante Hernández**

*Técnico Superior. Responsable de análisis en soporte de toma de muestras del aire ambiente (LMAG)*

### **David Cristóbal Rego**

*Técnico Auxiliar de Laboratorio (LMAG)*

### **Ana Vázquez Rodríguez**

*Técnico Superior de laboratorio (LMAG)*

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	4
2. DATOS DE PM EN EL ÁREA METROPOLITANA DE A CORUÑA EN 2020.....	7
3. ANTECEDENTES .....	10
4. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN DE LA SAL MARINA EN LA FRACCIÓN PM <sub>10</sub> DE LA MATERIA PARTICULADA .....	13
4.1. Cuantificación de los episodios de sal marina.....	14
5. ESTUDIO DE LA CONTRIBUCIÓN DEL AEROSOL MARINO EN LA CONCENTRACIÓN DE PM <sub>10</sub> EN LA ESTACIÓN TORRE DE HÉRCULES EN 2020.....	17
5.1. Muestreo y determinación gravimétrica .....	17
5.2. Determinación de la concentración de Na <sup>+</sup> en los filtros muestreados .....	19
5.3. Cálculo de la concentración de aerosol marino y su descuento en la fracción PM <sub>10</sub> ..	20
5.4. Estudio de la dirección del viento y retrotrayectorias de las masas de aire.....	26
5.5. Estudio de la relación de altura de olas y concentración de PM <sub>10</sub> .....	31
6. Conclusiones.....	33
Anexo 1: Resultados de la concentración de PM <sub>10</sub> y aerosol marino en los días de muestreo con captador de alto volumen en el año 2020 en la estación Torre de Hércules. ....	35
Anexo 2: Retrotrayectorias de los días con superación del VLD de PM <sub>10</sub> en la estación Torre de Hércules en 2020.....	45

## 1. INTRODUCCIÓN

La estación Torre de Hércules, junto con las estaciones Riazor, A Grela y San Pedro, evalúa la calidad del aire en la zona ES1219, coincidente con el Área Metropolitana de A Coruña, ya que según el artículo 5 de la Ley 8/2002, de protección del ambiente atmosférico de Galicia, se define aglomeración como el área con una concentración de población de más de 50.000 habitantes.

*Tabla 1. Códigos de las estaciones de la zona Área Metropolitana de A Coruña.*

Nome estación	Código estación EOI	Código local estación	Código Zona
<b>Torre de Hércules</b>	ES1957A	15030027	ES1219
<b>Riazor<sup>(1)</sup></b>	ES1138A	15030001	
<b>A Grela</b>	ES1798A	15030021	
<b>San Pedro</b>	ES2048A	15030028	

<sup>(1)</sup>La estación de Riazor no estuvo operativa en 2020 debido a las obras llevadas a cabo en el espacio Amizar, donde se ubica.

En la *Imagen 1* se puede observar la localización de las cuatro estaciones pertenecientes al Área Metropolitana de A Coruña y en la *Tabla 2* se indica la clasificación de cada estación.



*Imagen 1. Localización de las estaciones de calidad del aire del Área Metropolitana de A Coruña.*

Tabla 2. Clasificación de las estaciones del Área Metropolitana de A Coruña.

Nome estación	Tipo de estación	Tipo de área
<b>Torre de Hércules</b>	Fondo	Suburbana
<b>Riazor</b>	Tráfico	Urbana
<b>A Grela</b>	Industrial	Urbana
<b>San Pedro</b>	Industrial	Suburbana

La estación Torre de Hércules es una estación de fondo suburbana, situada a 200 metros del mar, cerca del paseo marítimo y de la Torre de Hércules, en el recinto del C.I.F.P. Ánxel Casal de Monte Alto, como se puede ver en la *Imagen 2*. En esta estación se realiza el cálculo del IME (índice de exposición media), según el anexo XIII del Real Decreto 102/2011.



Imagen 2. Localización de la estación de calidad del aire Torre de Hércules.

El primer año en que se superó en más de 35 ocasiones el valor límite diario (VLD) en esta estación fue en 2014. Inicialmente, el trabajo estuvo centrado en la búsqueda de las causas de las superaciones del VLD de PM<sub>10</sub> en A Coruña y, una vez encontradas, se planteó el objetivo explícito para dar cumplimiento al artículo 20 de la Directiva 2008/50/CE. La investigación de los hechos

realizada concluyó que las superaciones eran atribuibles a una fuente natural, el aerosol marino. El informe del estudio realizado se puede consultar en:

[https://www.meteogalicia.gal/datosred/infoweb/caire/informes/ESTUDIO/ES/Informe\\_Aerosol\\_Marino\\_Coruna.pdf](https://www.meteogalicia.gal/datosred/infoweb/caire/informes/ESTUDIO/ES/Informe_Aerosol_Marino_Coruna.pdf)

En los sucesivos años se repitió esta circunstancia y se aplicó de nuevo el procedimiento para determinar la contribución de la sal marina en  $PM_{10}$ , descrito en el Documento de Trabajo de la Comisión del 15/02/2011, donde se establecen las directrices para la demostración y sustracción de las superaciones atribuibles a fuentes naturales conforme la Directiva 2008/50/CE relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa.

Los informes de los diversos estudios realizados a lo largo de los años se pueden consultar en la web de MeteoGalicia, en el apartado publicaciones de calidad del aire:

[https://www.meteogalicia.gal/Caire/informesCaire.action?request\\_locale=es](https://www.meteogalicia.gal/Caire/informesCaire.action?request_locale=es)

## 2. DATOS DE PM EN EL ÁREA METROPOLITANA DE A CORUÑA EN 2020

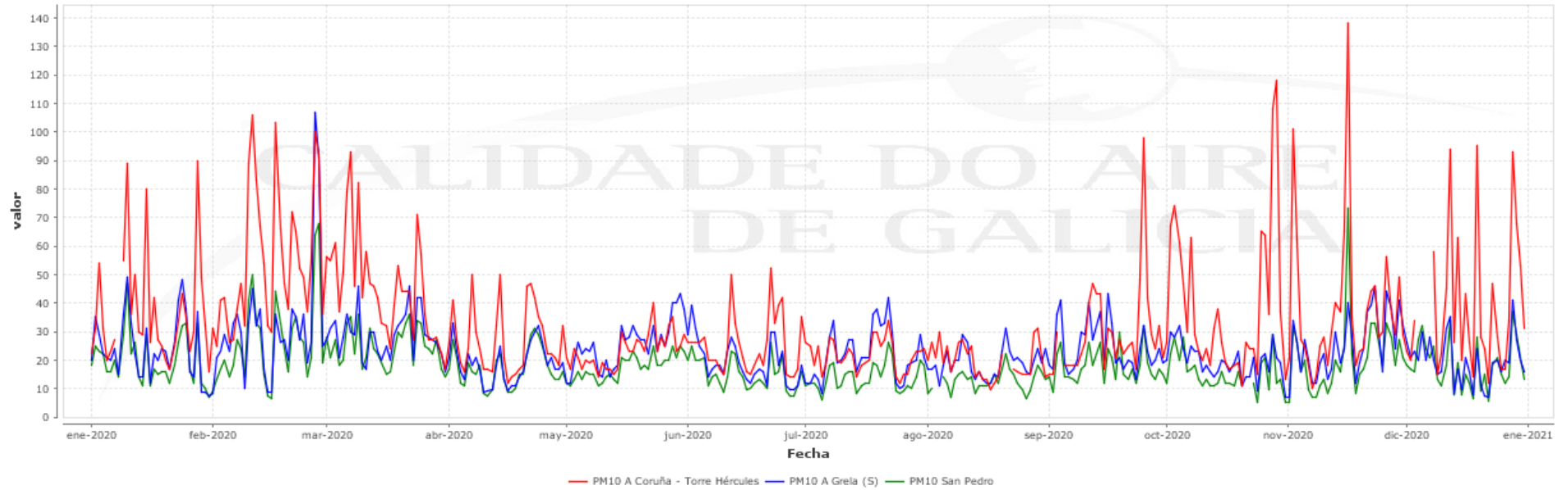
Si comparamos los datos registrados en 2020 de las tres estaciones de calidad del aire de A Coruña (la estación Riazor no estuvo operativa debido a las obras llevadas a cabo en el espacio Amizar donde está ubicada) se observa que en la estación Torre de Hércules, pese a ser una estación de fondo, se registraron concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> más elevadas que en las estaciones que sufren aportación industrial (ver *Gráfica 1-2*). Esto evidencia el peculiar comportamiento del material particulado en esta estación tan próxima al mar, donde además se observa que las concentraciones más altas se dan principalmente en los meses de otoño e invierno.

En la *Tabla 3* se muestran los estadísticos de PM<sub>10</sub> de las tres estaciones. En las estaciones industriales A Grela y San Pedro tan solo se registraron 2 y 3 superaciones del valor límite diario respectivamente, mientras que en Torre de Hércules se registraron 51 superaciones.

*Tabla 3. Estadísticos de PM10 del año 2020 de las estaciones del Área Metropolitana de A Coruña.*

Estación	SUP VLD (50 µg/m <sup>3</sup> )	Media anual (µg/m <sup>3</sup> )	Percentil 90,4	Datos válidos
Torre de Hércules	51	33	61	97,8%
A Grela	2	23	36	100%
San Pedro	3	18	29	98,1%

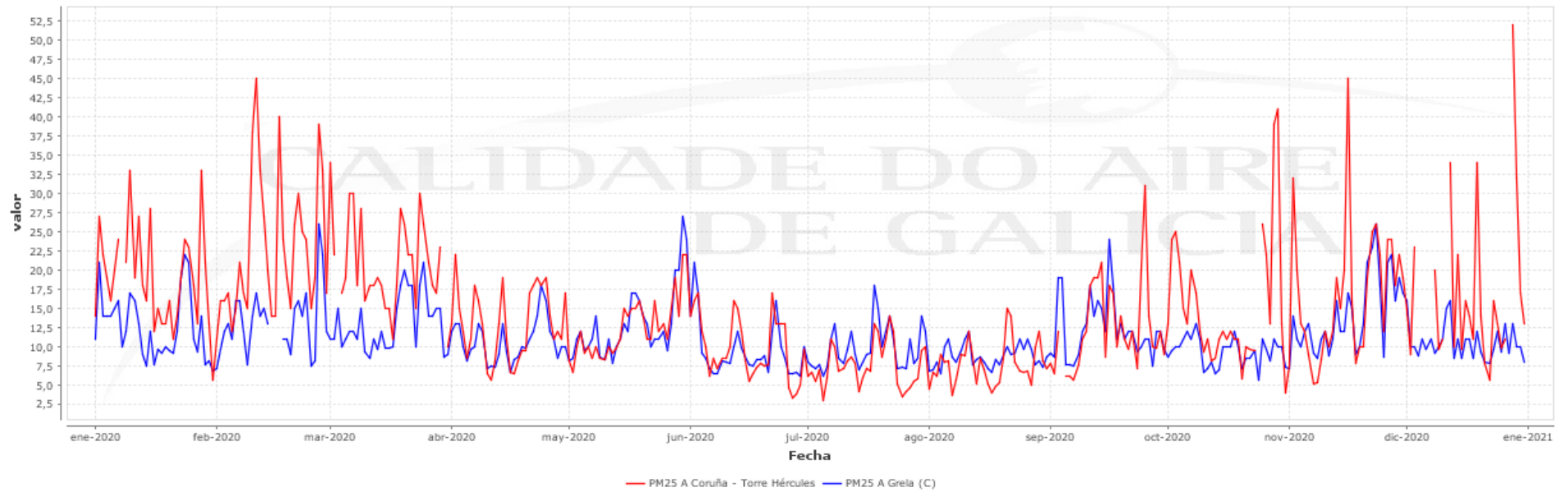
Datos Diarios PM10 2020, Zona Área Metropolitana de A Coruña



Gráfica 1. Concentraciones diarias de PM10 en las estaciones del Área Metropolitana de A Coruña en el año 2020.



Datos Diarios PM2.5 año 2020, Zona Área Metropolitana de A Coruña



Gráfica 2. Concentraciones diarias de PM2,5 en las estaciones del Área Metropolitana de A Coruña en el año 2020.

### 3. ANTECEDENTES

Como se comentó anteriormente, fue en 2014 el primer año que se registraron más de 35 superaciones del VLD de PM<sub>10</sub> en la estación Torre de Hércules. En la *Tabla 4* se muestra el resumen de los datos obtenidos desde 2014 hasta 2020.

*Tabla 4. Resumen estadístico de la concentración de PM10 en la estación Torre de Hércules, 2014-2020.*

Año	SUP VLD (50 µg/m <sup>3</sup> )	Media anual (µg/m <sup>3</sup> )	Percentil 90,4	Datos válidos
2014	60	35	59	87,7 %
2015	63	37	60	97,3 %
2016	64	36	59	98,6 %
2017	47	35	57	98,1 %
2018	31	32	50	97,5 %
2019	56	34	58	97,0 %
2020	51	33	61	97,8%

El percentil x-ésimo identifica un dato de la serie ordenada de menor a mayor que deja por debajo suyo el x% de los datos de la serie y el estadístico asociado al valor legislado del VLD de PM<sub>10</sub> es el percentil 90,4. Se calcula teniendo en cuenta que la media diaria de 50 µg/m<sup>3</sup>, no se podrá superar en más de 35 días al año, por lo tanto, el valor del percentil se calcula de la siguiente manera:

$$365 \text{ días del año menos } 35 \text{ días} = 330 \text{ días} \rightarrow 330/365 = 90,4 \%$$

$$(\text{año bisiesto: } 366 - 35 = 331 \text{ días} \rightarrow 331/366 = 90,4 \%)$$

El P90,4 indica el valor de una serie de datos ordenada de menor a mayor por debajo del cual se encuentra el 90,4 % de los datos de la serie y si el valor del percentil es superior al valor límite es cuando se precisa saber el número de veces que se supera el valor límite ese año.

En la *Tabla 4* se puede observar que, en el periodo de 2014 a 2020, únicamente en el año 2018 no se sobrepasó el VLD en más de 35 ocasiones.

Los estudios llevados a cabo consistieron en:

- Corroborar la veracidad de los datos, examinando exhaustivamente el estado de los analizadores y ejecutando mediciones paralelas, haciendo intercomparaciones.
- Comparativa de los registros de PM<sub>10</sub> en las estaciones de calidad del aire del Área Metropolitana de Coruña.



- Análisis y estudio de la contribución de las fuentes locales sobre los niveles de material particulado en suspensión en esta zona suburbana.
- Muestreo de  $PM_{10}$  con captadores gravimétricos en Torre de Hércules y Riazor, y posterior análisis de  $Na^+$  en laboratorio.
- Caracterización de las condiciones meteorológicas analizando la relación entre las superaciones de  $PM_{10}$  en la estación de Torre de Hércules respecto a:
  - Dirección e intensidad del viento; estudiando el efecto conjunto de la agitación marina por las olas y la producción de la espuma marina debida al encrespamiento de las olas por vientos intensos.
  - Altura de las olas para cotejar la relación entre altas concentraciones de  $PM_{10}$  con olas de más de 3 m de altura.
- Análisis y comparación de la composición química del agua de lluvia, estudiando los resultados obtenidos en los puntos de muestreo de las estaciones Torre de Hércules y Riazor.
- Análisis de las retrotrayectorias de las masas de aire con el modelo HYSPLIT y mapas de concentración de aerosoles NAAPS durante los episodios de superación del VLD.

En estos estudios se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Las elevadas concentraciones de  $PM_{10}$  en Torre (estación de fondo-suburbana), no se corresponden con las de Riazor (tráfico-urbana), las de A Grela (industrial-urbana) y San Pedro (industrial-suburbana).
- La concentración de  $PM_{10}$  en otoño y en invierno en A Coruña es muy superior a la de primavera y verano. Este fenómeno se da en las tres estaciones de la ciudad, pero de manera más acusada en Torre de Hércules. La contribución del aerosol marino se da durante todo el año, pero con diferente intensidad y esta decae al alejarnos del mar.
- Las mayores concentraciones de  $PM_{10}$  se registran con vientos del NW, pero dada la particular localización de la estación Torre de Hércules, también cuando recibe vientos de componente S-SW está recibiendo aportes directamente del mar.
- Analizando los filtros muestreados en Torre de Hércules, se concluye que los aumentos de la concentración de  $PM_{10}$  se corresponden con incrementos de la concentración de  $Na^+$ .
- La mayor parte de las superaciones del VLD de  $PM_{10}$  en Torre ocurren cuando las olas tienen una altura superior a 3 metros.



- El aumento de la concentración de sal marina en la fracción  $PM_{10}$  del material particulado en Torre, no parece tener relación con la velocidad del viento, pero sí con la altura de las olas.
- En A Coruña, comparando con el resto de Galicia, el agua de lluvia está muy influenciada por la presencia del aerosol marino. Esto se comprobó analizando la concentración de sulfatos, cloruros, sodio, potasio, magnesio, calcio, bromuro, estroncio y fluoruro, que son los principales componentes de agua de mar, y específicamente con el  $Na^+$  utilizado como trazador del aerosol marino. Además, esta influencia decae muy rápidamente con la distancia al mar (concentraciones en Torre de Hércules muy superiores a las de Riaza).
- Cuando no existen episodios africanos ni de quema de biomasa, o cuando se identifica la presencia de bajas concentraciones de aerosol sulfato, el análisis de las retrotrayectorias de las masas de aire no muestra el origen de las superaciones del VLD ya que, en la mayor parte de los casos, estas proceden del transporte a largas distancias del norte del continente americano o bien de zonas limpias como el Océano Atlántico.
- Tras aplicar los descuentos atribuibles al aerosol marino, en los días con superación del VLD en la estación Torre de Hércules, se reducen drásticamente las superaciones en todos los años.

#### 4. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN DE LA SAL MARINA EN LA FRACCIÓN PM<sub>10</sub> DE LA MATERIA PARTICULADA

Para determinar la contribución de la sal marina en PM<sub>10</sub>, seguimos el Documento de Trabajo de la Comisión del 15/02/2011<sup>(1)</sup>, donde se establecen las directrices para la demostración y sustracción de las superaciones atribuibles a fuentes naturales conforme a la Directiva 2008/50/CE relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia para Europa.

En ocasiones, las superaciones de los valores límite establecidos en la legislación de calidad del aire pueden estar causadas en parte por fuentes naturales, en particular en el caso de las partículas y el dióxido de azufre. Las contribuciones de fuentes naturales se pueden evaluar, pero no se pueden controlar, por eso la Directiva 2008/50/CE da la posibilidad de aportar pruebas de que las superaciones son atribuibles a las fuentes naturales y en este caso, las superaciones no se consideran como tal para el propósito de cumplir con la disposición pertinente de la Directiva. En dicha Directiva se ofrece a los Estados miembros la posibilidad de restar la contribución de las fuentes naturales bajo ciertas condiciones antes de la comparación de las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente con sus respectivos valores límite. El documento de trabajo de 15/02/2011 tiene por objeto dar orientación sobre qué fuentes se pueden considerar naturales en este contexto y sobre los métodos para cuantificar y restar la contribución de estas fuentes. El fundamento jurídico de restar las contribuciones de fuentes naturales se establece en el artículo 20 de Directiva 2008/50/CE, que establece lo siguiente:

- “Los Estados miembros transmitirán a la Comisión las listas correspondientes a un año determinado, de las zonas y aglomeraciones en las que las superaciones de los valores límite de un contaminante sean atribuibles a fuentes naturales. Los Estados miembros facilitarán información acerca de las concentraciones y las fuentes y las pruebas que demuestren que dichas superaciones son atribuibles a fuentes naturales.
- Cuando la Comisión haya sido informada de la existencia de una superación atribuible a fuentes naturales con arreglo al apartado anterior, dicha superación no se considerará tal a efectos de lo dispuesto en la presente Directiva.
- La Comisión publicará a más tardar el 11/06/2010 unas directrices para la demostración y sustracción de las superaciones atribuibles a fuentes naturales.”

---

<sup>(1)</sup>[https://www.miteco.gob.es/images/va/Directrices%20Comisi%C3%B3n-SEC%202008%20final-en\\_tcm39-186523.pdf](https://www.miteco.gob.es/images/va/Directrices%20Comisi%C3%B3n-SEC%202008%20final-en_tcm39-186523.pdf)

En el artículo 2 de la Directiva 2008/50/CE se define “aportaciones de fuentes naturales” como las emisiones de agentes contaminantes no causadas directa ni indirectamente por actividades humanas, lo que incluye los fenómenos naturales tales como erupciones volcánicas, actividades sísmicas, actividades geotérmicas o incendios de zonas silvestres, fuertes vientos, aerosoles marinos o resuspensión atmosférica o transporte de partículas naturales procedentes de regiones áridas. Por lo tanto, una de las fuentes a las que se les pueden aplicar explícitamente los descuentos descritos en la guía de la Comisión es el aerosol marino y la metodología para identificar y cuantificar su contribución, que se puede restar de la concentración medida, se describe y discute en esta guía.

Para restar las contribuciones naturales es necesario proporcionar la demostración y la cuantificación de esta contribución a las concentraciones reales de manera robusta. Por lo tanto, los Estados miembros deben respetar un conjunto mínimo de requisitos o criterios, en lo sucesivo referido como los ***principios fundamentales***.

Se establecen seis principios fundamentales<sup>(2)</sup> que la Comisión tiene que aplicar al evaluar las atribuciones que los Estados Miembros hacen a fuentes naturales:

- Las contribuciones no deben ser causadas por actividades humanas directas o indirectas.
- La cuantificación de la contribución natural debe ser suficientemente precisa.
- La cuantificación de la contribución natural debe ser coherente con el periodo promedio del valor límite.
- La cuantificación de las fuentes naturales debe ser atribuida espacialmente.
- Las contribuciones se deben demostrar basándose en una evaluación sistemática del proceso.
- La cuantificación de las fuentes naturales debe demostrarse para cada uno de los contaminantes por separado.

#### 4.1. Cuantificación de los episodios de sal marina

La contribución de la espuma del mar puede estar presente durante todo el año, pero con mayor o menor intensidad. En este documento se sugiere realizar el análisis de la composición química de

---

<sup>(2)</sup> Consultar informe del aerosol marino del 2016 para ver con mayor detalle: [https://www.meteogalicia.gal/datosred/infoweb/caire/informes/ESTUDIO/ES/Informe\\_Aerosol\\_Marino\\_Coruna\\_2016.pdf](https://www.meteogalicia.gal/datosred/infoweb/caire/informes/ESTUDIO/ES/Informe_Aerosol_Marino_Coruna_2016.pdf)

las muestras de aerosol diarias o, al menos de, uno de los componentes principales de la sal marina para identificar y cuantificar su contribución. El cálculo de la contribución de la sal marina se relaciona con la especiación de los iones inorgánicos en las muestras recogidas de aerosol que están presentes en la composición media del agua de mar y que se muestran en la *Tabla 5*.

*Tabla 5. Composición iónica de la sal marina.*

Ion	Valencia	Concentración (mg/kg)	% en peso	Peso molecular	Concentración (μmol/kg)
<b>Cloruro (Cl<sup>-</sup>)</b>	-1	19345	55,03	33,453	546
<b>Sodio (Na<sup>+</sup>)</b>	+1	10752	30,59	22,990	468
<b>Sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)</b>	-2	2701	7,68	96,062	28,1
<b>Magnesio (Mg<sup>2+</sup>)</b>	+2	1295	3,68	24,305	53,3
<b>Calcio (Ca<sup>2+</sup>)</b>	+2	416	1,18	40,078	10,4
<b>Potasio (K<sup>+</sup>)</b>	+1	390	1,11	39,098	9,97
<b>Bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</b>	-1	145	0,41	61,016	2,34
<b>Bromuro (Br<sup>-</sup>)</b>	-1	66	0,19	79,904	0,83
<b>Borato (BO<sub>3</sub><sup>3-</sup>)</b>	-3	27	0,08	58,808	0,46
<b>Estroncio (Sr<sup>2+</sup>)</b>	+2	13	0,04	87,620	0,091
<b>Fluoruro (F<sup>-</sup>)</b>	-1	1	0,003	18,998	0,068

Los principales iones en las muestras de aerosol son cloruro, sodio, sulfato, magnesio, calcio y potasio, que se pueden analizar de forma rutinaria, por ejemplo, por medio de cromatografía iónica. Sabemos que el Na<sup>+</sup> puede tener origen mineral (fracción insoluble), pero el Na<sup>+</sup> soluble suele ser marino, sobre todo cuando se está tan cerca de la fuente, como es nuestro caso. El análisis de las retrotrayectorias de las masas de aire se puede utilizar para validar esta hipótesis. Si tenemos en cuenta que todo el Na<sup>+</sup> tiene origen marino primario, la fracción de otros iones en la sal marina se puede calcular utilizando las relaciones estequiométricas entre el Na<sup>+</sup> y el resto de iones presentes en el agua de mar como, por ejemplo, de sulfato de sal marina (ssSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>):

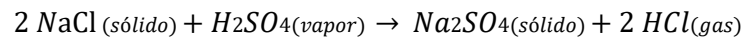
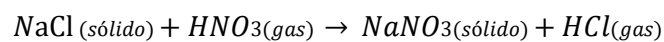
$$[ssSO_4^{2-}] = [Na^+] \cdot \frac{7,68}{30,59}$$

donde [Na<sup>+</sup>] es la masa de sodio medida y [ssSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>] es la masa de sulfato debida a la contribución de la sal marina; 7,68 y 30,59 en la expresión anterior son las contribuciones porcentuales de sulfato y sodio a la salinidad del agua de mar. Del mismo modo, la contribución de sal marina para otros iones se puede calcular de acuerdo con los porcentajes indicados en la *Tabla 5*. La suma de los [ss-iones] es el aporte de sal marina a la concentración total de PM<sub>10</sub>. No se recomienda el uso de

cloruro como un ion de referencia para calcular la contribución de sal marina porque sus observaciones tienen un amplio margen de incertidumbre.

Además, el aerosol marino no es la única fuente que aporta cloruro a partículas atmosféricas. Por ejemplo, el HCl se emite en la quema de carbón, a pesar de que la disminución del uso de carbón y de las medidas de reducción de gases de combustión es probable que hayan reducido las emisiones de HCl atmosféricas considerablemente.

Por otra parte, el cloruro se puede eliminar del aerosol de sal marina debido a las reacciones con  $\text{HNO}_3$  y  $\text{H}_2\text{SO}_4$ :



Por lo tanto, el sodio es un mejor indicador para la sal marina que el cloruro y se debe preferir al analizar la composición de PM. EL uso de cloruro es aceptable siempre y cuando se consideren los sesgos potenciales.

Un método más sencillo y ampliamente utilizado para calcular la contribución de sal marina, considera solo el sodio o el cloruro como trazador para la contribución del aerosol marino. La contribución se calcula suponiendo que la sal marina está compuesta solamente por NaCl y que todo  $\text{Na}^-$  y  $\text{Cl}^-$  se asocian en cloruro de sodio. Por lo tanto, de acuerdo con la composición del agua de mar:

$$\text{Sal marina} = \frac{100}{55} \cdot [\text{Cl}^-] = 1,8 \cdot [\text{Cl}^-]$$

$$\text{Sal marina} = \frac{100}{30,6} \cdot [\text{Na}^+] = 3,27 \cdot [\text{Na}^+]$$

$$\text{Sal marina} = ([\text{Na}^+] + [\text{Cl}^-]) \cdot 1,168$$

La masa de la sal marina calculada con estos procedimientos se puede descontar de la media diaria de  $\text{PM}_{10}$  en ese punto de muestreo.



## 5. ESTUDIO DE LA CONTRIBUCIÓN DEL AEROSOL MARINO EN LA CONCENTRACIÓN DE PM<sub>10</sub> EN LA ESTACIÓN TORRE DE HÉRCULES EN 2020.

Teniendo en cuenta que todos los estudios previos han demostrado la importante contribución del aerosol marino en la concentración de PM<sub>10</sub> en la estación Torre de Hércules, para el año 2020 se ha estudiado dicha contribución mediante la toma de muestras de PM<sub>10</sub> con un equipo gravimétrico, análisis del ion sodio en el laboratorio y el tratamiento de datos de dichos resultados. Además, se han trazado las retro trayectorias de las masas de aire dejando constancia de las principales direcciones del viento cuando se producen las mayores concentraciones de material particulado de diámetro inferior a 10 µm.

### 5.1. Muestreo y determinación gravimétrica

Desde finales del 2014 hay instalado un captador gravimétrico de alto volumen en la estación Torre de Hércules para muestrear PM<sub>10</sub> con el objetivo de analizar la concentración de Na<sup>+</sup> en estos filtros y aplicar la metodología de descuentos. Este equipo, Digitel DHA-80, realizó el muestreo durante todo el año 2020.



*Imagen 3. Captador Digitel DHA-80 instalado en Torre de Hércules para muestreo de PM<sub>10</sub>.*

El Laboratorio de Medio Ambiente de Galicia (LMAG), perteneciente a la Subdirección Xeral de Meteoroloxía e Cambio Climático, realiza el pretratamiento de los filtros, el muestreo, el tratamiento posterior de los filtros y la determinación gravimétrica. El LMAG está acreditado por la

ENAC para realizar este procedimiento según la norma UNE-EN 12341 (Expediente 306/LE649 Ensayos en el sector medioambiental).



*Imagen 4. Sala de balanzas del LMAG con temperatura y humedad controladas.*

La campaña de muestreo se realizó entre el 01/01/2020 y el 26/11/2020 (debido a un problema en la sala de balanzas no se pudo realizar muestreo en el mes de diciembre). El equipo cuenta con un cargador para el análisis secuencial de 15 filtros. El tiempo de muestreo de cada filtro es de 24 horas, desde las 00:00 hasta las 00:00 horas (hora UTC). Cuando se realiza la retirada del cargador con los filtros muestreados se comprueba el correcto funcionamiento del equipo, se realizan tareas de limpieza y se programa el nuevo muestreo.

Como elemento de retención se utilizaron filtros de fibra de cuarzo de 150 mm de diámetro, acondicionados durante 48 horas antes de la pesada en la sala de balanzas a  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  de temperatura y 40 – 50 % de humedad relativa.

Los filtros se manejan con pinzas de teflón. Antes de usarlos se comprueba visualmente empleando una lámpara de luz visible, para detectar defectos tales como agujeros o pérdidas de material que ocasionarían errores en la recolección de la muestra de PM. Al comienzo de cada sesión de pesada se verifica el correcto funcionamiento de la balanza con pesas de referencia, de masas similares a

los filtros, concretamente con la pesa de 1 g. Además, en la sala de balanzas se mantienen los filtros blancos de referencia del mismo tamaño y material que los que se usan para el muestreo. Su peso se registra en cada sesión de pesada. Si las masas de los filtros blancos de referencia de 150 mm cambiaron menos de 500  $\mu\text{g}$  desde la última sesión de pesada, se registra su masa media y se procede a la pesada de los filtros con muestra. En caso contrario, no se pesan los filtros con las muestras hasta que la diferencia de pesada de los blancos de referencia sea menor de 500  $\mu\text{g}$ .

Los filtros blancos para el muestreo se pesan dos veces con un intervalo de 24 horas. Si la diferencia entre ambas pesadas no es superior a 500  $\mu\text{g}$  en los filtros de 150 mm, se considera que el filtro es estable, se calcula la media y el valor obtenido se toma como la masa del filtro blanco.

Después del muestreo, los filtros con la materia particulada se mantienen en la sala de balanzas durante un mínimo de 48 horas antes de la primera pesada y después de 24-72 horas se realiza una segunda pesada. Si la diferencia entre ambas pesadas no es superior a 800  $\mu\text{g}$  (en el caso de filtros de 150 mm), se calcula la media y el valor obtenido será el peso del filtro muestreado. La masa de  $\text{PM}_{10}$  se calcula por diferencia entre el filtro antes y después del muestreo. Los resultados obtenidos quedan registrados en la base de datos.

Los cálculos necesarios para la intercomparación e interpretación de los resultados son realizados por la Red de Calidad del Aire de Galicia. Teniendo en cuenta la Norma UNE-EN 16450 "Aire ambiente. Sistemas automáticos de medida para la medición de la concentración de materia particulada ( $\text{PM}_{10}:\text{PM}_{2,5}$ ) se demostró la equivalencia entre el método de referencia (captador gravimétrico utilizado en el muestreo) y el sistema automático de medida (equipo de absorción beta MET ONE BAM 1020), estableciéndose la función de corrección.

## 5.2. Determinación de la concentración de $\text{Na}^+$ en los filtros muestreados

El LMAG es el encargado de llevar a cabo el análisis de la concentración de  $\text{Na}^+$  en los filtros muestreados siguiendo el método descrito a continuación:

- Se corta una porción de filtro de área conocida y se extrae con agua Milli-Q en horno microondas. El volumen empleado no será inferior a 10 mL, y la extracción se realizará durante 10 min a 50 °C.
- Posteriormente, se filtra con un filtro de jeringa de PTFE de 0,45  $\mu\text{m}$  de tamaño de poro.
- Se analiza el extracto por cromatografía iónica. Los cationes se determinan con el cromatógrafo iónico 930 Compact IC Flex que se muestra en la *Imagen 5*, empleando como fase móvil ácido nítrico.



*Imagen 5. Cromatógrafo iónico 930 Compact IC Flex del LMAG.*

En la *Tabla 6* se muestra el resumen estadístico de los resultados obtenidos de la concentración de  $\text{Na}^+$ .

*Tabla 6. Estadísticos de la concentración de  $\text{Na}^+$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en  $\text{PM}_{10}$  en la estación Torre de Hércules durante 2020.*

<b><math>[\text{Na}^+]</math> en <math>\text{PM}_{10}</math> estación Torre de Hércules, año 2020</b>	
Promedio	4,4
Desviación estándar	3,9
Máximo	20,7
Mínimo	0,4
nº. datos	301

### 5.3. Cálculo de la concentración de aerosol marino y su descuento en la fracción $\text{PM}_{10}$

Una vez conocida la concentración del ion sodio ( $\text{Na}^+$ ) en cada muestra, la Red de Calidad del Aire de Galicia realiza los cálculos de la concentración de sal marina. Para ello se utiliza la siguiente ecuación mencionada en el apartado 3.1.:

$$\text{Sal marina} = \frac{100}{30,6} \cdot [\text{Na}^+] = 3,27 \cdot [\text{Na}^+]$$

Se calcula el porcentaje de aerosol marino que hay en PM<sub>10</sub> y la concentración atribuible a la sal marina se descuenta de la concentración de PM<sub>10</sub>. Una vez realizados los descuentos se comprueba cuántas superaciones se mantienen del VLD establecido en 50 µg/m<sup>3</sup>.

En el *Anexo 1* se muestran todos los resultados obtenidos en la campaña realizada en 2020, figurando las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> obtenidas con el equipo gravimétrico y con el equipo automático, la concentración del ion sodio (Na<sup>+</sup>) obtenida en cada filtro muestreado y analizado, la concentración de sal marina calculada, el porcentaje de sal marina en PM<sub>10</sub> y la concentración de PM<sub>10</sub> obtenida tras realizar el descuento de la concentración de sal marina.

En la *Tabla 7* se puede consultar el estadístico de la concentración de PM<sub>10</sub> en Torre de Hércules durante 2020 antes y después del descuento del aerosol marino. En la columna PM<sub>10</sub> se indican los datos sin descuentos y en la columna PM<sub>10</sub> – SS se indican los datos una vez restada la sal marina (*ss: sea salt*) a la concentración de PM<sub>10</sub>.

*Tabla 7. Estadístico de PM10 en Torre de Hércules antes y después del descuento de la sal marina, año 2020.*

<b>Torre de Hércules 15030027, ES1957A</b>	<b>PM10</b>	<b>PM10 - SS</b>
Media (µg/m <sup>3</sup> )	33	21
SUP. 50 µg/m <sup>3</sup>	51	16
SUP. 35 µg/m <sup>3</sup>	106	41
SUP. 25 µg/m <sup>3</sup>	198	91
P90,4	61	36
P99,9	131	99
P98	98	68
P95	80	48
P75	40	25
P50	26	18
Máximo (µg/m <sup>3</sup> )	138	101
nº. datos	358	358
nº. datos <i>ss (sea salt)</i>	--	301

En 2020 se produjeron 51 superaciones del VLD (establecido en 50 µg/m<sup>3</sup>) en la estación Torre de Hércules. Tras los descuentos realizados del aerosol marino en la fracción PM<sub>10</sub> se obtuvieron 16 superaciones del VLD; de estas 16 hay 12 días de los que no se dispone de muestra del equipo gravimétrico por lo que no se ha podido analizar el ion sodio para el cálculo del aerosol marino.

Respecto a los 4 días restantes que tras el descuento de aerosol marino han mantenido la superación:

**28/02/2020:** La concentración fue de  $92 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y se halló que el 25% era aerosol marino quedando una concentración de  $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . A finales de febrero hubo una gran intrusión de masas de polvo sahariano y es atribuido a polvo sahariano  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en ese día, con lo cual con los descuentos de todas las aportaciones de origen natural quedaría una concentración de  $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , manteniéndose la superación del valor límite diario. Aunque no dispongamos de muestra del día 27/02/2020 para poder realizar el cálculo de aerosol marino, cabe destacar que en ese día que se registró una concentración de  $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$  es atribuida a polvo sahariano una concentración de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

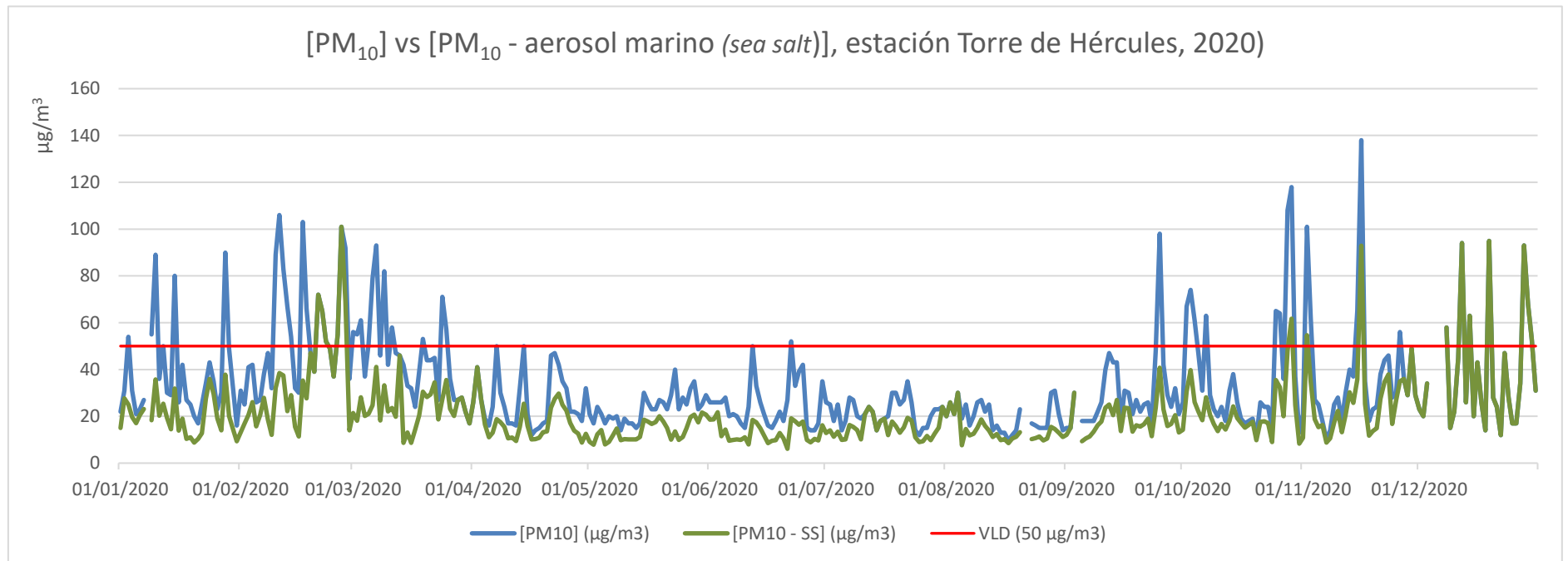
**29/10/2020:** La concentración fue de  $118 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y se halló que el 48% era aerosol marino quedando una concentración de  $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**02/11/2020:** La concentración fue de  $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y se halló que el 46% era aerosol marino quedando una concentración de  $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**16/11/2020:** La concentración fue de  $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y se halló que el 46% era aerosol marino quedando una concentración de  $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En esos días, pese al gran descuento del aerosol marino quedó superación del valor límite diario.

Esto se puede observar en la *Gráfica 3* donde se ha representado la comparativa de la concentración diaria de  $\text{PM}_{10}$  antes y después del descuento de aerosol marino y en la *Tabla 8* donde se muestra para todos los días con superación del VLD la concentración de  $\text{Na}^+$  y sal marina, el porcentaje de sal marina que hay en la fracción  $\text{PM}_{10}$  y la concentración de  $\text{PM}_{10}$  tras restar la contribución de la sal marina.



Gráfica 3. Concentración de PM<sub>10</sub> sin descuentos frente a concentración de PM<sub>10</sub> con descuento del aerosol marino. Torre de Hércules, 2020.

Tabla 8. Concentración de Na<sup>+</sup> y aerosol marino (ss) y superaciones del VLD antes y después de los descuentos.

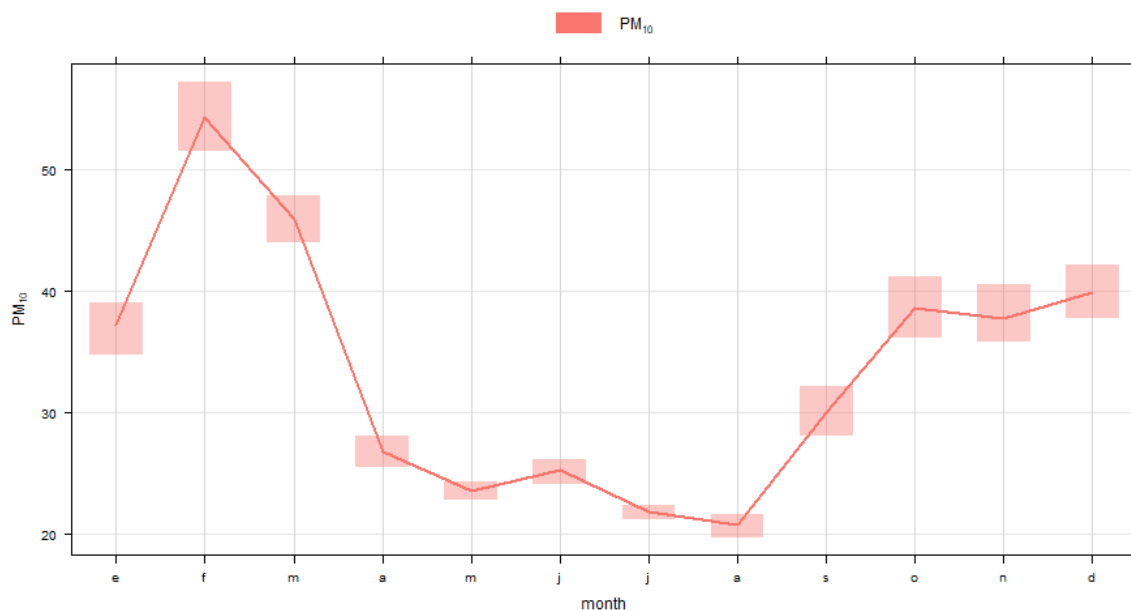
Fecha	[PM <sub>10</sub> ] (µg/m <sup>3</sup> )	[Na] (µg/m <sup>3</sup> )	[Sea Salt] (µg/m <sup>3</sup> )	% Sea Salt	[PM <sub>10</sub> - SS] (µg/m <sup>3</sup> )
03/01/2020	54	8,87	29,0	54%	25
09/01/2020	55	11,23	36,7	67%	18
10/01/2020	89	16,27	53,2	60%	36
15/01/2020	80	14,71	48,1	60%	32
28/01/2020	90	15,97	52,2	58%	38
10/02/2020	89	17,4	56,9	64%	32
11/02/2020	106	20,64	67,5	64%	39
12/02/2020	83	13,93	45,6	55%	37
13/02/2020	67	13,71	44,8	67%	22
14/02/2020	54	7,63	25,0	46%	29
17/02/2020	103	20,69	67,7	66%	35
18/02/2020	66	11,71	38,3	58%	28
21/02/2020	72	--	--	--	72
22/02/2020	65	--	--	--	65
23/02/2020	52	--	--	--	52
26/02/2020	55	--	--	--	55
27/02/2020	101	--	--	--	61 <sup>a</sup>
28/02/2020	92	6,92	22,6	25%	54 <sup>a</sup>
01/03/2020	56	10,58	34,6	62%	21
02/03/2020	55	11,3	37,0	67%	18
03/03/2020	61	10,04	32,8	54%	28
05/03/2020	51	9,17	30,0	59%	21
06/03/2020	79	16,6	54,3	69%	25
07/03/2020	93	15,87	51,9	56%	41
09/03/2020	82	14,91	48,8	59%	33
11/03/2020	58	10,52	34,4	59%	24
19/03/2020	53	6,86	22,4	42%	31
24/03/2020	71	13,34	43,6	61%	27
25/03/2020	57	6,57	21,5	38%	36
22/06/2020	52	10,04	32,8	63%	19
25/09/2020	98	17,52	57,3	58%	41
02/10/2020	67	11,12	36,4	54%	31
03/10/2020	74	10,47	34,2	46%	40
04/10/2020	61	10,69	35,0	57%	26
07/10/2020	63	10,68	34,9	55%	28
25/10/2020	65	9,02	29,5	45%	36
26/10/2020	64	9,64	31,5	49%	32
28/10/2020	108	18,34	60,0	56%	48
29/10/2020	118	17,2	56,2	48%	62
02/11/2020	101	14,16	46,3	46%	55



Fecha	[PM <sub>10</sub> ] (µg/m <sup>3</sup> )	[Na] (µg/m <sup>3</sup> )	[Sea Salt] (µg/m <sup>3</sup> )	% Sea Salt	[PM <sub>10</sub> - SS] (µg/m <sup>3</sup> )
03/11/2020	62	8,31	27,2	44%	35
15/11/2020	65	8,96	29,3	45%	36
16/11/2020	138	13,8	45,1	33%	93
26/11/2020	56	6,45	21,1	38%	35
08/12/2020	58	--	--	--	58
12/12/2020	94	--	--	--	94
14/12/2020	63	--	--	--	63
19/12/2020	95	--	--	--	95
28/12/2020	93	--	--	--	93
29/12/2020	68	--	--	--	68
30/12/2020	53	--	--	--	53

<sup>a</sup> En los días 27 y 28 de febrero se ha realizado además el descuento atribuible a polvo sahariano.

En la *Gráfica 4* se ha representado las medias mensuales de PM<sub>10</sub> del año 2020. Se puede observar como las mayores concentraciones de PM<sub>10</sub> fueron en los meses de invierno y otoño, registrándose las medias más altas en febrero y marzo, 54 y 46 µg/m<sup>3</sup> respectivamente. En los meses de enero, octubre, noviembre y diciembre las medias fueron muy similares, entre 37 – 40 µg/m<sup>3</sup>.



Gráfica 4. Concentración media mensual de PM<sub>10</sub> en estación Torre de Hércules en 2020.

#### 5.4. Estudio de la dirección del viento y retrotrayectorias de las masas de aire

Para los días en los que se registró en la estación Torre de Hércules una concentración mayor al valor límite diario se ha estudiado la dirección e intensidad del viento predominante del día y de las rachas máximas diarias.

En la *Imagen 6* se muestra la ubicación de la estación de calidad del aire Torre de Hércules y de la estación meteorológica Dique que se ha tomado como referencia.



*Imagen 6. Ubicación estación calidad del aire Torre de Hércules y estación meteorológica Dique.*

En la *Imagen 7* se representa mediante un código de colores las concentraciones diarias de  $PM_{10}$  en 2020 en la estación Torre de Hércules y, a su vez, se representa mediante una flecha la dirección e intensidad de la racha máxima de viento de cada día; a mayor intensidad del viento mayor longitud de la flecha. Los días con superación del valor límite diario aparecen en rojo; los días en blanco son de los que no se dispone de media diaria de  $PM_{10}$ .

Torre de Hércules - Meteo Dique

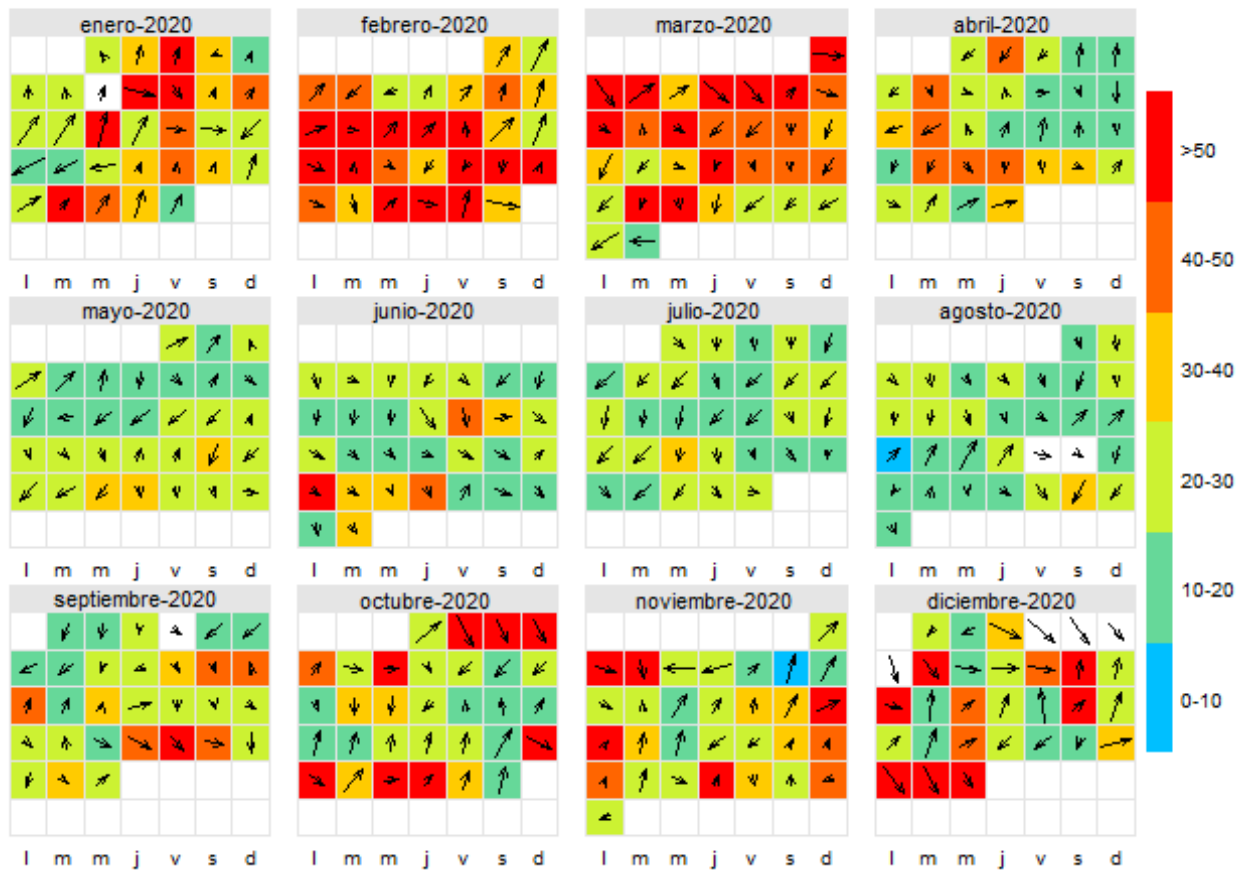


Imagen 7. Representación de la concentración diaria de PM10 en la estación Torre de Hércules, dirección e intensidad de la racha máxima de viento diaria en la estación meteorológica Dique. Año 2020.

En la *Imagen 8* se ha representado mediante coordenadas polares la distribución de la dirección e intensidad de las rachas máximas diarias en la estación meteorológica Dique y las concentraciones de PM<sub>10</sub> en 2020 en la estación de calidad del aire Torre de Hércules. Se puede apreciar que las mayores concentraciones de PM<sub>10</sub> se han dado con vientos procedentes del Noroeste.

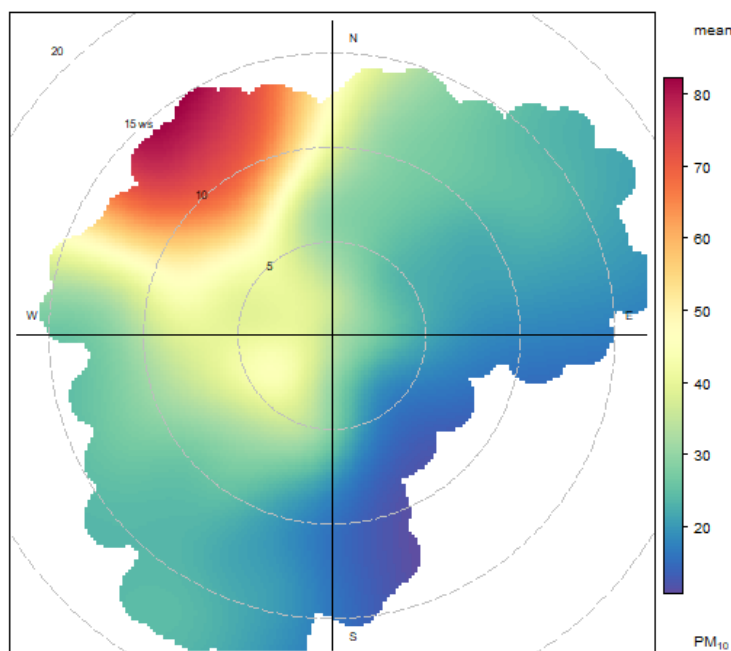


Imagen 8. Representación en coordenadas polares de la distribución de la concentración de PM<sub>10</sub>, dirección e intensidad de las rachas máximas de viento en 2020.

En la *Tabla 9* se muestra la caracterización de las rachas máximas diarias de viento y el viento predominante de cada uno de los días en los que la concentración registrada de PM<sub>10</sub> en Torre de Hércules superó el valor límite diario.

Tabla 9. Caracterización de las rachas máximas de viento y el viento predominante en los días de mayor concentración de PM<sub>10</sub>.

Fecha	[PM <sub>10</sub> ] ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	[PM <sub>10</sub> ] tras descuentos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	RACHA máxima		VIENTO predominante	
			Dirección	Intensidad	Dirección	Intensidad
03/01/2020	54	25	S	Fuerte	S	Flojo
09/01/2020	55	18	O	Muy fuerte	O	Moderado
10/01/2020	89	36	NO	Fuerte	N	Flojo
15/01/2020	80	32	S	Muy fuerte	SO	Flojo
28/01/2020	90	38	SO	Moderado	S	Flojo
10/02/2020	89	32	O	Fuerte	SO	Moderado
11/02/2020	106	39	O	Moderado	NO	Flojo
12/02/2020	83	37	SO	Fuerte	S	Flojo
13/02/2020	67	22	SO	Fuerte	SO	Flojo
14/02/2020	54	29	S	Moderado	S	Flojo
17/02/2020	103	35	O	Fuerte	NO	Flojo

Fecha	[PM10] ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	[PM10] tras descuentos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	RACHA máxima		VIENTO predominante	
			Dirección	Intensidad	Dirección	Intensidad
18/02/2020	66	28	S	Moderado	S	Flojo
21/02/2020	72	72	NE	Moderado	S	Flojo
22/02/2020	65	65	N	Moderado	S	Flojo
23/02/2020	52	52	S	Flojo	S	Flojo
26/02/2020	55	55	SO	Fuerte	SO	Flojo
27/02/2020	101	101	O	Fuerte	O	Moderado
28/02/2020	92	69	S	Muy fuerte	S	Moderado
01/03/2020	56	21	O	Muy fuerte	SO	Moderado
02/03/2020	55	18	NO	Muy fuerte	NO	Moderado
03/03/2020	61	28	SO	Muy fuerte	O	Moderado
05/03/2020	51	21	NO	Muy fuerte	O	Moderado
06/03/2020	79	25	NO	Fuerte	NO	Moderado
07/03/2020	93	41	SO	Moderado	SO	Flojo
09/03/2020	82	33	NO	Moderado	O	Flojo
11/03/2020	58	24	NO	Moderado	S	Flojo
19/03/2020	53	31	N	Moderado	S	Flojo
24/03/2020	71	27	N	Moderado	N	Flojo
25/03/2020	57	36	N	Moderado	S	Flojo
22/06/2020	52	19	NO	Moderado	S	Flojo
25/09/2020	98	41	NO	Fuerte	NO	Flojo
02/10/2020	67	31	NO	Muy fuerte	NO	Moderado
03/10/2020	74	40	NO	Fuerte	O	Moderado
04/10/2020	61	26	NO	Fuerte	NO	Moderado
07/10/2020	63	28	O	Moderado	NO	Flojo
25/10/2020	65	36	NO	Muy fuerte	SO	Moderado
26/10/2020	64	32	NO	Fuerte	S	Flojo
28/10/2020	108	48	O	Moderado	SO	Flojo
29/10/2020	118	62	SO	Moderado	S	Flojo
02/11/2020	101	55	O	Fuerte	S	Flojo
03/11/2020	62	35	N	Fuerte	N	Moderado
15/11/2020	65	36	SO	Fuerte	SO	Flojo
16/11/2020	138	93	SO	Flojo	S	Flojo

Fecha	[PM10] ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	[PM10] tras descuentos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	RACHA máxima		VIENTO predominante	
			Dirección	Intensidad	Dirección	Intensidad
26/11/2020	56	35	S	Moderado	S	Flojo
08/12/2020	58	58	NO	Fuerte	NO	Moderado
12/12/2020	94	94	S	Fuerte	SO	Flojo
14/12/2020	63	63	O	Fuerte	SO	Flojo
19/12/2020	95	95	SO	Moderado	S	Flojo
28/12/2020	93	93	NO	Muy fuerte	NO	Moderado
29/12/2020	68	68	NO	Muy fuerte	NO	Moderado
30/12/2020	53	53	NO	Fuerte	SO	Flojo

En la *Tabla 10* se puede observar que el 33,3% de los días con superación del VLD de  $\text{PM}_{10}$  en Torre de Hércules la racha máxima de viento diario procedía del noroeste. Un 19,6% procedía del suroeste y del oeste, y un 15,6% del sur. Debido a la particular localización de esta estación (ver *Imagen 6*) cuando recibe vientos en esas direcciones está recibiendo aporte directamente del mar.

*Tabla 10. Estadísticos dirección de racha máxima y viento predominante en los días con superación del VLD de  $\text{PM}_{10}$  en Torre de Hércules en 2020.*

	Racha máxima	Viento predominante
<b>dirección N:</b>	9,8%	5,9%
<b>dirección NE:</b>	2,0%	0%
<b>dirección NO:</b>	33,3%	21,6%
<b>dirección S:</b>	15,7%	37,3%
<b>dirección SE:</b>	0%	0,0%
<b>dirección SO:</b>	19,6%	23,5%
<b>dirección E:</b>	0%	0%
<b>dirección O:</b>	19,6%	11,8%

Como cabría esperar, en la *Tabla 11*, se observa que el viento predominante de los días con superación es flojo o moderado siendo la racha máxima diaria de una intensidad fuerte.

Tabla 11. Intensidad de la racha máxima diaria y el viento predominante en los días de superación del VLD.

	Racha máxima	Viento predominante
Calma	0,0%	0,0%
Flojo	3,9%	66,7%
Moderado	35,3%	33,3%
Fuerte	39,2%	0,0%
Muy fuerte	21,6%	0,0%

Para ver las direcciones de las masas de aire representadas se han realizado las retrotrayectorias para cada uno de los casos.

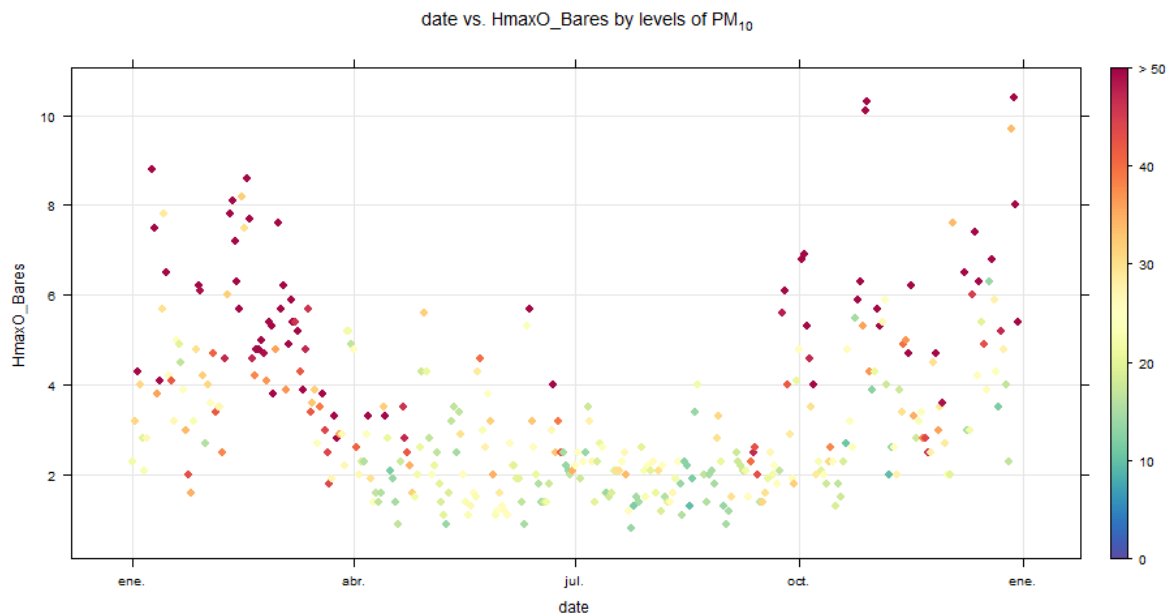
Para los cálculos de las retrotrayectorias se empleó el modelo HYSPLIT (*Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model*) desarrollado por la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), usando como base meteorológica las salidas del GFS (*Global Forecast System*) con una resolución de 0,25 grados proporcionadas por la misma NOAA y que están adaptadas para su uso con Hysplit.

En el Anexo 2 se muestran las retrotrayectorias de 12 horas hacia atrás con Hysplit en donde se indican tres puntos de inicio a tres alturas: 5, 10 y 100 metros. En algunos días hay ligeras discrepancias entre el resultado obtenido en la *Tabla 9* y la retrotrayectoria correspondiente, lo cual es debido a la distinta meteorología utilizada y cabe destacar que se tratan de casos con vientos flojos o moderados lo cual aumenta la probabilidad de diferencias en las mediciones meteorológicas.

### 5.5. Estudio de la relación de altura de olas y concentración de PM<sub>10</sub>

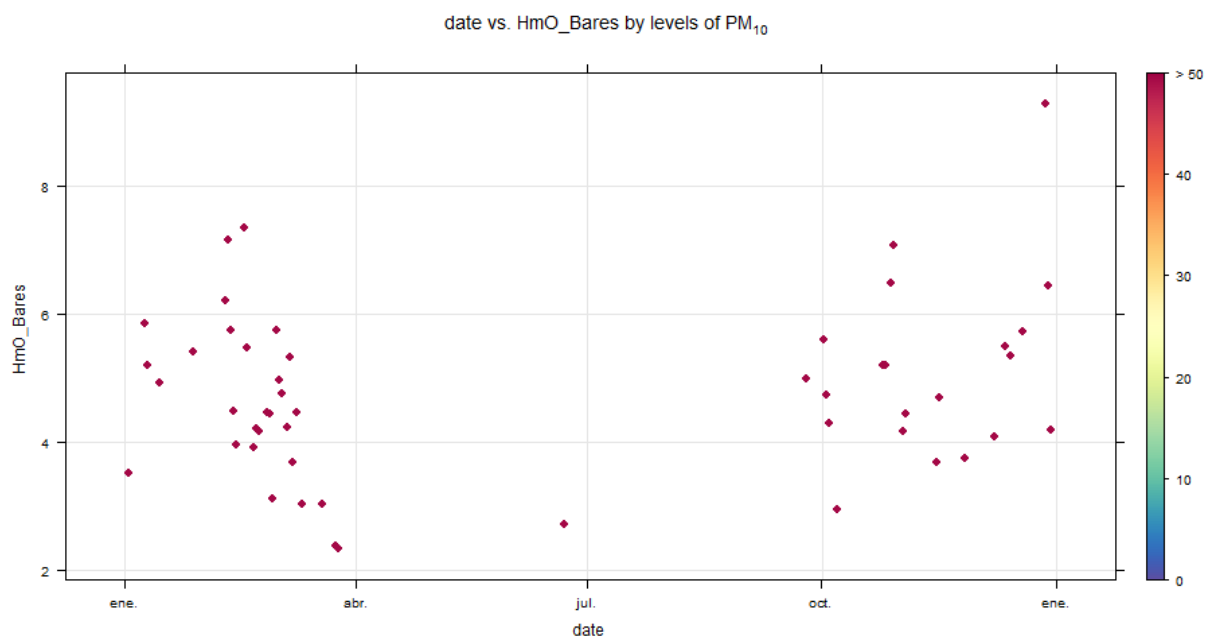
Se han empleado los datos de la boya de Estaca de Bares para realizar el estudio de la relación de la altura de las olas con las concentraciones registradas de PM<sub>10</sub> en la estación de calidad del aire Torre de Hércules.

Se dispone de los datos horarios de la altura media de ola de cada día en Estaca de Bares. Se ha seleccionado el valor máximo de las alturas medias horarias de cada día de la boya de Estaca de Bares y en la *Gráfica 5* se ha representado la relación de esa altura máxima horaria de cada día con la concentración de PM<sub>10</sub> en Torre de Hércules. Se puede observar claramente que la mayor parte de las superaciones se dan a una altura de ola mayor a 4 metros, empezando las superaciones a partir de los 3 metros.



Gráfica 5. Relación entre la altura máxima horaria de cada día en Estaca de Bares y la concentración de PM<sub>10</sub> en Torre de Hércules.

A continuación, en la *Gráfica 6* se muestra la altura media diaria de ola únicamente para aquellos días en los que se registraron las superaciones. Se observa que las superaciones del VLD se produjeron con olas mayores a 2 metros de media, habiendo más superaciones con olas mayores a 3 metros y teniendo lugar la mayor parte de las superaciones (el 74,5%) con olas mayores a 4 metros.



Gráfica 6. Altura media diaria de ola en Estaca de Bares en los días con superación del VLD de PM<sub>10</sub> en Torre de Hércules. Año 2020.



## 6. Conclusiones

Las principales conclusiones que extraemos de este trabajo son las siguientes:

- La estación Torre de Hércules es una estación de fondo suburbana, situada a 200 metros del mar, cerca del paseo marítimo y de la Torre de Hércules, en el recinto del C.I.F.P. Ánxel Casal de Monte, en la cual durante 2020 se registraron 51 superaciones del valor límite diario, una media anual de  $61 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y un percentil 90,4 de  $61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- El primer año en que se superó en más de 35 ocasiones el valor límite diario (VLD) en esta estación fue en 2014. Inicialmente, el trabajo estuvo centrado en la búsqueda de las causas de las superaciones del VLD de  $\text{PM}_{10}$  en A Coruña y, una vez encontradas, se planteó el objetivo explícito para dar cumplimiento al artículo 20 de la Directiva 2008/50/CE. La investigación de los hechos realizada concluyó que las superaciones eran atribuibles a una fuente natural, el aerosol marino.
- En los sucesivos años se repitió esta circunstancia y se aplicó de nuevo el procedimiento para determinar la contribución de la sal marina en  $\text{PM}_{10}$ , descrito en el Documento de Trabajo de la Comisión del 15/02/2011, donde se establecen las directrices para la demostración y sustracción de las superaciones atribuibles a fuentes naturales conforme la Directiva 2008/50/CE relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa.
- La estación Torre de Hércules, junto con las estaciones Riazor, A Grela y San Pedro, evalúa la calidad del aire en la zona ES1219 Área Metropolitana de A Coruña. Un año más, las elevadas concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  en Torre de Hércules, estación de fondo suburbano, no se corresponden con las de San Pedro y A Grela, estaciones industriales que miden  $\text{PM}_{10}$  asociadas la actividad industrial y al tráfico rodado (durante 2020 la estación de Riazor no estuvo operativa).
- La concentración de  $\text{PM}_{10}$  en Torre de Hércules en otoño e invierno, como en años anteriores, es muy superior a la de primavera y el verano. Este fenómeno se da en las tres estaciones de la ciudad, pero de manera más acusada en Torre de Hércules. Se pone de manifiesto que la contribución del aerosol marino se da durante todo el año, pero con diferente intensidad y que esta decae rápidamente al alejarnos del mar.
- Se puede observar como las mayores concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  fueron en los meses de invierno y otoño, registrándose las medias más altas en febrero y marzo,  $54$  y  $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente. En los meses de enero, octubre, noviembre y diciembre las medias fueron muy similares, entre  $37 - 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- La mayor parte de las superaciones del VLD de  $\text{PM}_{10}$  en Torre de Hércules ocurren con altura de las olas superior a 3 m y vientos de componente oeste que se corresponden con origen marino en

la localización de la estación. En concreto, el 33,3% de los días con superación del VLD de PM<sub>10</sub> en Torre de Hércules la racha máxima de viento diario procedía del noroeste. Un 19,6% procedía del suroeste y del oeste, y un 15,6% del sur. Debido a la particular localización de esta estación cuando recibe vientos en esas direcciones está recibiendo aporte directamente del mar.

- Analizando los filtros donde se obtuvo gravimétricamente la concentración de PM<sub>10</sub> entre 01/01/2020-26/11/2020 podemos observar que en Torre de Hércules la concentración promedio de Na<sup>+</sup> en este periodo fue de 4,4 µg/m<sup>3</sup>.
- El cálculo de la concentración de sal marina en la fracción PM<sub>10</sub> del material particulado muestra una proporción promedio en el filtro del 54% los días en que se registraron superaciones del VLD.
- El análisis de las retrotrayectorias de las masas de aire muestra que el origen de las superaciones del VLD procede de diversos puntos del océano atlántico.
- Una vez aplicados los descuentos a los días en que hubo superación del VLD de PM<sub>10</sub> en Torre atribuibles a fuentes naturales, en este caso el aerosol marino, tal y como se especifica en el Documento de Trabajo de la Comisión de 15/02/2011, obtenemos 16 superaciones del VLD, una media anual de 21 µg/m<sup>3</sup> y un valor del percentil 90,4 de 36.
- De las 16 superaciones del VLD que permanecen tras haber aplicado el descuento del aerosol marino en la fracción PM<sub>10</sub>, hay 12 días de los que no se dispone de muestra del equipo gravimétrico por lo que no se ha podido analizar el ion sodio para el cálculo del aerosol marino. En las cuatro superaciones en las que sí disponemos de dato de Na<sup>+</sup>, pese a realizarse un gran descuento del aerosol marino quedó superación del valor límite diario.

Todas estas conclusiones indican que **las superaciones del VLD de PM<sub>10</sub> en la estación Torre de Hércules, en A Coruña durante 2020, procede de una fuente natural, el aerosol marino, y una vez aplicado el descuento atribuible a esta fuente, deja de existir incumplimiento del número de superaciones del VLD establecido en el Real Decreto 102/2011.**

Anexo 1: Resultados de la concentración de PM<sub>10</sub> y aerosol marino en los días de muestreo con captador de alto volumen en el año 2020 en la estación Torre de Hércules.

Fecha muestreo	PM <sub>10</sub> Torre (µg/m <sup>3</sup> )		Na (µg/m <sup>3</sup> )	[Sea Salt] (µg/m <sup>3</sup> )	% Sea Salt en PM <sub>10</sub>		PM <sub>10</sub> (SAM) menos SS (µg/m <sup>3</sup> )
	SAM	CAV			SAM	CAV	
01/01/2020	22	23	2,12	6,9	32%	30%	15
02/01/2020	31	35	1,02	3,3	11%	10%	28
03/01/2020	<b>54</b>	<b>51</b>	8,87	29,0	54%	57%	25
04/01/2020	31	<b>55</b>	3,46	11,3	36%	21%	20
05/01/2020	21	24	1,2	3,9	19%	16%	17
06/01/2020	23	25	0,77	2,5	11%	10%	20
07/01/2020	27	30	1,18	3,9	14%	13%	23
08/01/2020	--	31	3,76	12,3	--	40%	--
09/01/2020	<b>55</b>	<b>58</b>	11,23	36,7	67%	63%	18
10/01/2020	<b>89</b>	<b>87</b>	16,27	53,2	60%	61%	36
11/01/2020	36	40	4,82	15,8	44%	39%	20
12/01/2020	50	<b>55</b>	7,53	24,6	49%	45%	25
13/01/2020	30	30	3,25	10,6	35%	35%	19
14/01/2020	29	31	4,45	14,6	50%	47%	14
15/01/2020	<b>80</b>	<b>81</b>	14,71	48,1	60%	59%	32
16/01/2020	26	26	3,71	12,1	47%	47%	14
17/01/2020	42	42	7,03	23,0	55%	55%	19
18/01/2020	27	29	5,09	16,6	62%	57%	10
19/01/2020	25	26	4,28	14,0	56%	54%	11
20/01/2020	20	22	3,44	11,2	56%	51%	9
21/01/2020	17	18	2,03	6,6	39%	37%	10
22/01/2020	25	27	3,73	12,2	49%	45%	13
23/01/2020	34	36	1,96	6,4	19%	18%	28
24/01/2020	43	45	2,16	7,1	16%	16%	36
25/01/2020	35	38	1,65	5,4	15%	14%	30
26/01/2020	23	20	1,17	3,8	17%	19%	19
27/01/2020	30	27	4,88	16,0	53%	59%	14
28/01/2020	<b>90</b>	<b>80</b>	15,97	52,2	58%	65%	38
29/01/2020	49	49	8,82	28,8	59%	59%	20
30/01/2020	32	28	5,36	17,5	55%	63%	14
31/01/2020	16	13	2,03	6,6	41%	51%	9
01/02/2020	31	31	5,44	17,8	57%	57%	13
02/02/2020	25	25	2,49	8,1	33%	33%	17
03/02/2020	41	40	6,22	20,3	50%	51%	21
04/02/2020	42	33	4,87	15,9	38%	48%	26
05/02/2020	26	24	3,13	10,2	39%	43%	16
06/02/2020	27	28	1,96	6,4	24%	23%	21

Fecha muestreo	PM <sub>10</sub> Torre (µg/m <sup>3</sup> )		Na (µg/m <sup>3</sup> )	[Sea Salt] (µg/m <sup>3</sup> )	% Sea Salt en PM <sub>10</sub>		PM <sub>10</sub> (SAM) menos SS (µg/m <sup>3</sup> )
	SAM	CAV			SAM	CAV	
07/02/2020	38	34	3,1	10,1	27%	30%	28
08/02/2020	47	44	8,69	28,4	60%	65%	19
09/02/2020	32	31	6,1	19,9	62%	64%	12
10/02/2020	<b>89</b>	<b>88</b>	17,4	56,9	64%	65%	32
11/02/2020	<b>106</b>	<b>97</b>	20,64	67,5	64%	70%	39
12/02/2020	<b>83</b>	<b>73</b>	13,93	45,6	55%	62%	37
13/02/2020	<b>67</b>	<b>69</b>	13,71	44,8	67%	65%	22
14/02/2020	<b>54</b>	47	7,63	25,0	46%	53%	29
15/02/2020	32	30	5,05	16,5	52%	55%	15
16/02/2020	30	29	5,68	18,6	62%	64%	11
17/02/2020	<b>103</b>	<b>106</b>	20,69	67,7	66%	64%	35
18/02/2020	<b>66</b>	<b>67</b>	11,71	38,3	58%	57%	28
19/02/2020	47	--	--	--	--	--	47
20/02/2020	39	--	--	--	--	--	39
21/02/2020	<b>72</b>	--	--	--	--	--	<b>72</b>
22/02/2020	<b>65</b>	--	--	--	--	--	<b>65</b>
23/02/2020	<b>52</b>	--	--	--	--	--	<b>52</b>
24/02/2020	49	--	--	--	--	--	49
25/02/2020	37	--	--	--	--	--	37
26/02/2020	<b>55</b>	--	--	--	--	--	<b>55</b>
27/02/2020	<b>101</b>	--	--	--	--	--	<b>61</b> <sup>3</sup>
28/02/2020	<b>92</b>	<b>92</b>	6,92	22,6	25%	25%	<b>54</b> <sup>3</sup>
29/02/2020	36	35	6,72	22,0	61%	63%	14
01/03/2020	<b>56</b>	<b>54</b>	10,58	34,6	62%	64%	21
02/03/2020	<b>55</b>	<b>51</b>	11,3	37,0	67%	72%	18
03/03/2020	<b>61</b>	<b>53</b>	10,04	32,8	54%	62%	28
04/03/2020	37	36	5,17	16,9	46%	47%	20
05/03/2020	<b>51</b>	43	9,17	30,0	59%	70%	21
06/03/2020	<b>79</b>	<b>80</b>	16,6	54,3	69%	68%	25
07/03/2020	<b>93</b>	<b>74</b>	15,87	51,9	56%	70%	41
08/03/2020	46	42	8,51	27,8	60%	66%	18
09/03/2020	<b>82</b>	<b>76</b>	14,91	48,8	59%	64%	33
10/03/2020	42	37	6,08	19,9	47%	54%	22
11/03/2020	<b>58</b>	<b>53</b>	10,52	34,4	59%	65%	24
12/03/2020	47	45	8,31	27,2	58%	60%	20
13/03/2020	46	--	--	--	--	--	46
14/03/2020	42	46	10,2	33,4	79%	73%	9
15/03/2020	33	33	6,09	19,9	60%	60%	13

<sup>3</sup> En los días 27 y 28 de febrero se ha realizado además el descuento atribuible a polvo sahariano.

Fecha muestreo	PM <sub>10</sub> Torre (µg/m <sup>3</sup> )		Na (µg/m <sup>3</sup> )	[Sea Salt] (µg/m <sup>3</sup> )	% Sea Salt en PM <sub>10</sub>		PM <sub>10</sub> (SAM) menos SS (µg/m <sup>3</sup> )
	SAM	CAV			SAM	CAV	
16/03/2020	32	34	7,13	23,3	73%	69%	9
17/03/2020	24	23	2,97	9,7	40%	42%	14
18/03/2020	39	40	5,71	18,7	48%	47%	20
19/03/2020	<b>53</b>	<b>51</b>	6,86	22,4	42%	44%	31
20/03/2020	44	46	4,83	15,8	36%	34%	28
21/03/2020	44	46	4,46	14,6	33%	32%	29
22/03/2020	45	46	3,2	10,5	23%	23%	35
23/03/2020	27	25	2,55	8,3	31%	33%	19
24/03/2020	<b>71</b>	<b>76</b>	13,34	43,6	61%	57%	27
25/03/2020	<b>57</b>	49	6,57	21,5	38%	44%	36
26/03/2020	36	34	3,92	12,8	36%	38%	23
27/03/2020	27	27	2,1	6,9	25%	25%	20
28/03/2020	27	--	--	--	--	--	27
29/03/2020	28	--	--	--	--	--	28
30/03/2020	22	--	--	--	--	--	22
31/03/2020	17	--	--	--	--	--	17
01/04/2020	26	--	--	--	--	--	26
02/04/2020	41	--	--	--	--	--	41
03/04/2020	27	--	--	--	--	--	27
04/04/2020	19	22	0,75	2,5	13%	11%	17
05/04/2020	16	14	1,5	4,9	31%	35%	11
06/04/2020	24	24	3,36	11,0	46%	46%	13
07/04/2020	50	<b>53</b>	9,55	31,2	62%	59%	19
08/04/2020	30	29	3,82	12,5	42%	43%	18
09/04/2020	24	25	2,62	8,6	36%	34%	15
10/04/2020	17	14	1,95	6,4	38%	46%	11
11/04/2020	17	14	1,85	6,0	36%	43%	11
12/04/2020	16	15	2	6,5	41%	44%	9
13/04/2020	32	29	5,04	16,5	52%	57%	16
14/04/2020	50	46	7,53	24,6	49%	54%	25
15/04/2020	21	16	1,56	5,1	24%	32%	16
16/04/2020	12	10	0,58	1,9	16%	19%	10
17/04/2020	14	11	1,15	3,8	27%	34%	10
18/04/2020	15	12	1,27	4,2	28%	35%	11
19/04/2020	17	14	1,17	3,8	23%	27%	13
20/04/2020	18	15	1,37	4,5	25%	30%	14
21/04/2020	46	43	6,82	22,3	48%	52%	24
22/04/2020	47	45	5,97	19,5	42%	43%	27
23/04/2020	42	40	3,77	12,3	29%	31%	30
24/04/2020	35	40	3,08	10,1	29%	25%	25

Fecha muestreo	PM <sub>10</sub> Torre (µg/m <sup>3</sup> )		Na (µg/m <sup>3</sup> )	[Sea Salt] (µg/m <sup>3</sup> )	% Sea Salt en PM <sub>10</sub>		PM <sub>10</sub> (SAM) menos SS (µg/m <sup>3</sup> )
	SAM	CAV			SAM	CAV	
25/04/2020	32	34	2,93	9,6	30%	28%	22
26/04/2020	22	20	1,46	4,8	22%	24%	17
27/04/2020	22	20	2,48	8,1	37%	41%	14
28/04/2020	21	23	2,55	8,3	40%	36%	13
29/04/2020	18	20	2,82	9,2	51%	46%	9
30/04/2020	32	33	5,97	19,5	61%	59%	12
01/05/2020	21	23	3,64	11,9	57%	52%	9
02/05/2020	17	17	2,79	9,1	54%	54%	8
03/05/2020	24	23	3,58	11,7	49%	51%	12
04/05/2020	21	23	2,1	6,9	33%	30%	14
05/05/2020	17	19	2,76	9,0	53%	48%	8
06/05/2020	20	21	3,32	10,9	54%	52%	9
07/05/2020	19	21	2,14	7,0	37%	33%	12
08/05/2020	20	19	1,58	5,2	26%	27%	15
09/05/2020	14	13	1,29	4,2	30%	32%	10
10/05/2020	19	19	2,66	8,7	46%	46%	10
11/05/2020	17	18	2,11	6,9	41%	38%	10
12/05/2020	17	17	2,11	6,9	41%	41%	10
13/05/2020	15	15	1,49	4,9	32%	32%	10
14/05/2020	17	15	1,78	5,8	34%	39%	11
15/05/2020	30	27	3,51	11,5	38%	43%	19
16/05/2020	26	22	2,52	8,2	32%	37%	18
17/05/2020	23	21	1,91	6,2	27%	30%	17
18/05/2020	23	24	1,67	5,5	24%	23%	18
19/05/2020	27	27	2,14	7,0	26%	26%	20
20/05/2020	26	23	2,52	8,2	32%	36%	18
21/05/2020	23	21	2,45	8,0	35%	38%	15
22/05/2020	29	30	5,82	19,0	66%	63%	10
23/05/2020	40	39	8,09	26,5	66%	68%	14
24/05/2020	23	24	3,99	13,0	57%	54%	10
25/05/2020	28	28	5,15	16,8	60%	60%	11
26/05/2020	25	24	3,1	10,1	41%	42%	15
27/05/2020	32	32	3,77	12,3	39%	39%	20
28/05/2020	35	45	4,37	14,3	41%	32%	21
29/05/2020	23	25	1,71	5,6	24%	22%	17
30/05/2020	25	26	1,02	3,3	13%	13%	22
31/05/2020	29	32	2,52	8,2	28%	26%	21
01/06/2020	26	27	2,29	7,5	29%	28%	19
02/06/2020	26	29	2,25	7,4	28%	25%	19
03/06/2020	26	28	1,3	4,3	16%	15%	22



Fecha muestreo	PM <sub>10</sub> Torre (µg/m <sup>3</sup> )		Na (µg/m <sup>3</sup> )	[Sea Salt] (µg/m <sup>3</sup> )	% Sea Salt en PM <sub>10</sub>		PM <sub>10</sub> (SAM) menos SS (µg/m <sup>3</sup> )
	SAM	CAV			SAM	CAV	
04/06/2020	26	27	4,44	14,5	56%	54%	11
05/06/2020	28	26	4,16	13,6	49%	52%	14
06/06/2020	20	20	3,2	10,5	52%	52%	10
07/06/2020	21	22	3,38	11,1	53%	50%	10
08/06/2020	20	19	3,03	9,9	50%	52%	10
09/06/2020	17	18	2,17	7,1	42%	39%	10
10/06/2020	15	15	1,21	4,0	26%	26%	11
11/06/2020	24	28	4,92	16,1	67%	57%	8
12/06/2020	50	50	9,66	31,6	63%	63%	18
13/06/2020	33	27	4,78	15,6	47%	58%	17
14/06/2020	26	23	3,4	11,1	43%	48%	15
15/06/2020	21	18	2,79	9,1	43%	51%	12
16/06/2020	16	14	2,27	7,4	46%	53%	9
17/06/2020	15	12	1,68	5,5	37%	46%	10
18/06/2020	18	17	2,52	8,2	46%	48%	10
19/06/2020	22	20	2,79	9,1	41%	46%	13
20/06/2020	18	15	2,25	7,4	41%	49%	11
21/06/2020	27	32	6,39	20,9	77%	65%	6
22/06/2020	52	52	10,04	32,8	63%	63%	19
23/06/2020	33	33	4,64	15,2	46%	46%	18
24/06/2020	39	39	6,93	22,7	58%	58%	16
25/06/2020	42	40	7,43	24,3	58%	61%	18
26/06/2020	15	13	1,56	5,1	34%	39%	10
27/06/2020	14	12	1,55	5,1	36%	42%	9
28/06/2020	14	13	1,1	3,6	26%	28%	10
29/06/2020	17	17	2,24	7,3	43%	43%	10
30/06/2020	35	34	5,77	18,9	54%	55%	16
01/07/2020	26	23	4,03	13,2	51%	57%	13
02/07/2020	25	23	3,36	11,0	44%	48%	14
03/07/2020	18	17	2,06	6,7	37%	40%	11
04/07/2020	25	25	3,53	11,5	46%	46%	13
05/07/2020	14	13	1,24	4,1	29%	31%	10
06/07/2020	18	19	2,41	7,9	44%	41%	10
07/07/2020	28	26	3,59	11,7	42%	45%	16
08/07/2020	27	27	3,52	11,5	43%	43%	15
09/07/2020	20	18	1,8	5,9	29%	33%	14
10/07/2020	19	19	2,7	8,8	46%	46%	10
11/07/2020	21	--	--	--	--	--	21
12/07/2020	24	--	--	--	--	--	24
13/07/2020	22	--	--	--	--	--	22

Fecha muestreo	PM <sub>10</sub> Torre (µg/m <sup>3</sup> )		Na (µg/m <sup>3</sup> )	[Sea Salt] (µg/m <sup>3</sup> )	% Sea Salt en PM <sub>10</sub>		PM <sub>10</sub> (SAM) menos SS (µg/m <sup>3</sup> )
	SAM	CAV			SAM	CAV	
14/07/2020	14	--	--	--	--	--	14
15/07/2020	18	--	--	--	--	--	18
16/07/2020	19	--	--	--	--	--	19
17/07/2020	20	20	2,46	8,0	40%	40%	12
18/07/2020	30	31	3,73	12,2	41%	39%	18
19/07/2020	30	30	4,32	14,1	47%	47%	16
20/07/2020	25	25	3,69	12,1	48%	48%	13
21/07/2020	27	27	3,6	11,8	44%	44%	15
22/07/2020	35	35	4,77	15,6	45%	45%	19
23/07/2020	26	23	2,39	7,8	30%	34%	18
24/07/2020	14	11	0,9	2,9	21%	27%	11
25/07/2020	12	11	0,91	3,0	25%	27%	9
26/07/2020	15	14	1,73	5,7	38%	40%	9
27/07/2020	15	13	1,05	3,4	23%	26%	12
28/07/2020	20	20	3,13	10,2	51%	51%	10
29/07/2020	23	22	3,18	10,4	45%	47%	13
30/07/2020	23	23	2,42	7,9	34%	34%	15
31/07/2020	24	--	--	--	--	--	24
01/08/2020	20	--	--	--	--	--	20
02/08/2020	26	--	--	--	--	--	26
03/08/2020	21	--	--	--	--	--	21
04/08/2020	30	--	--	--	--	--	30
05/08/2020	19	24	3,47	11,3	60%	47%	8
06/08/2020	25	25	3,19	10,4	42%	42%	15
07/08/2020	16	14	1,28	4,2	26%	30%	12
08/08/2020	20	19	2,27	7,4	37%	39%	13
09/08/2020	26	25	3,37	11,0	42%	44%	15
10/08/2020	27	24	2,55	8,3	31%	35%	19
11/08/2020	22	20	1,84	6,0	27%	30%	16
12/08/2020	25	24	3,4	11,1	44%	46%	14
13/08/2020	14	15	0,86	2,8	20%	19%	11
14/08/2020	16	18	1,1	3,6	22%	20%	12
15/08/2020	13	15	0,97	3,2	24%	21%	10
16/08/2020	13	12	0,84	2,7	21%	23%	10
17/08/2020	9,7	10	0,35	1,1	12%	11%	9
18/08/2020	12	12	0,48	1,6	13%	13%	10
19/08/2020	14	19	0,84	2,7	20%	14%	11
20/08/2020	23	25	2,98	9,7	42%	39%	13
21/08/2020	--	46	8,7	28,4	--	62%	--
22/08/2020	--	43	7,13	23,3	--	54%	--



Fecha muestreo	PM <sub>10</sub> Torre (µg/m <sup>3</sup> )		Na (µg/m <sup>3</sup> )	[Sea Salt] (µg/m <sup>3</sup> )	% Sea Salt en PM <sub>10</sub>		PM <sub>10</sub> (SAM) menos SS (µg/m <sup>3</sup> )
	SAM	CAV			SAM	CAV	
23/08/2020	17	19	2,08	6,8	40%	36%	10
24/08/2020	16	16	1,61	5,3	33%	33%	11
25/08/2020	15	14	1,09	3,6	24%	25%	11
26/08/2020	15	15	1,64	5,4	36%	36%	10
27/08/2020	15	14	1,37	4,5	30%	32%	11
28/08/2020	30	26	4,43	14,5	48%	56%	16
29/08/2020	31	30	5,01	16,4	53%	55%	15
30/08/2020	21	19	2,47	8,1	38%	43%	13
31/08/2020	14	14	0,88	2,9	21%	21%	11
01/09/2020	15	14	0,9	2,9	20%	21%	12
02/09/2020	15	--	--	--	--	--	15
03/09/2020	30	--	--	--	--	--	30
04/09/2020	--	40	4,79	15,7	--	39%	--
05/09/2020	18	20	2,65	8,7	48%	43%	9
06/09/2020	18	17	2,28	7,5	41%	44%	11
07/09/2020	18	16	2,04	6,7	37%	42%	11
08/09/2020	18	16	1,39	4,5	25%	28%	13
09/09/2020	22	20	1,77	5,8	26%	29%	16
10/09/2020	26	26	2,53	8,3	32%	32%	18
11/09/2020	40	38	5	16,4	41%	43%	24
12/09/2020	47	43	6,7	21,9	47%	51%	25
13/09/2020	43	47	6,89	22,5	52%	48%	20
14/09/2020	43	41	4,9	16,0	37%	39%	27
15/09/2020	17	17	1,03	3,4	20%	20%	14
16/09/2020	31	32	2,23	7,3	24%	23%	24
17/09/2020	30	28	2	6,5	22%	23%	23
18/09/2020	21	24	2,33	7,6	36%	32%	13
19/09/2020	27	26	3,32	10,9	40%	42%	16
20/09/2020	22	20	1,97	6,4	29%	32%	16
21/09/2020	25	24	2,56	8,4	33%	35%	17
22/09/2020	26	22	2,15	7,0	27%	32%	19
23/09/2020	17	16	1,67	5,5	32%	34%	12
24/09/2020	48	42	7,45	24,4	51%	58%	24
25/09/2020	<b>98</b>	<b>86</b>	17,52	57,3	58%	67%	41
26/09/2020	42	33	5,81	19,0	45%	58%	23
27/09/2020	29	22	4,02	13,1	45%	60%	16
28/09/2020	24	18	2,23	7,3	30%	41%	17
29/09/2020	32	27	3,51	11,5	36%	43%	21
30/09/2020	21	19	2,43	7,9	38%	42%	13
01/10/2020	26	23	3,59	11,7	45%	51%	14



Fecha muestreo	PM <sub>10</sub> Torre (µg/m <sup>3</sup> )		Na (µg/m <sup>3</sup> )	[Sea Salt] (µg/m <sup>3</sup> )	% Sea Salt en PM <sub>10</sub>		PM <sub>10</sub> (SAM) menos SS (µg/m <sup>3</sup> )
	SAM	CAV			SAM	CAV	
02/10/2020	67	60	11,12	36,4	54%	61%	31
03/10/2020	74	58	10,47	34,2	46%	59%	40
04/10/2020	61	55	10,69	35,0	57%	64%	26
05/10/2020	47	45	7,62	24,9	53%	55%	22
06/10/2020	31	30	3,89	12,7	41%	42%	18
07/10/2020	63	62	10,68	34,9	55%	56%	28
08/10/2020	29	28	2,57	8,4	29%	30%	21
09/10/2020	23	19	1,93	6,3	27%	33%	17
10/10/2020	20	15	1,94	6,3	32%	42%	14
11/10/2020	24	17	2,22	7,3	30%	43%	17
12/10/2020	18	14	1,12	3,7	20%	26%	14
13/10/2020	31	22	3,95	12,9	42%	59%	18
14/10/2020	38	25	4,2	13,7	36%	55%	24
15/10/2020	26	20	2,06	6,7	26%	34%	19
16/10/2020	19	15	0,55	1,8	9%	12%	17
17/10/2020	17	15	0,58	1,9	11%	13%	15
18/10/2020	18	16	0,52	1,7	9%	11%	16
19/10/2020	19	19	0,4	1,3	7%	7%	18
20/10/2020	11	12	0,37	1,2	11%	10%	10
21/10/2020	26	22	2,56	8,4	32%	38%	18
22/10/2020	24	18	1,88	6,1	26%	34%	18
23/10/2020	24	19	2,1	6,9	29%	36%	17
24/10/2020	15	16	1,83	6,0	40%	37%	9
25/10/2020	65	50	9,02	29,5	45%	59%	36
26/10/2020	64	50	9,64	31,5	49%	63%	32
27/10/2020	36	29	4,89	16,0	44%	55%	20
28/10/2020	108	93	18,34	60,0	56%	64%	48
29/10/2020	118	90	17,2	56,2	48%	62%	62
30/10/2020	37	30	3,73	12,2	33%	41%	25
31/10/2020	13	15	1,44	4,7	36%	31%	8
01/11/2020	21	21	3,11	10,2	48%	48%	11
02/11/2020	101	73	14,16	46,3	46%	63%	55
03/11/2020	62	43	8,31	27,2	44%	63%	35
04/11/2020	27	20	2,51	8,2	30%	41%	19
05/11/2020	25	25	2,93	9,6	38%	38%	15
06/11/2020	18	17	0,54	1,8	10%	10%	16
07/11/2020	10	10	0,37	1,2	12%	12%	9
08/11/2020	14	12	1,05	3,4	25%	29%	11
09/11/2020	25	20	2,37	7,7	31%	39%	17
10/11/2020	28	23	1,73	5,7	20%	25%	22

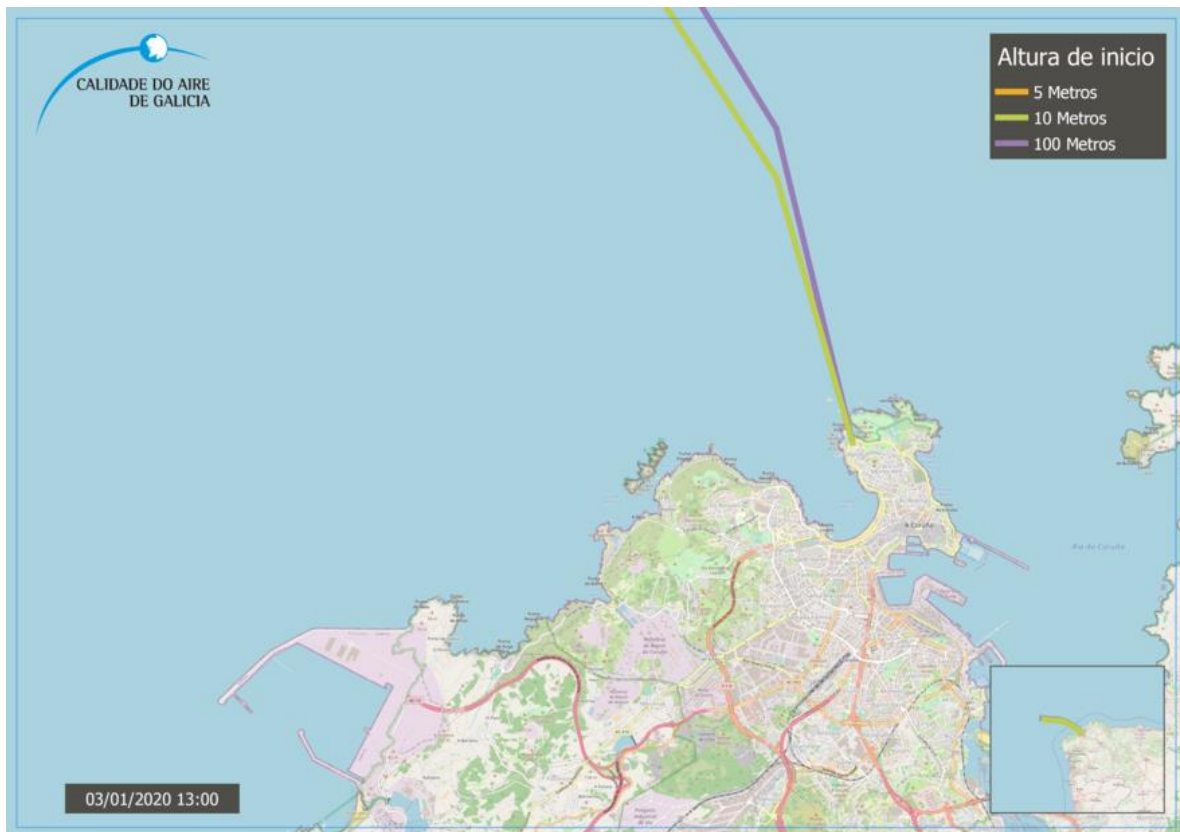


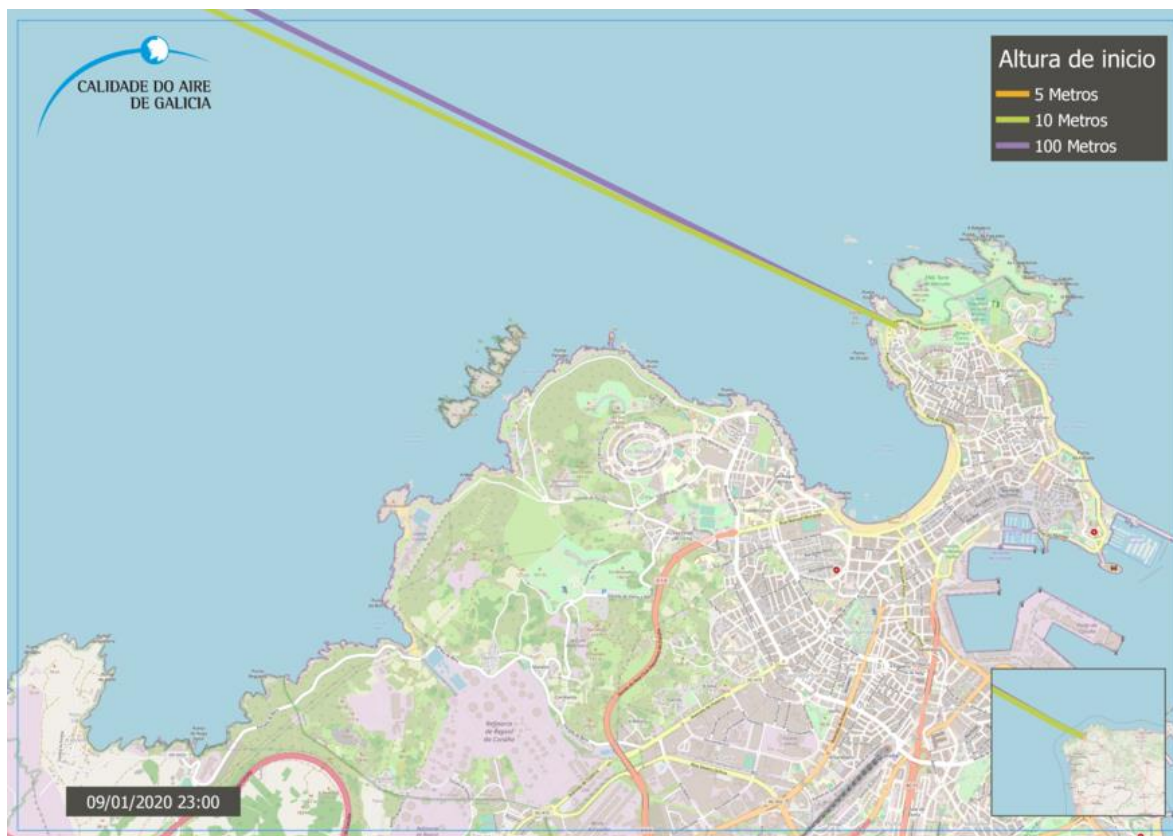
Fecha muestreo	PM <sub>10</sub> Torre (µg/m <sup>3</sup> )		Na (µg/m <sup>3</sup> )	[Sea Salt] (µg/m <sup>3</sup> )	% Sea Salt en PM <sub>10</sub>		PM <sub>10</sub> (SAM) menos SS (µg/m <sup>3</sup> )
	SAM	CAV			SAM	CAV	
11/11/2020	18	18	1,47	4,8	27%	27%	13
12/11/2020	30	27	2,87	9,4	31%	35%	21
13/11/2020	40	37	2,98	9,7	24%	26%	30
14/11/2020	37	31	3,45	11,3	30%	36%	26
15/11/2020	<b>65</b>	<b>53</b>	8,96	29,3	45%	55%	36
16/11/2020	<b>138</b>	<b>87</b>	13,8	45,1	33%	52%	<b>93</b>
17/11/2020	35	33	2,98	9,7	28%	30%	25
18/11/2020	18	20	1,91	6,2	35%	31%	12
19/11/2020	23	22	2,86	9,4	41%	43%	14
20/11/2020	24	25	2,78	9,1	38%	36%	15
21/11/2020	38	37	3,19	10,4	27%	28%	28
22/11/2020	44	42	2,86	9,4	21%	22%	35
23/11/2020	46	44	2,49	8,1	18%	19%	38
24/11/2020	28	39	3,45	11,3	40%	29%	17
25/11/2020	30	16	0,93	3,0	10%	19%	27
26/11/2020	<b>56</b>	49	6,45	21,1	38%	43%	35
27/11/2020	36	--	--	--	--	--	36
28/11/2020	29	--	--	--	--	--	29
29/11/2020	49	--	--	--	--	--	49
30/11/2020	29	--	--	--	--	--	29
01/12/2020	23	--	--	--	--	--	23
02/12/2020	20	--	--	--	--	--	20
03/12/2020	34	--	--	--	--	--	34
04/12/2020	--	--	--	--	--	--	--
05/12/2020	--	--	--	--	--	--	--
06/12/2020	--	--	--	--	--	--	--
07/12/2020	--	--	--	--	--	--	--
08/12/2020	<b>58</b>	--	--	--	--	--	<b>58</b>
09/12/2020	15	--	--	--	--	--	15
10/12/2020	22	--	--	--	--	--	22
11/12/2020	45	--	--	--	--	--	45
12/12/2020	<b>94</b>	--	--	--	--	--	<b>94</b>
13/12/2020	26	--	--	--	--	--	26
14/12/2020	<b>63</b>	--	--	--	--	--	<b>63</b>
15/12/2020	20	--	--	--	--	--	20
16/12/2020	43	--	--	--	--	--	43
17/12/2020	26	--	--	--	--	--	26
18/12/2020	14	--	--	--	--	--	14
19/12/2020	<b>95</b>	--	--	--	--	--	<b>95</b>
20/12/2020	28	--	--	--	--	--	28

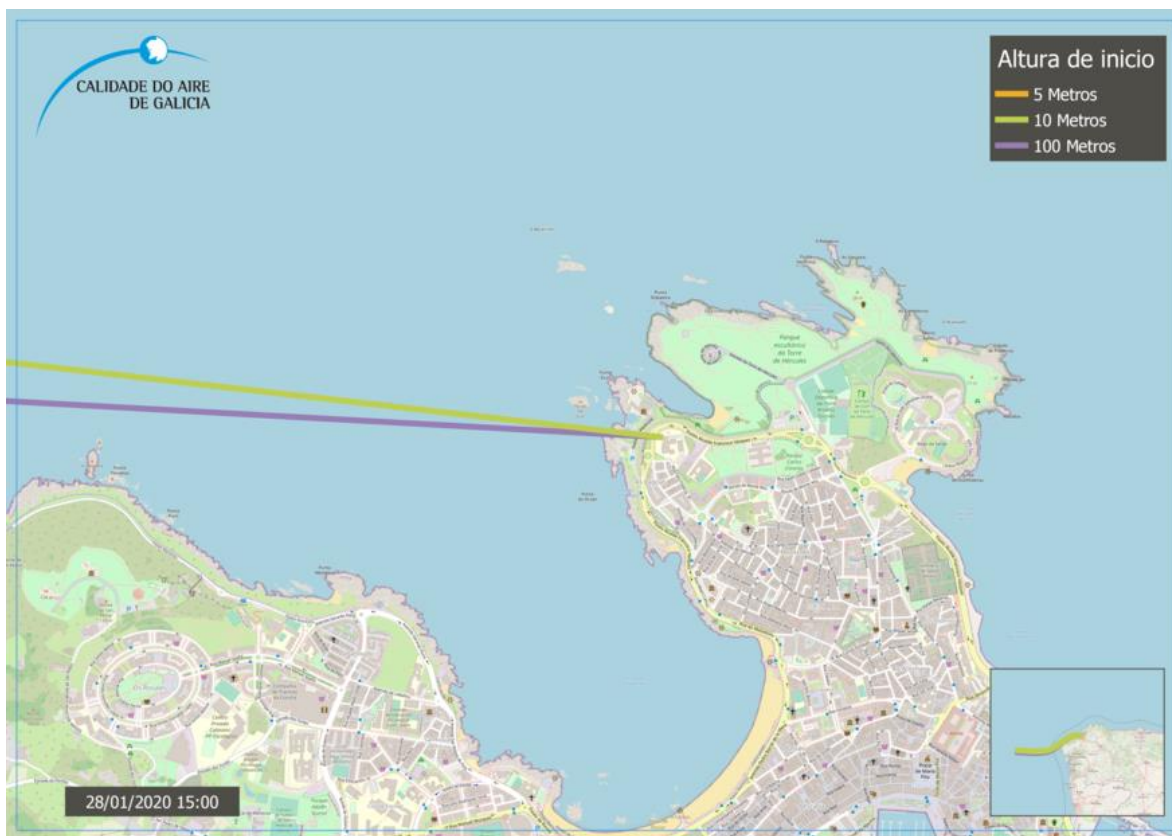
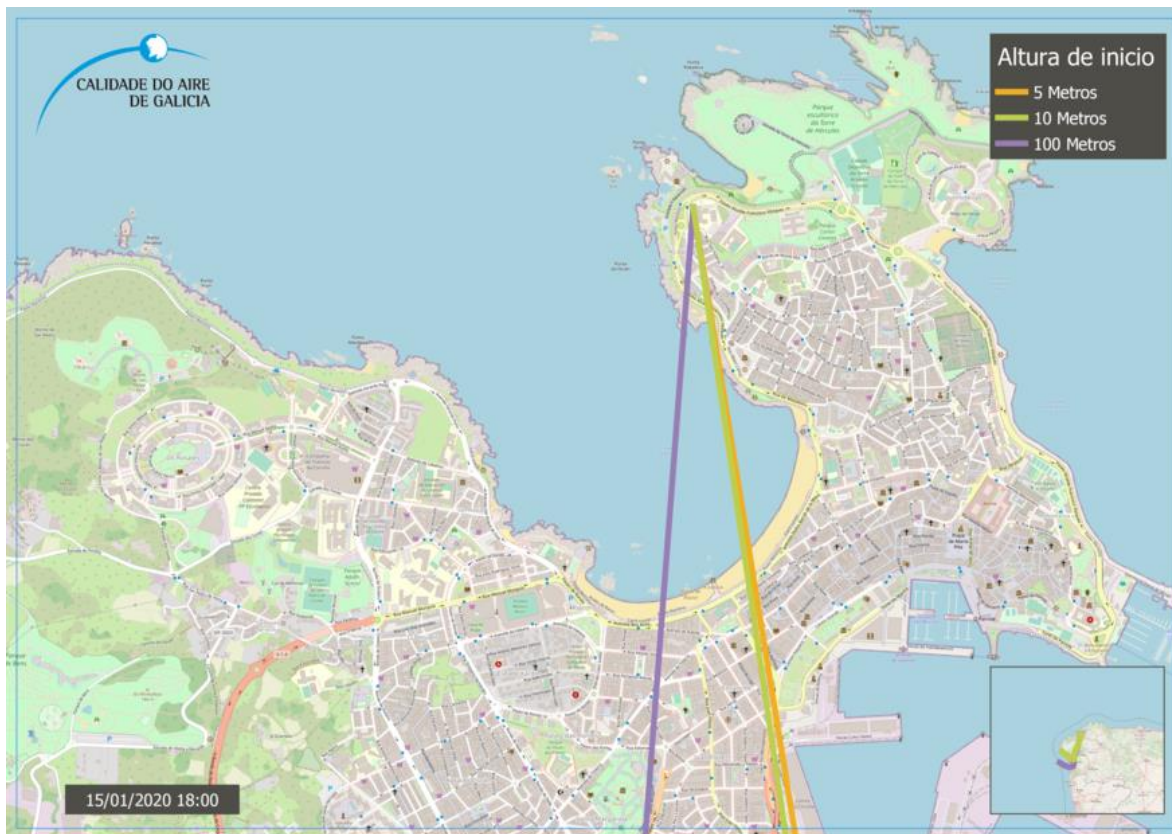
Fecha muestreo	PM <sub>10</sub> Torre (µg/m <sup>3</sup> )		Na (µg/m <sup>3</sup> )	[Sea Salt] (µg/m <sup>3</sup> )	% Sea Salt en PM <sub>10</sub>		PM <sub>10</sub> (SAM) menos SS (µg/m <sup>3</sup> )
	SAM	CAV			SAM	CAV	
21/12/2020	24	--	--	--	--	--	24
22/12/2020	12	--	--	--	--	--	12
23/12/2020	47	--	--	--	--	--	47
24/12/2020	28	--	--	--	--	--	28
25/12/2020	17	--	--	--	--	--	17
26/12/2020	17	--	--	--	--	--	17
27/12/2020	34	--	--	--	--	--	34
28/12/2020	<b>93</b>	--	--	--	--	--	<b>93</b>
29/12/2020	<b>68</b>	--	--	--	--	--	<b>68</b>
30/12/2020	<b>53</b>	--	--	--	--	--	<b>53</b>
31/12/2020	31	--	--	--	--	--	31

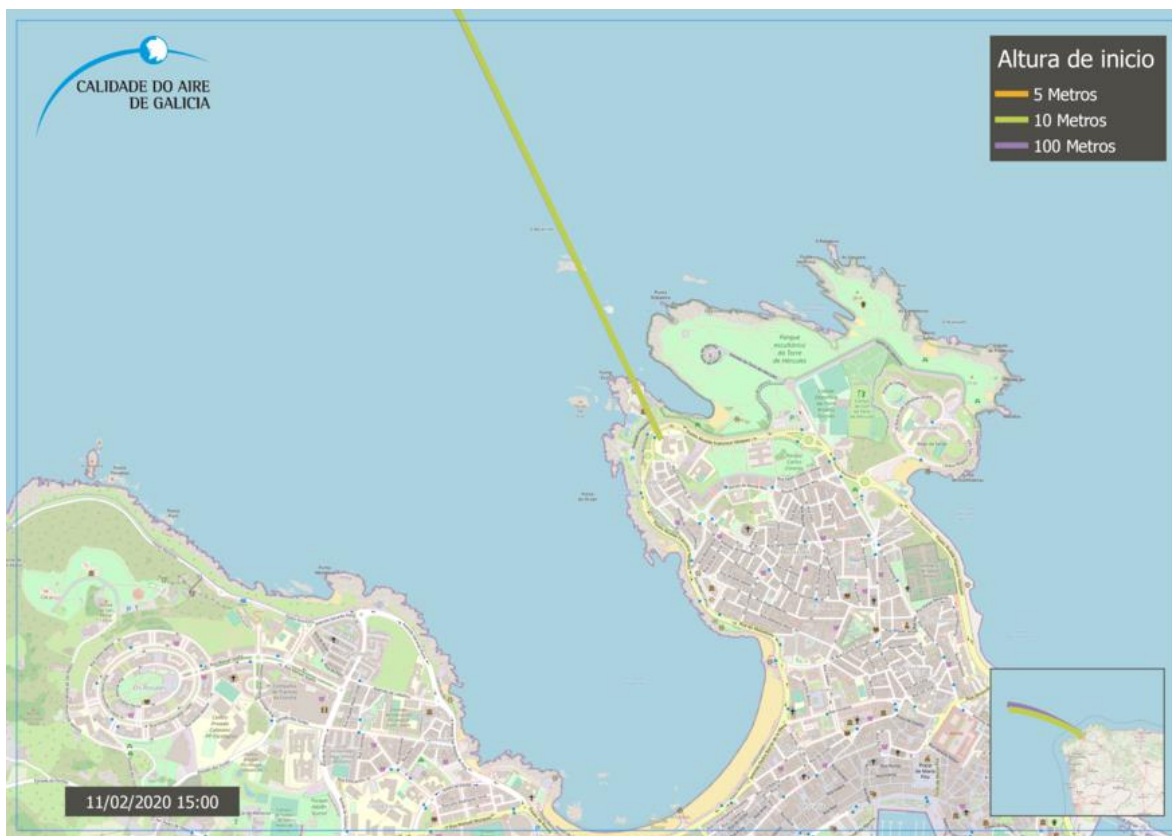
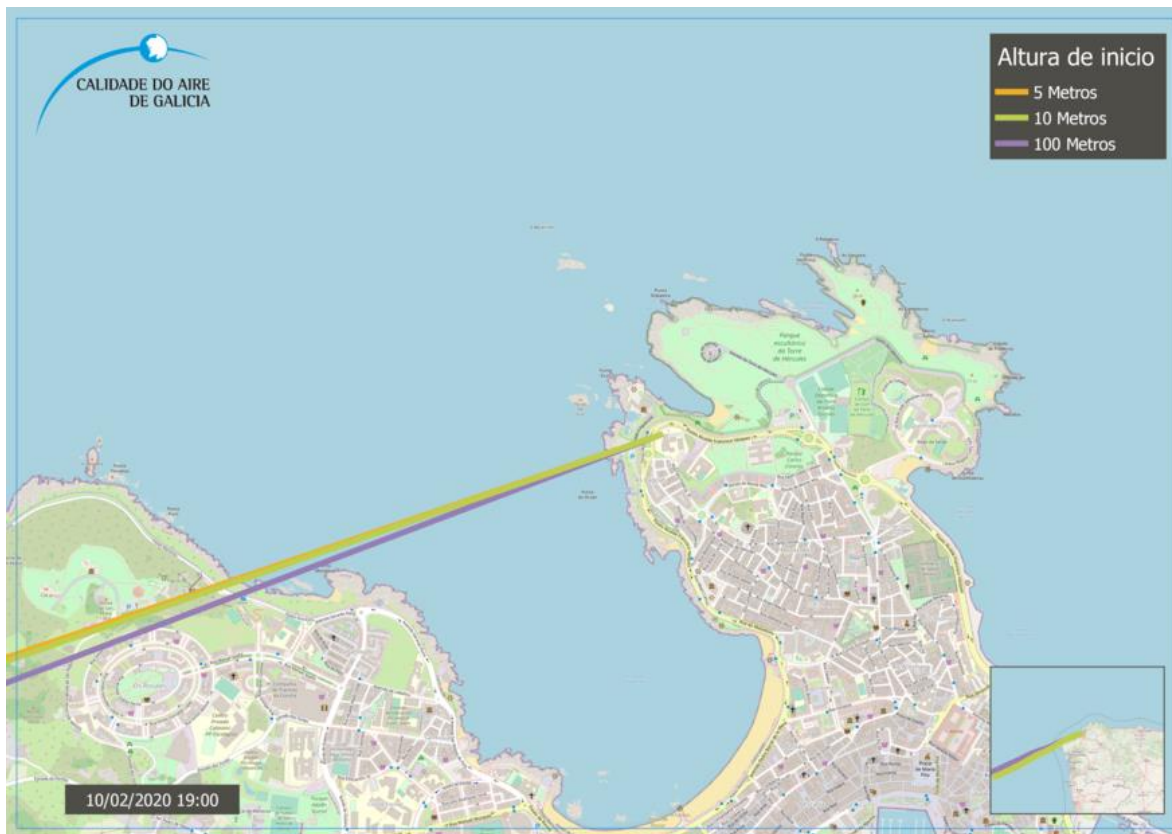
Anexo 2: Retrotrayectorias de los días con superación del VLD de PM<sub>10</sub> en la estación Torre de Hércules en 2020.

A continuación, se muestran las retrotrayectorias realizadas de 12 horas hacia atrás con Hysplit en donde se indican tres puntos de inicio a tres alturas: 5, 10 y 100 metros. Se empleó como meteorología el GFS (*Global Forecast System*).

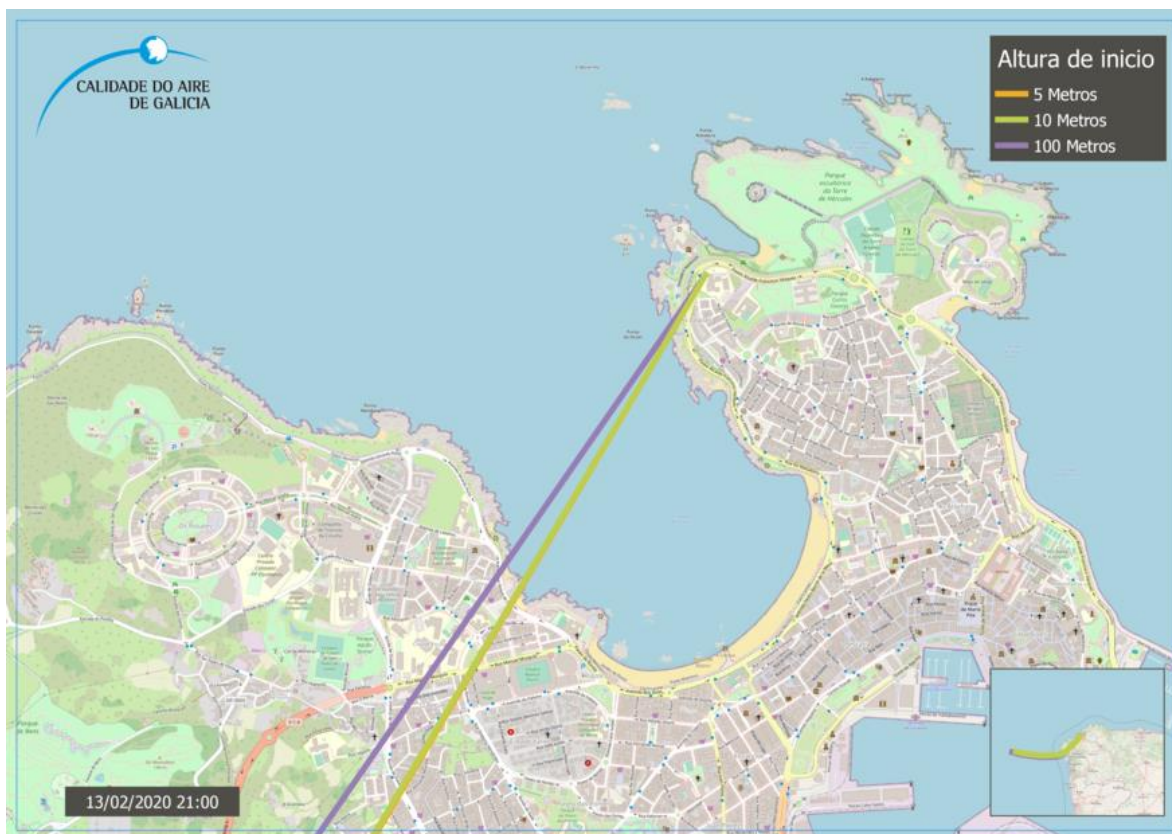
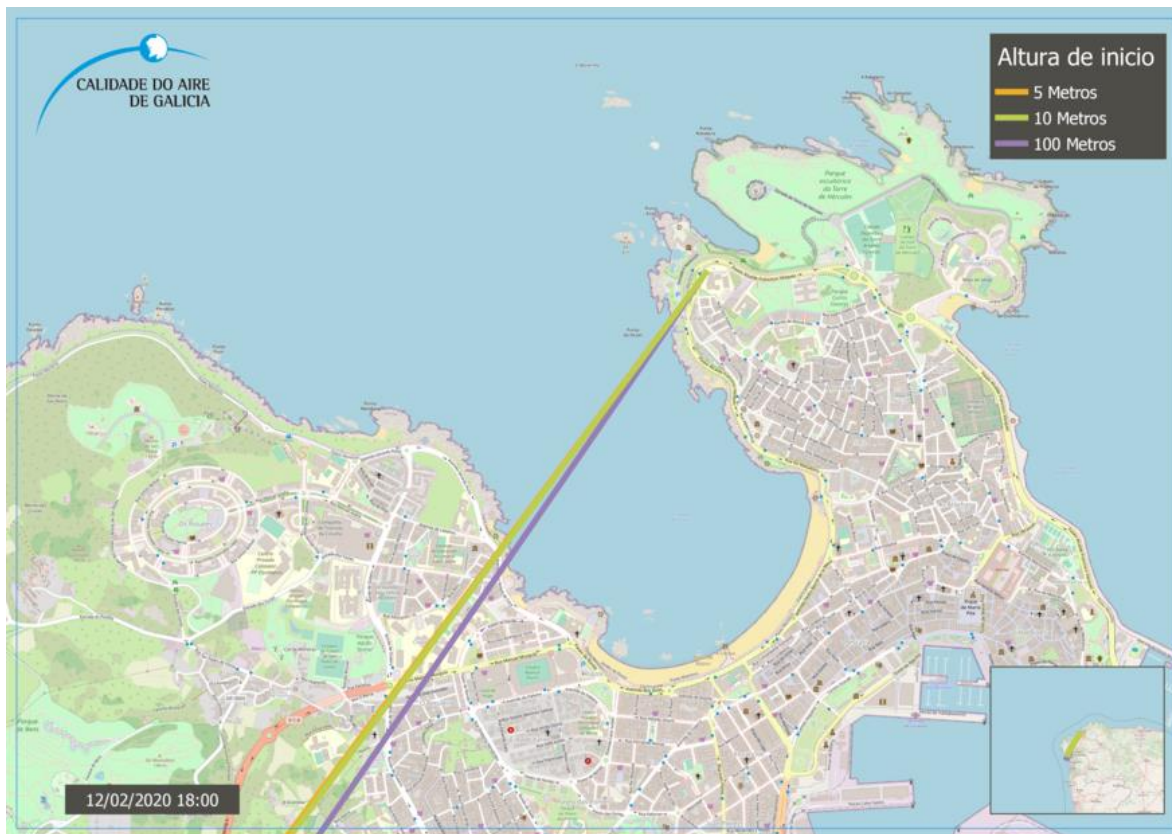


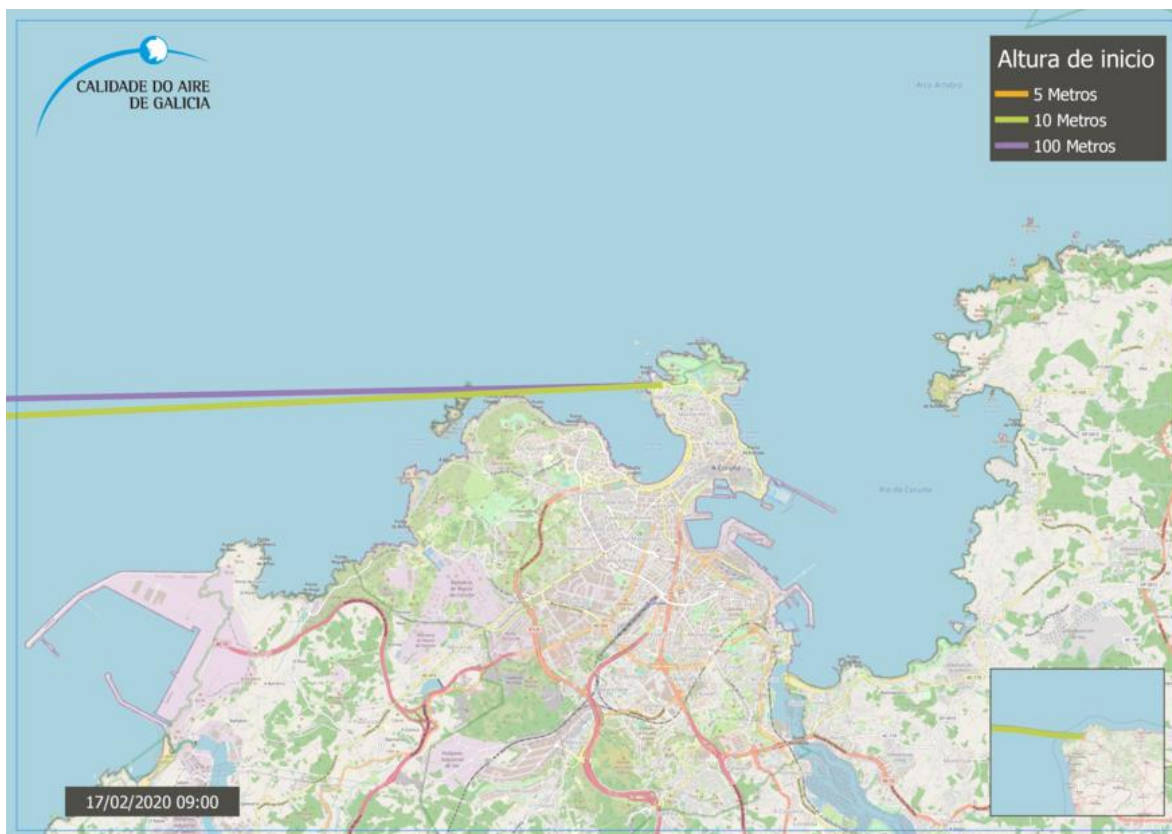
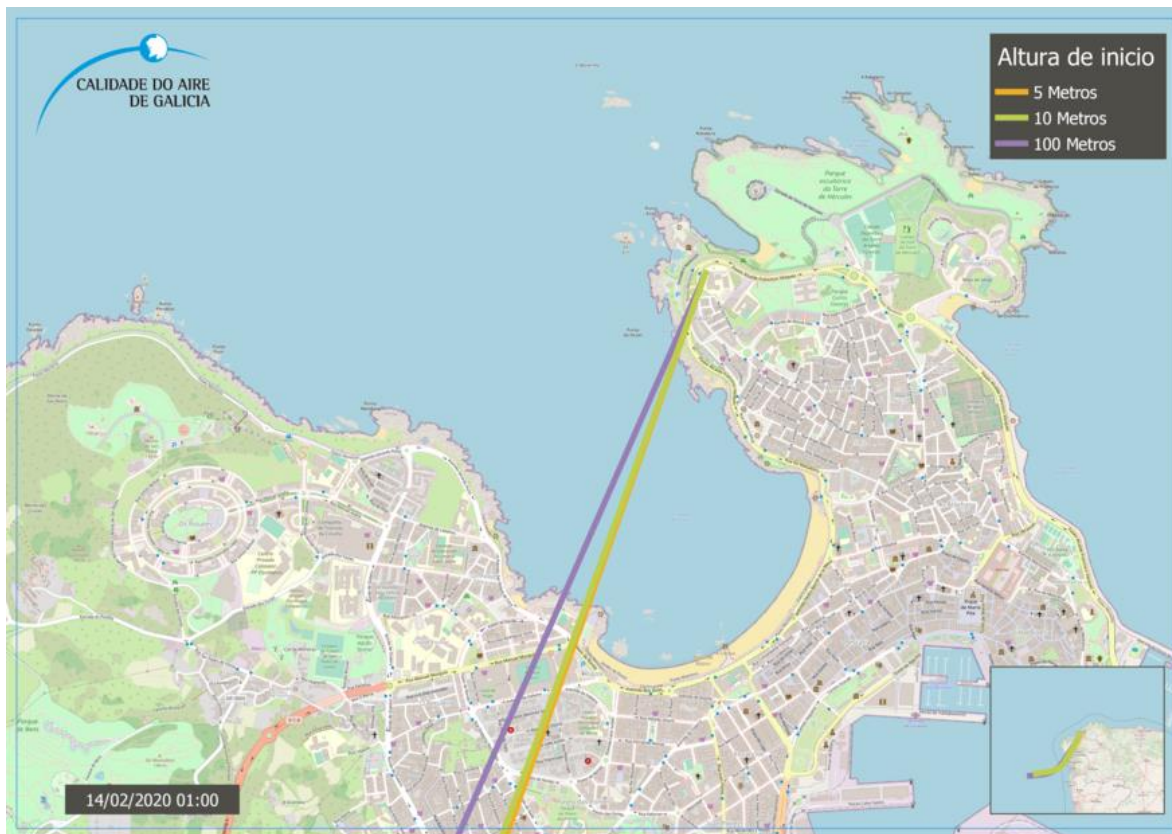


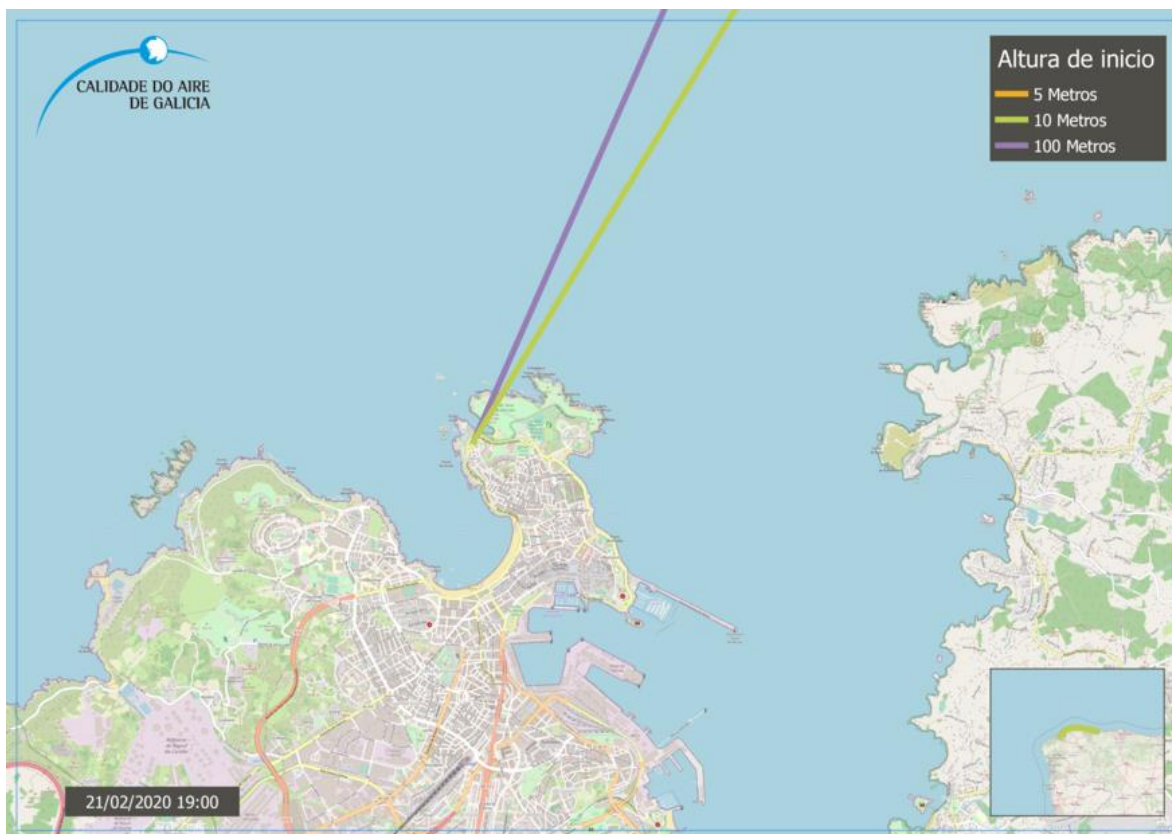
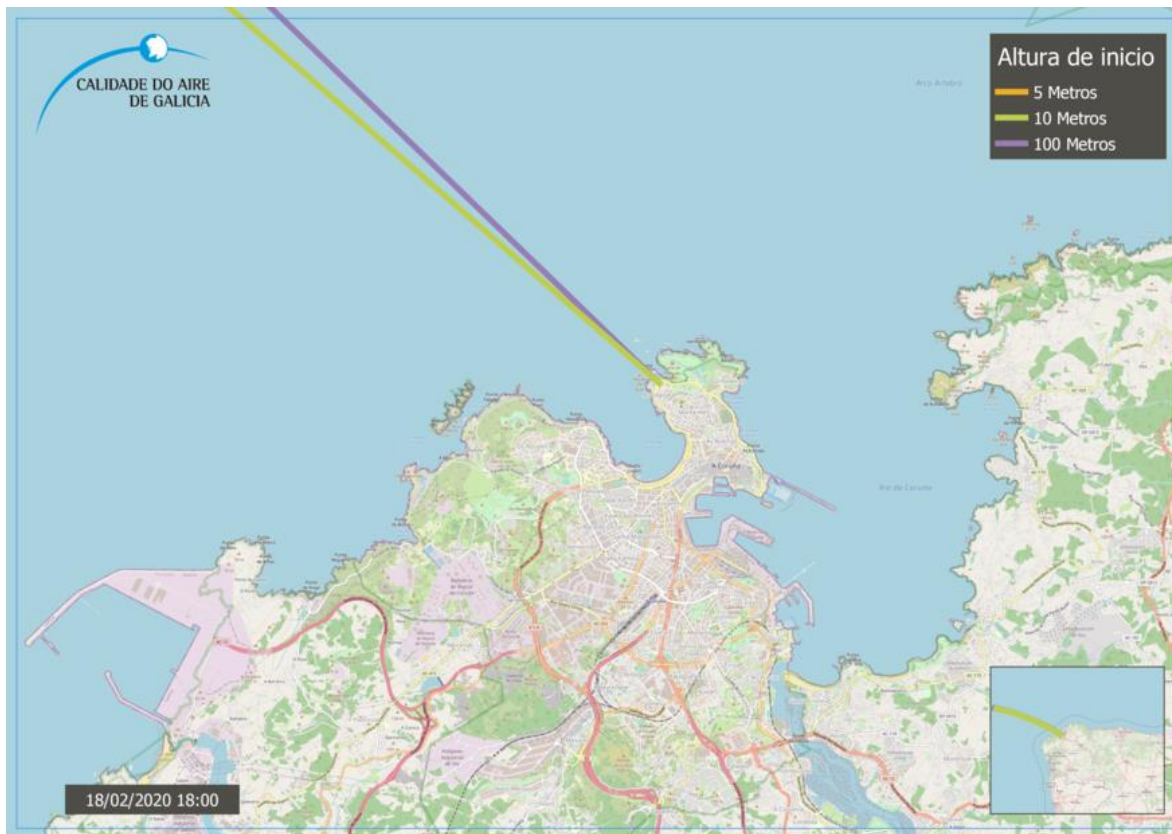


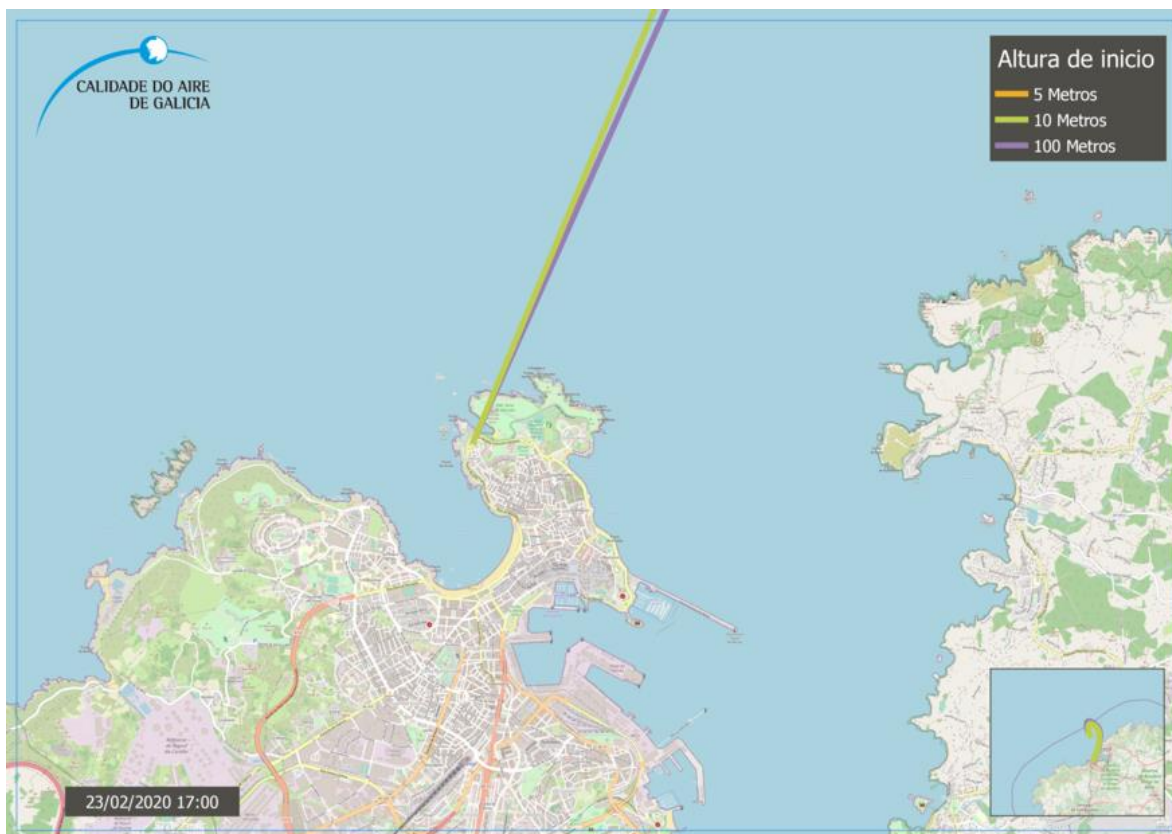
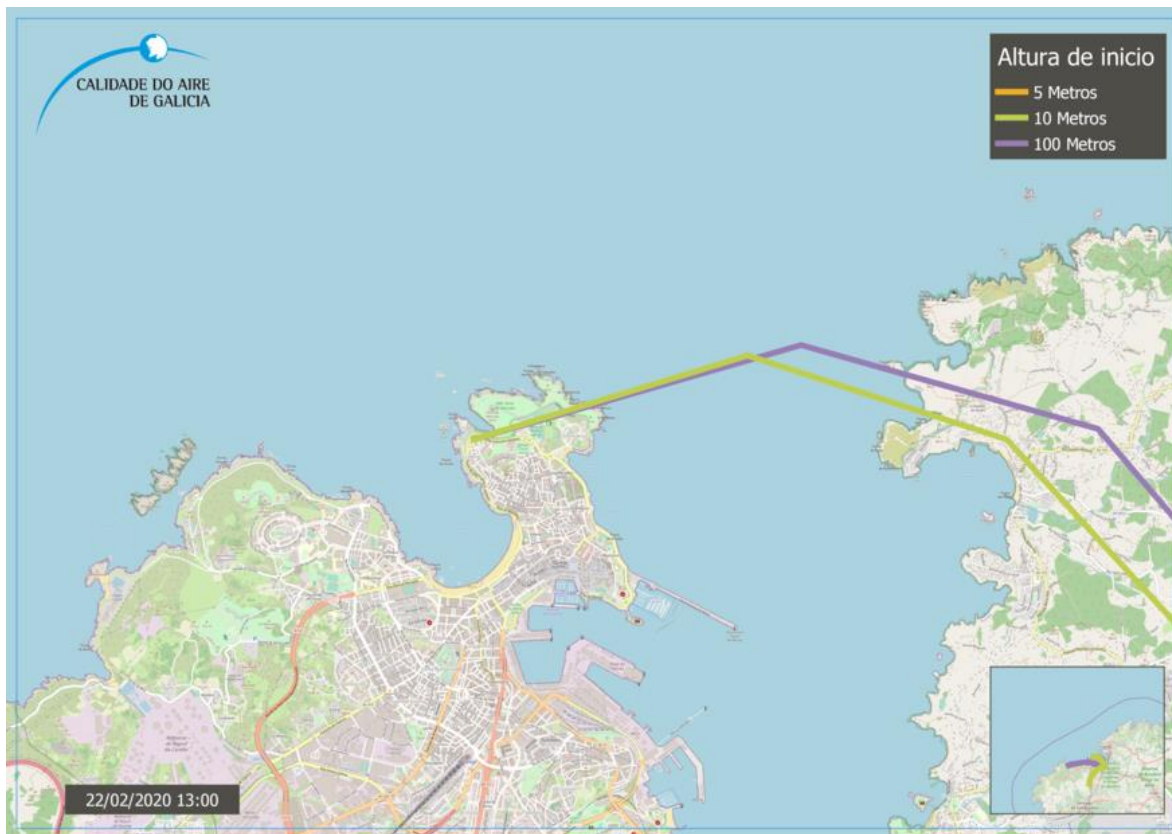


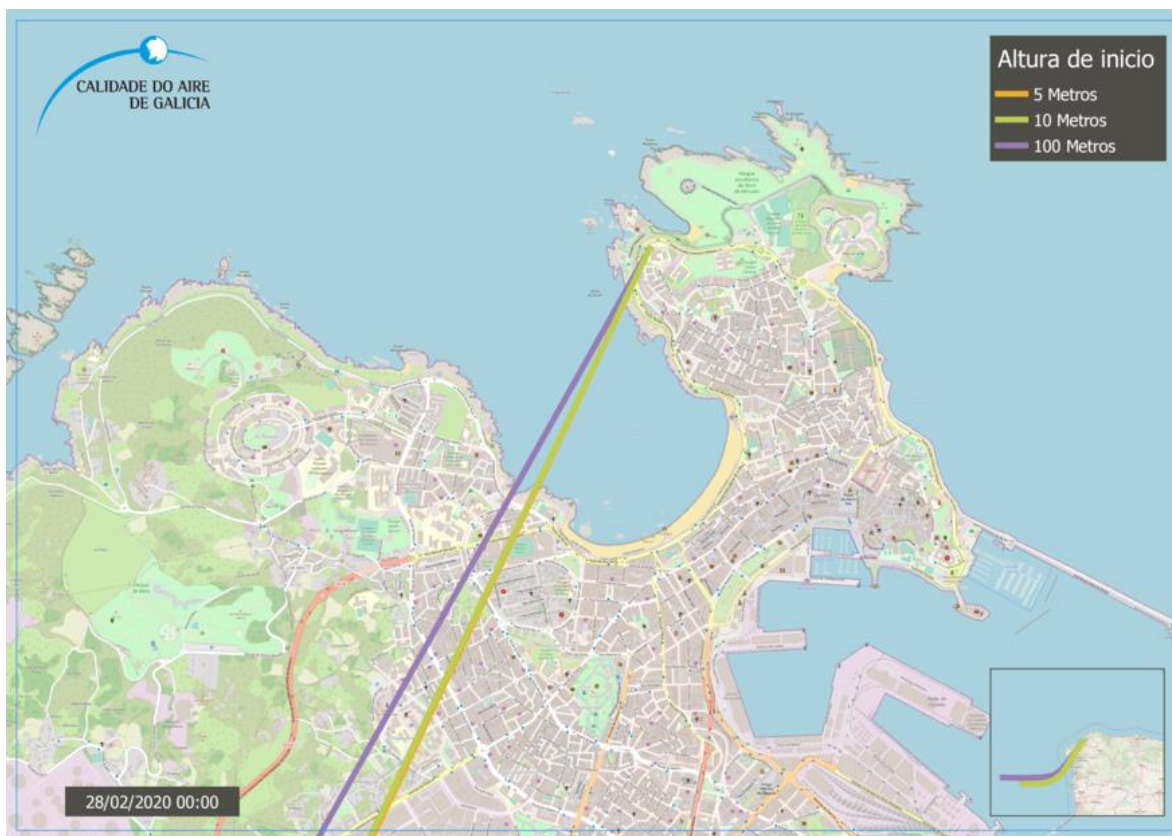


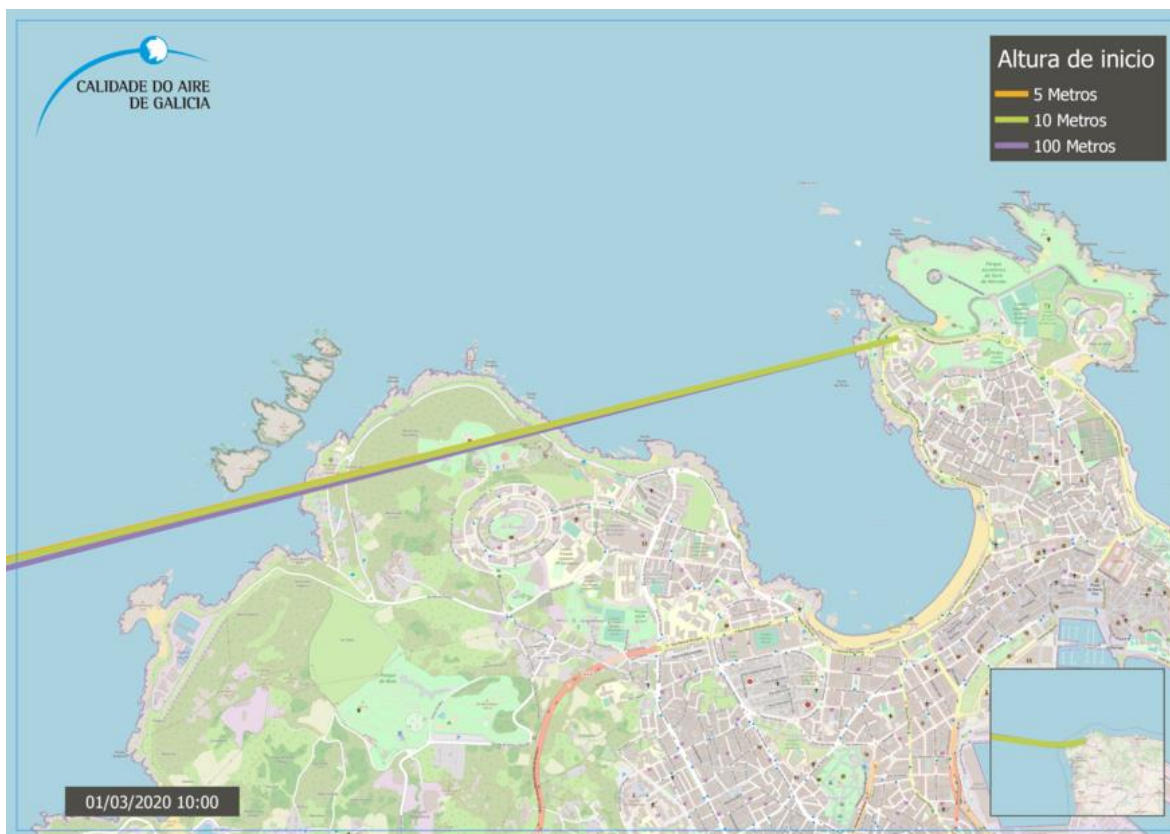
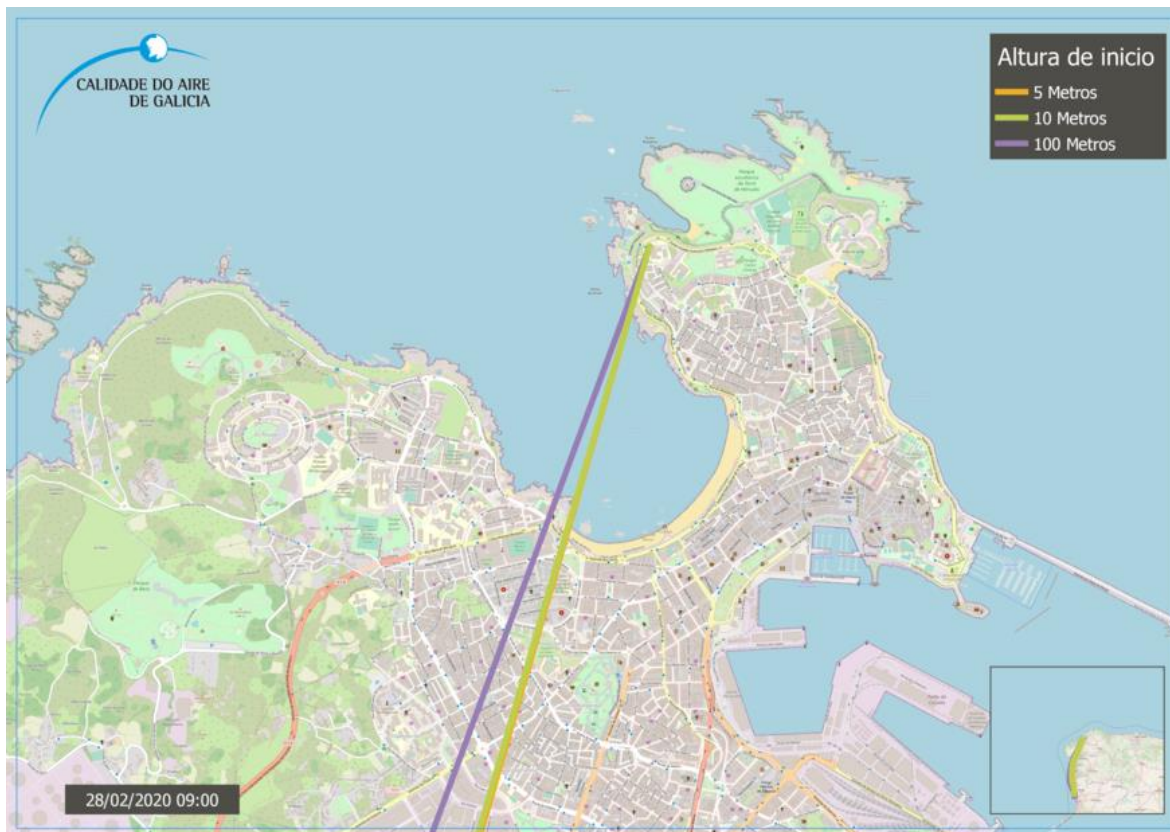


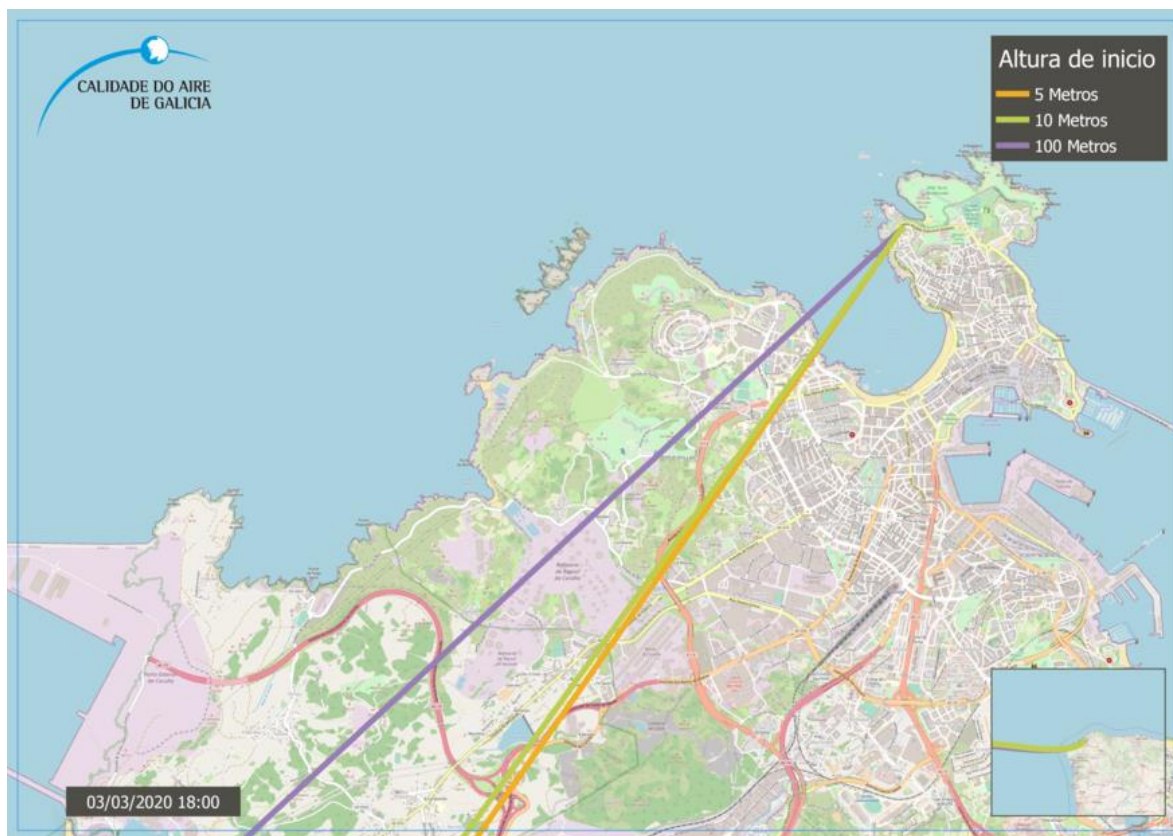
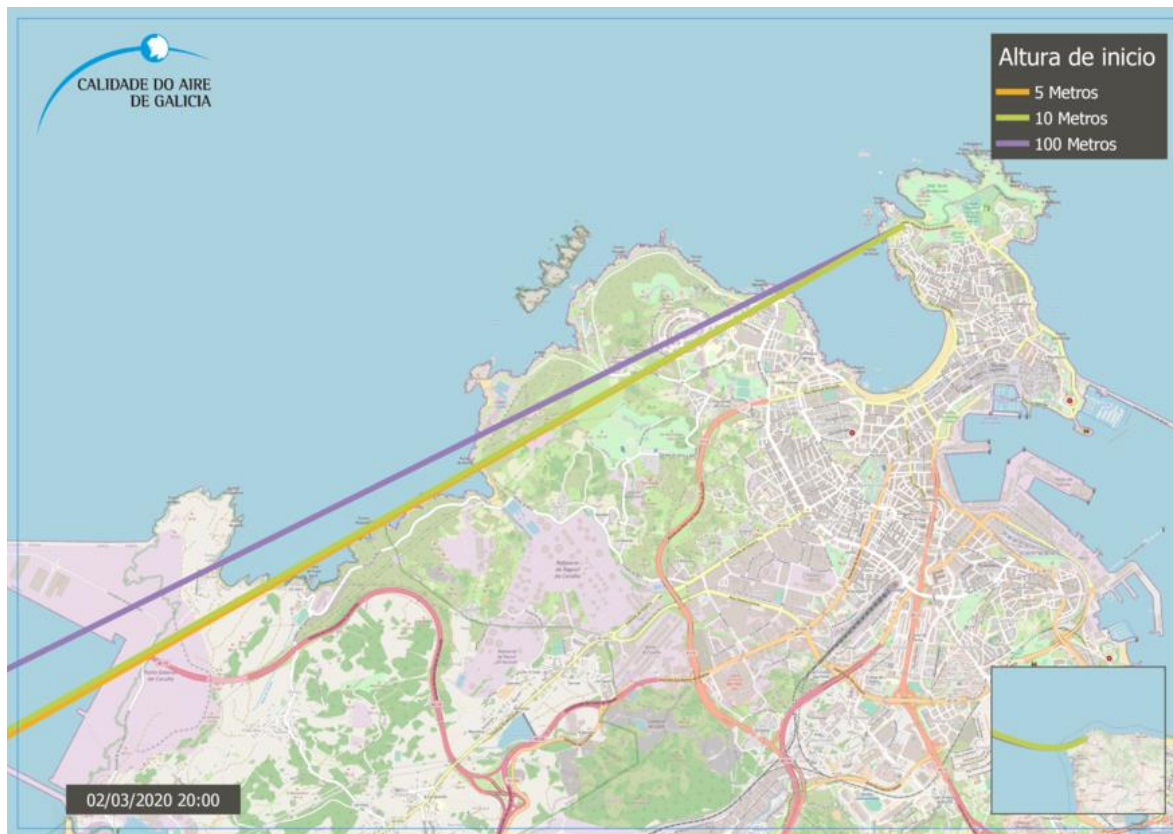


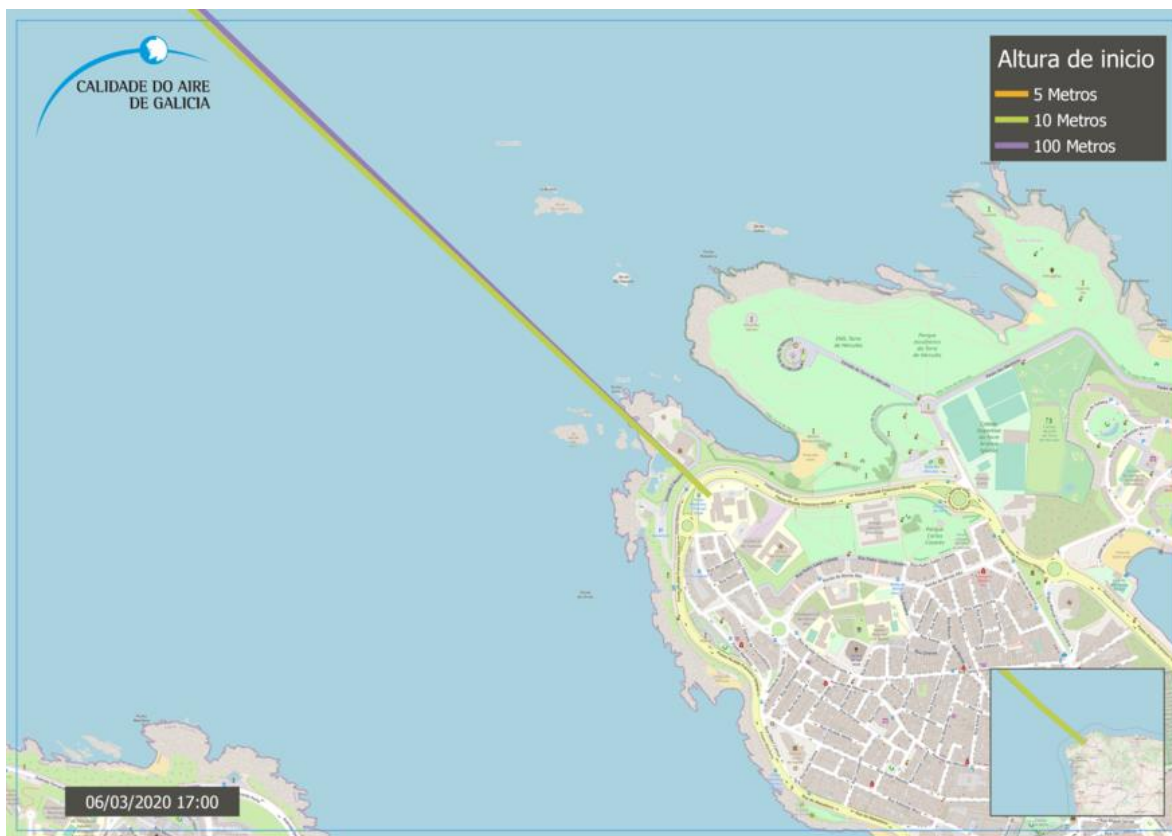
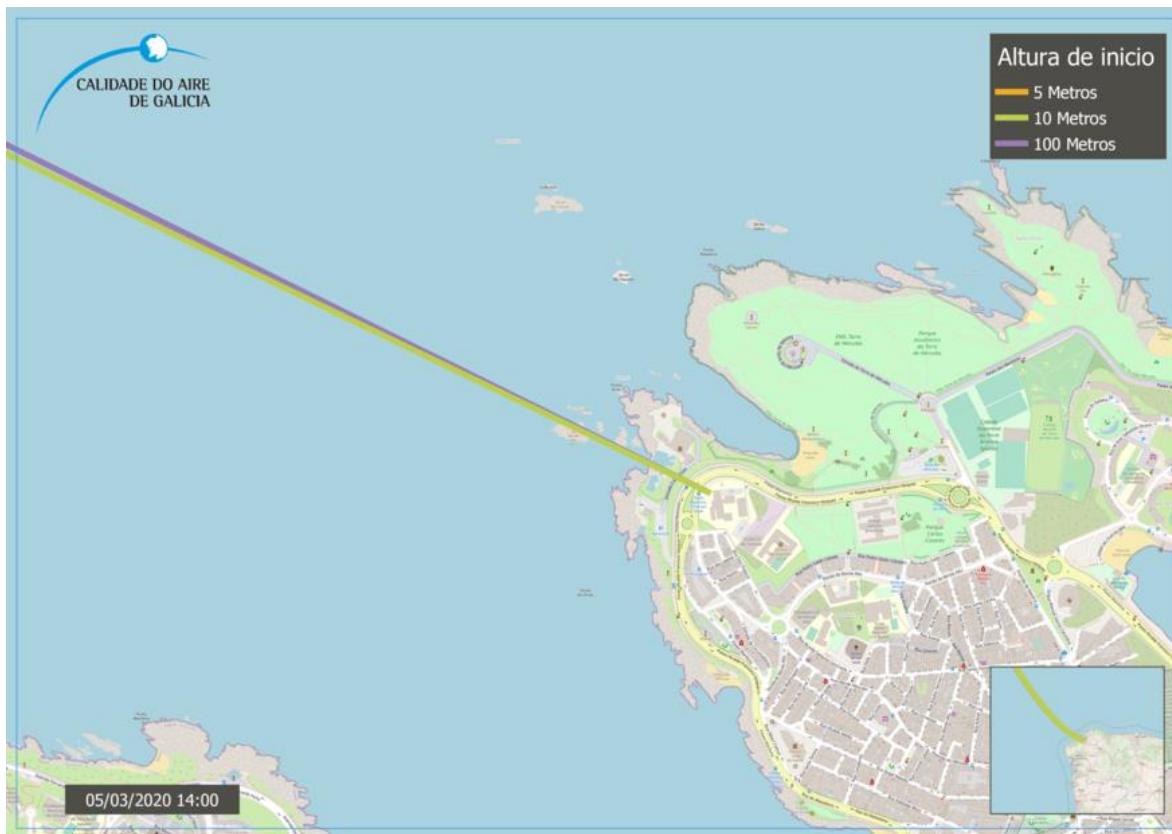




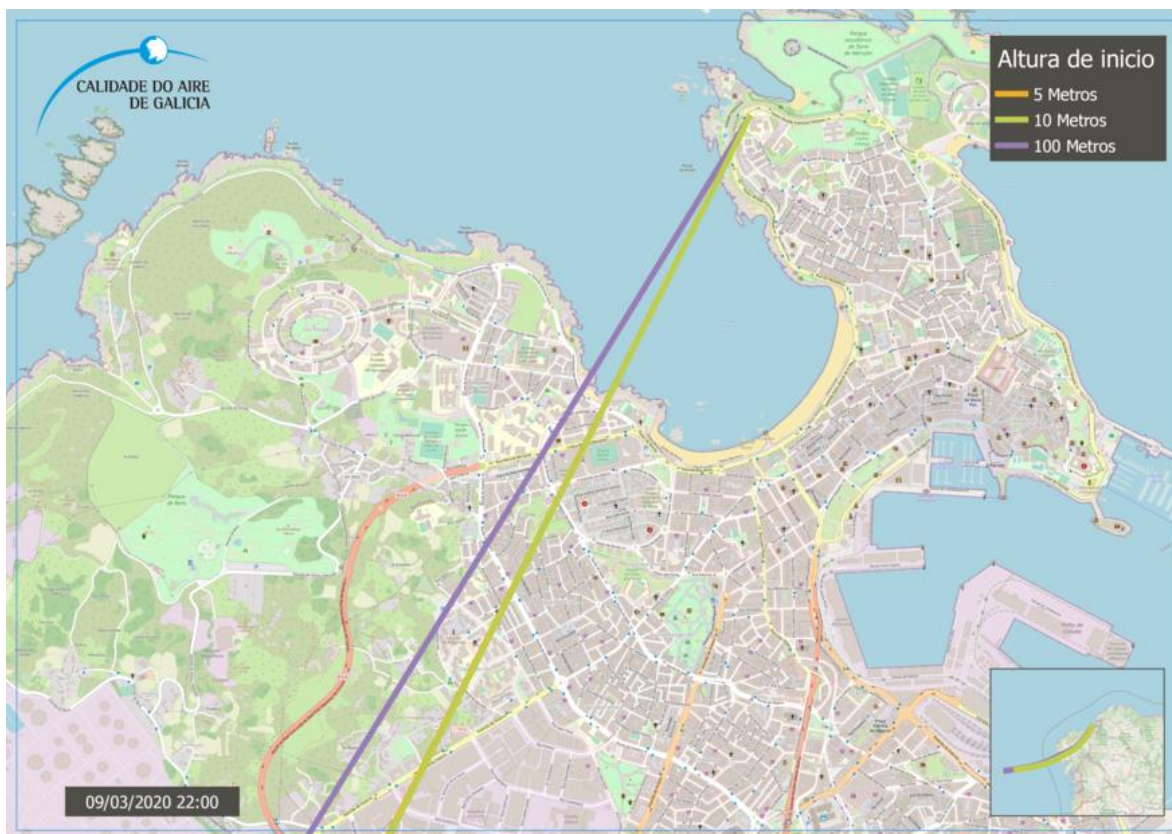


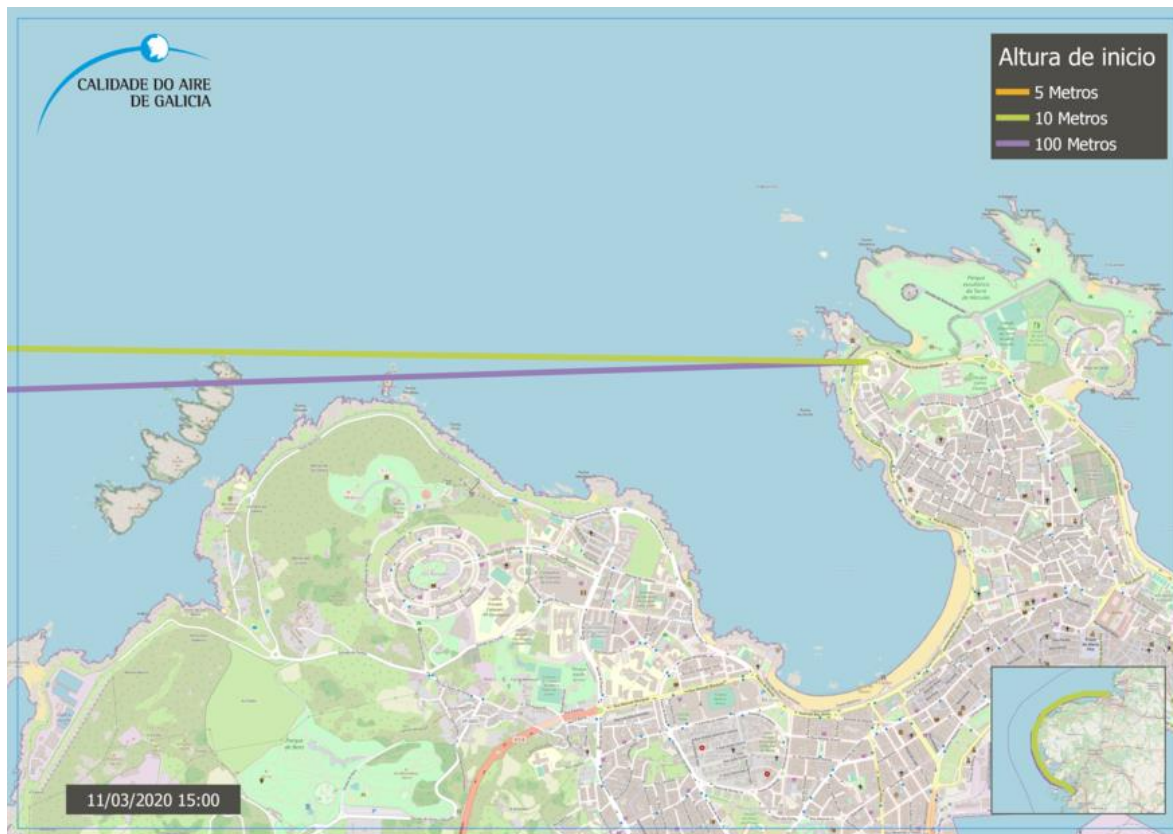


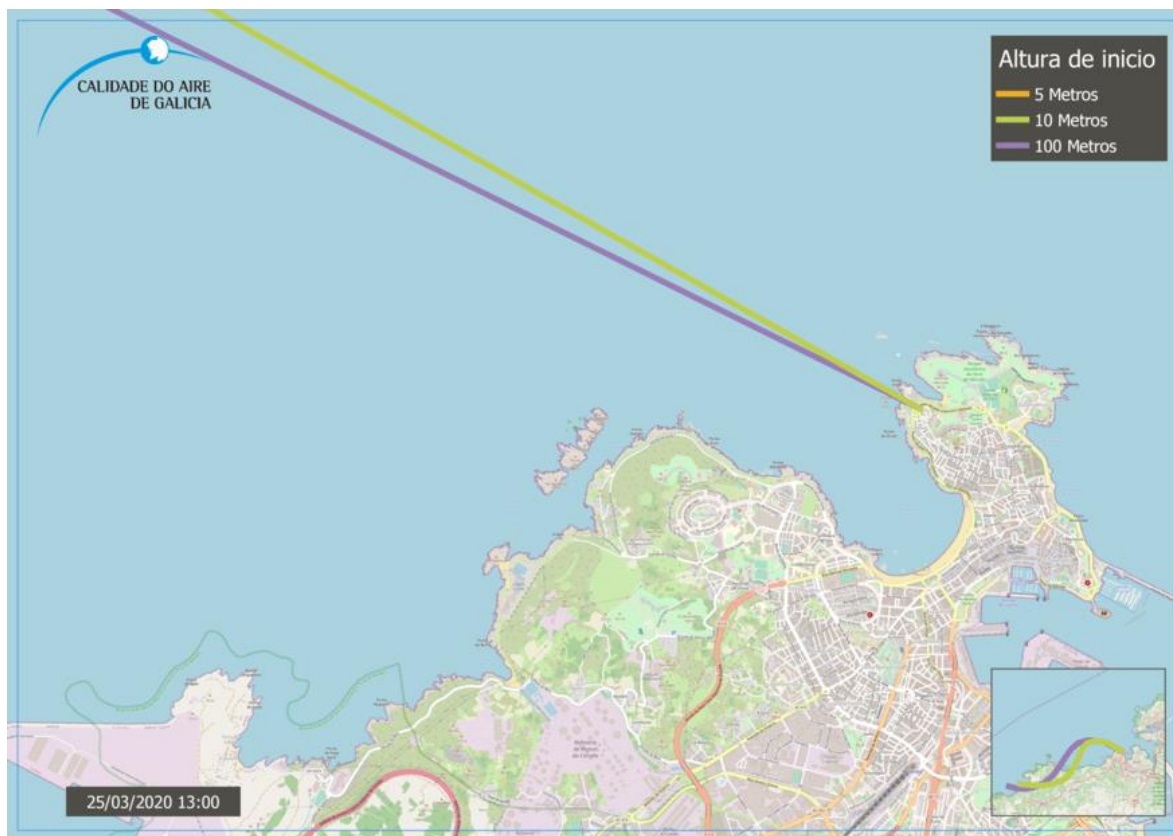
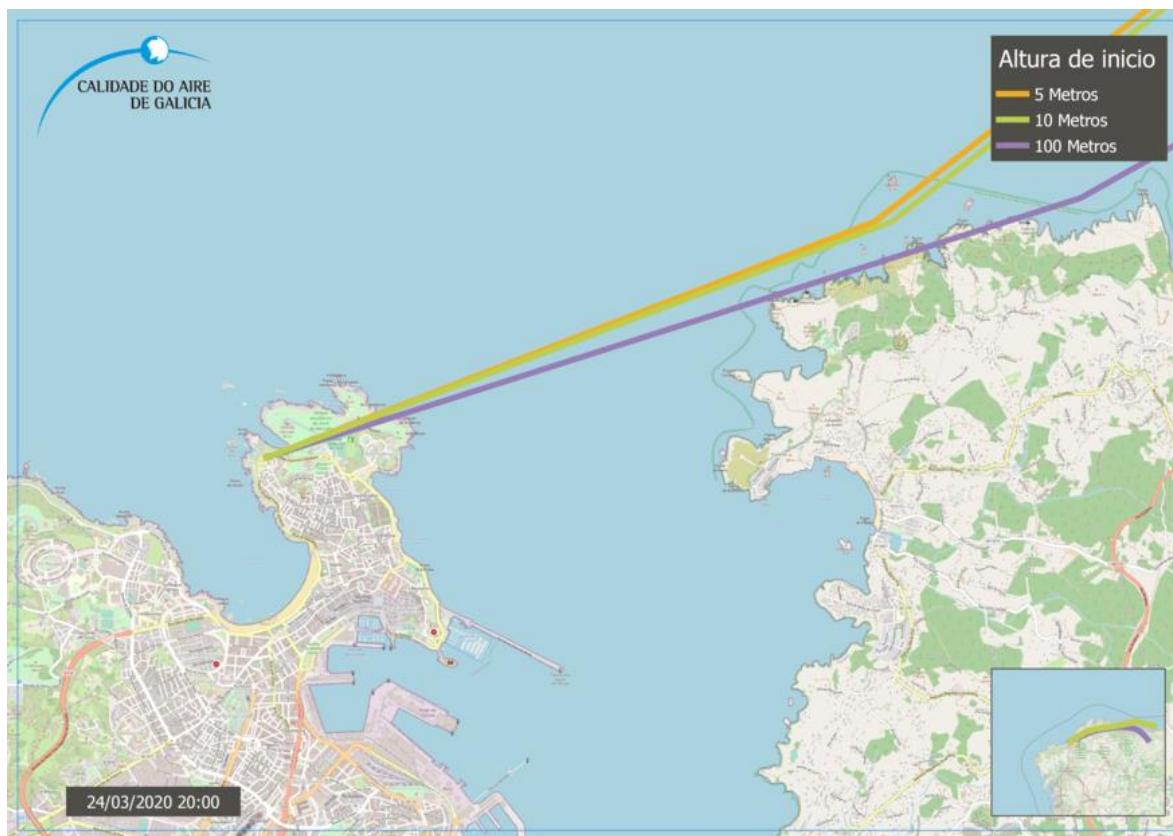


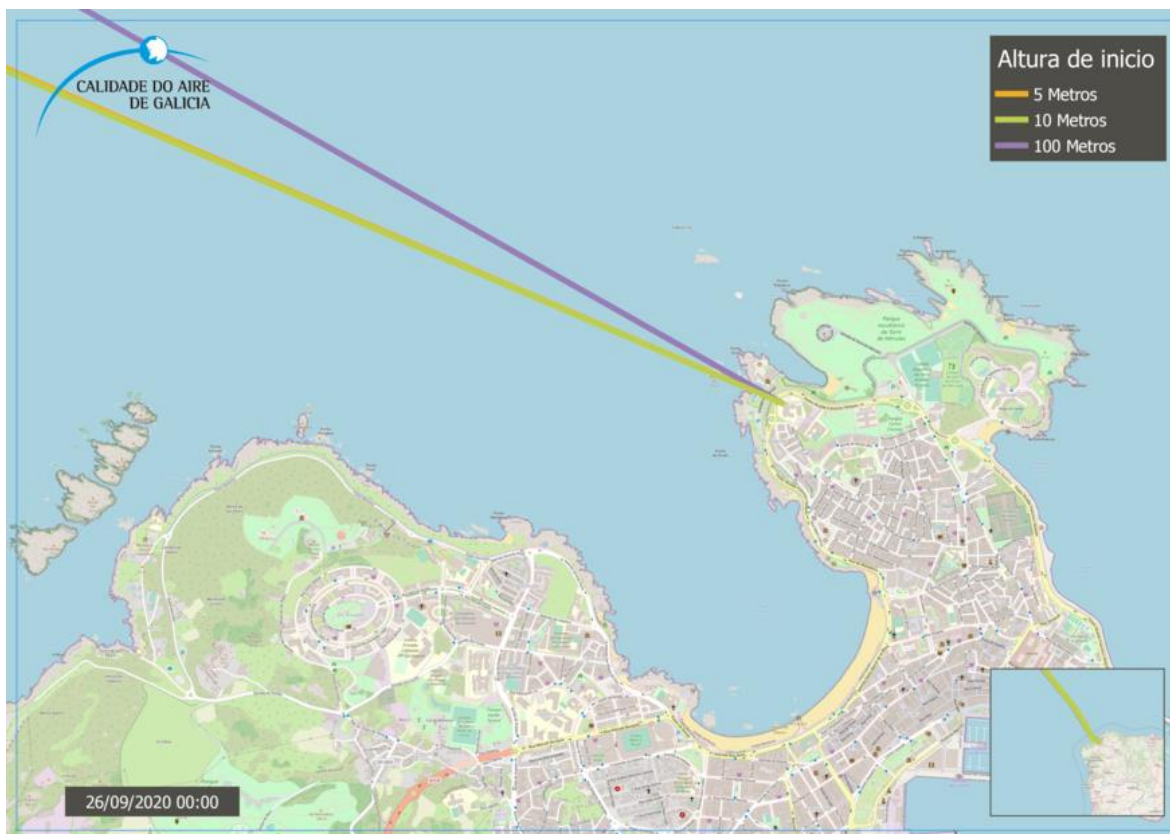




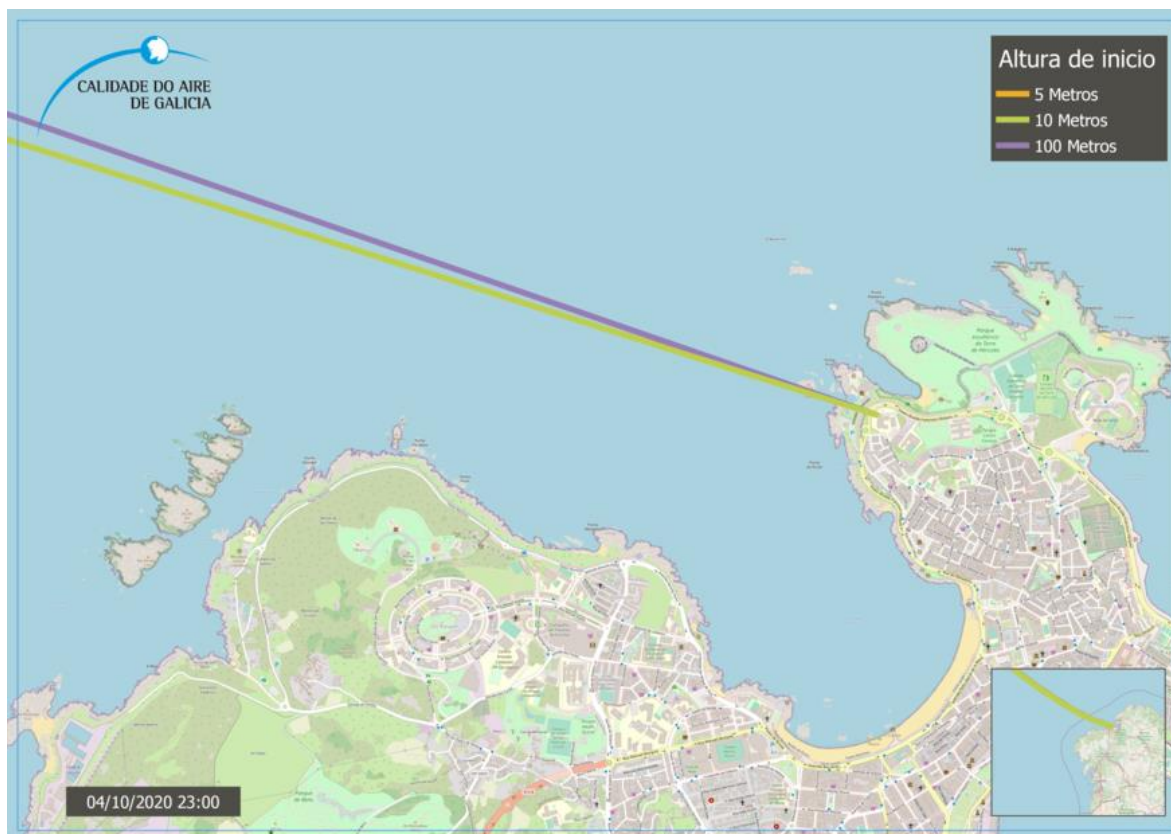


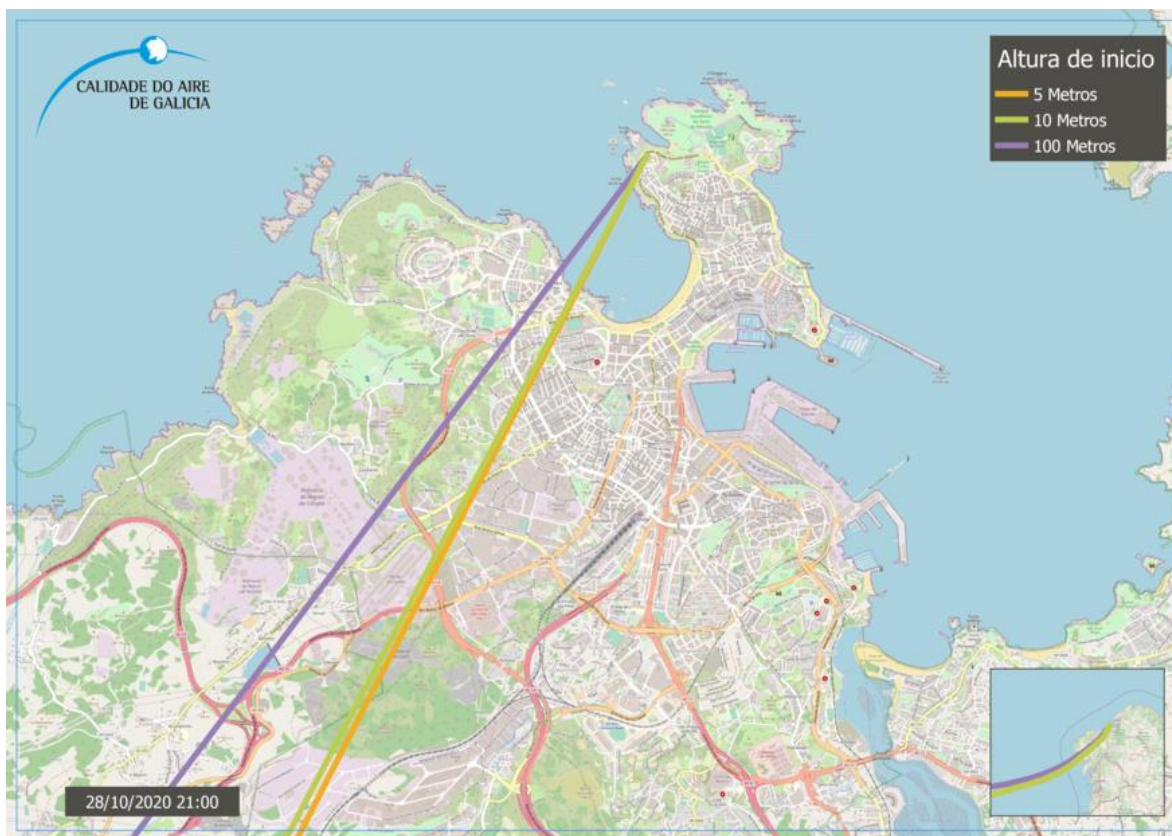
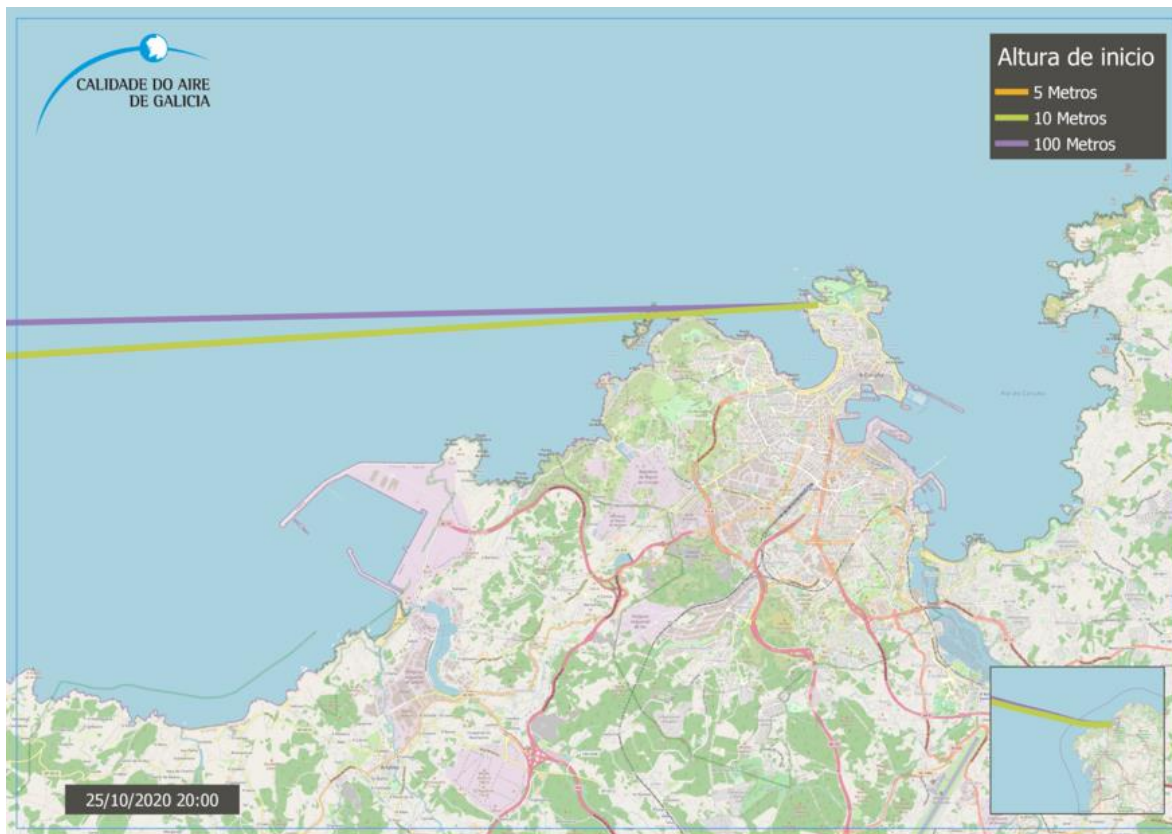


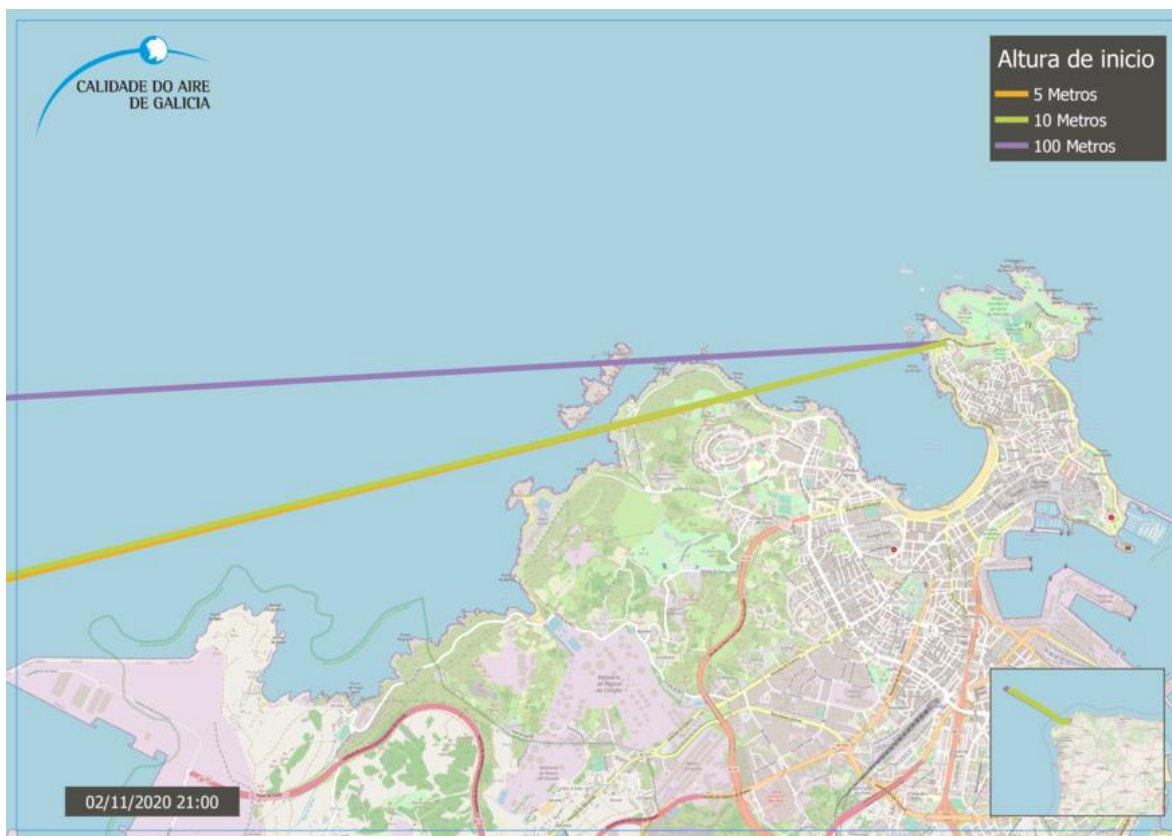




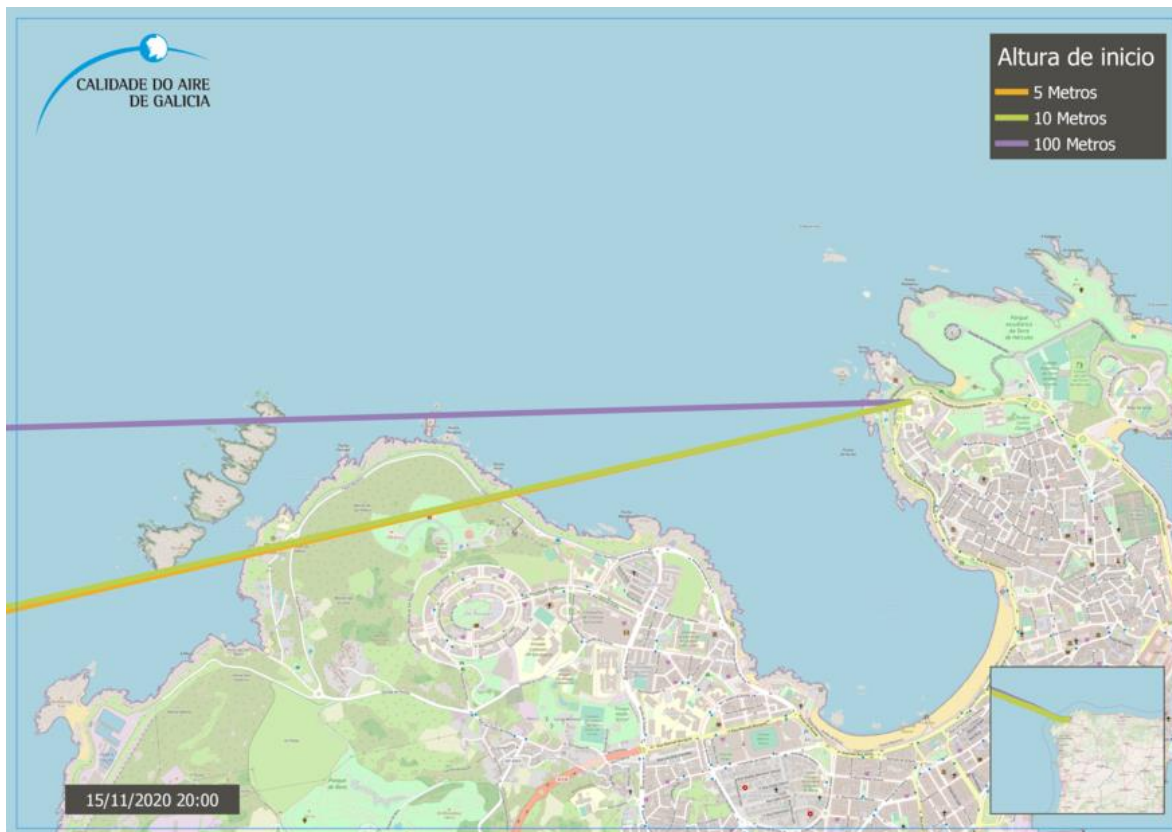


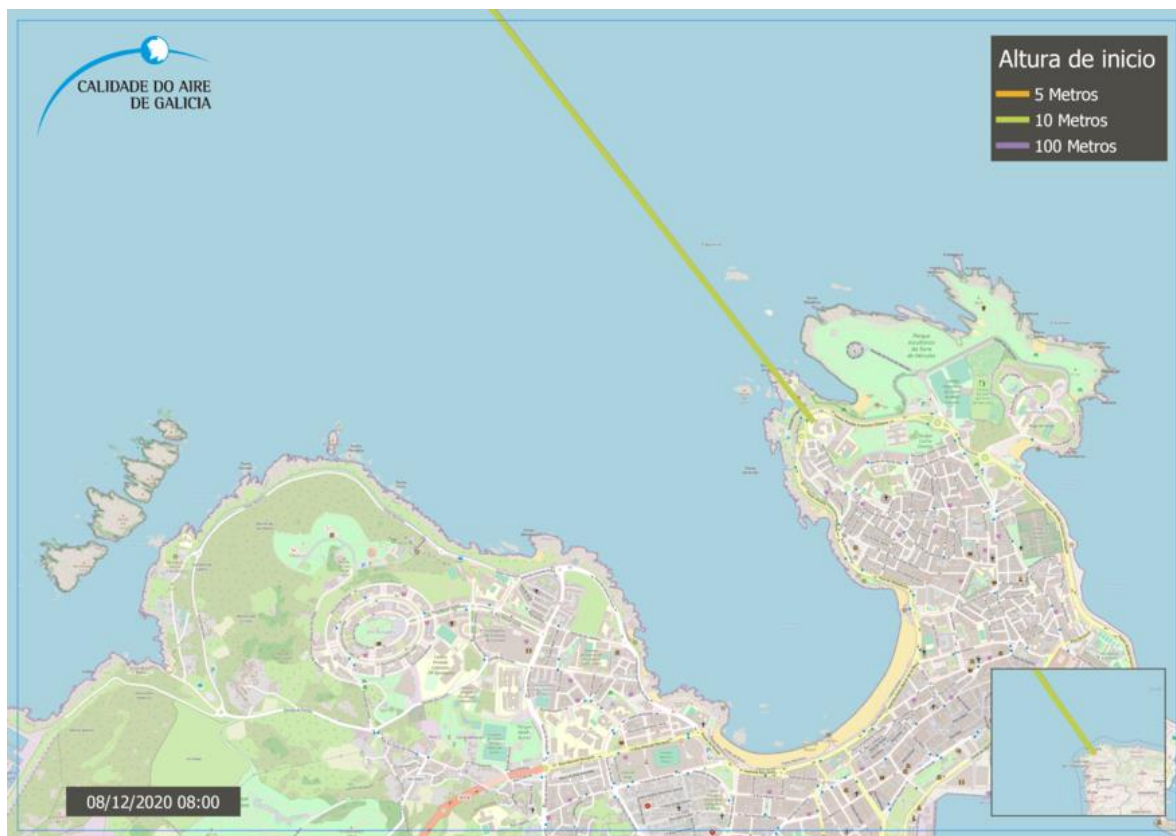
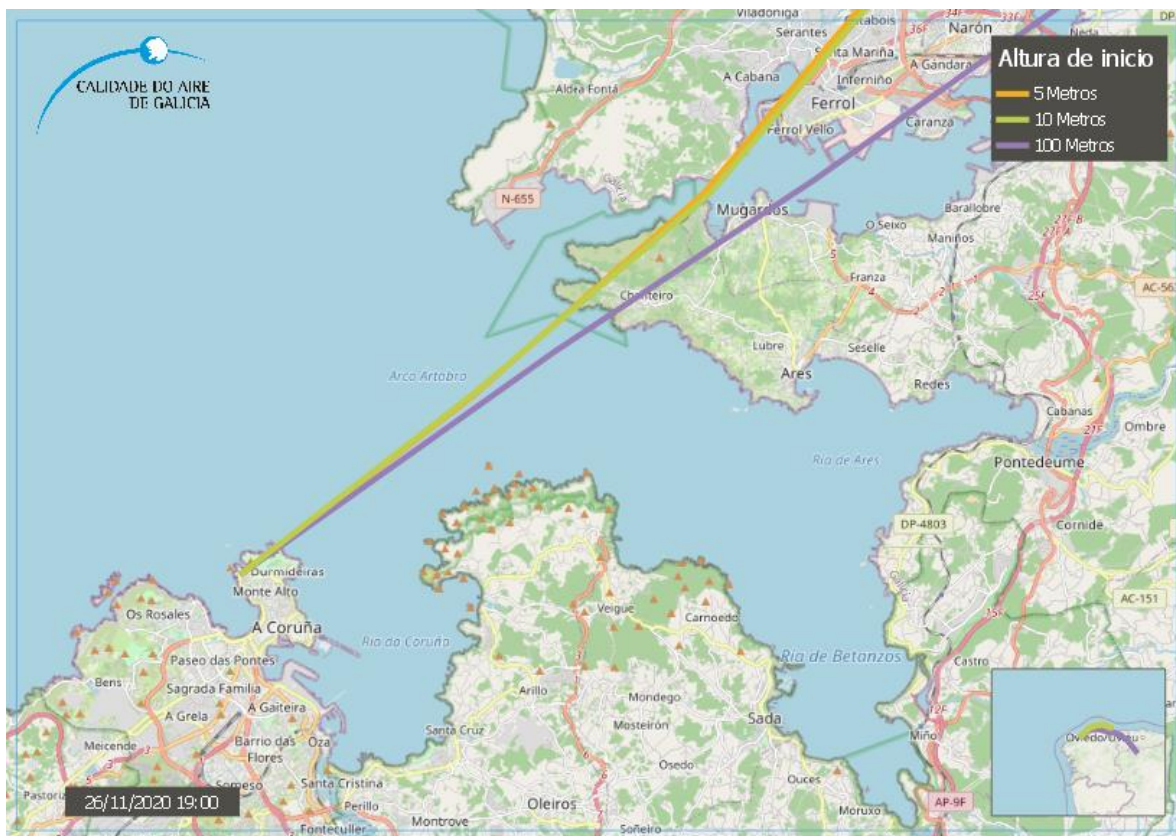


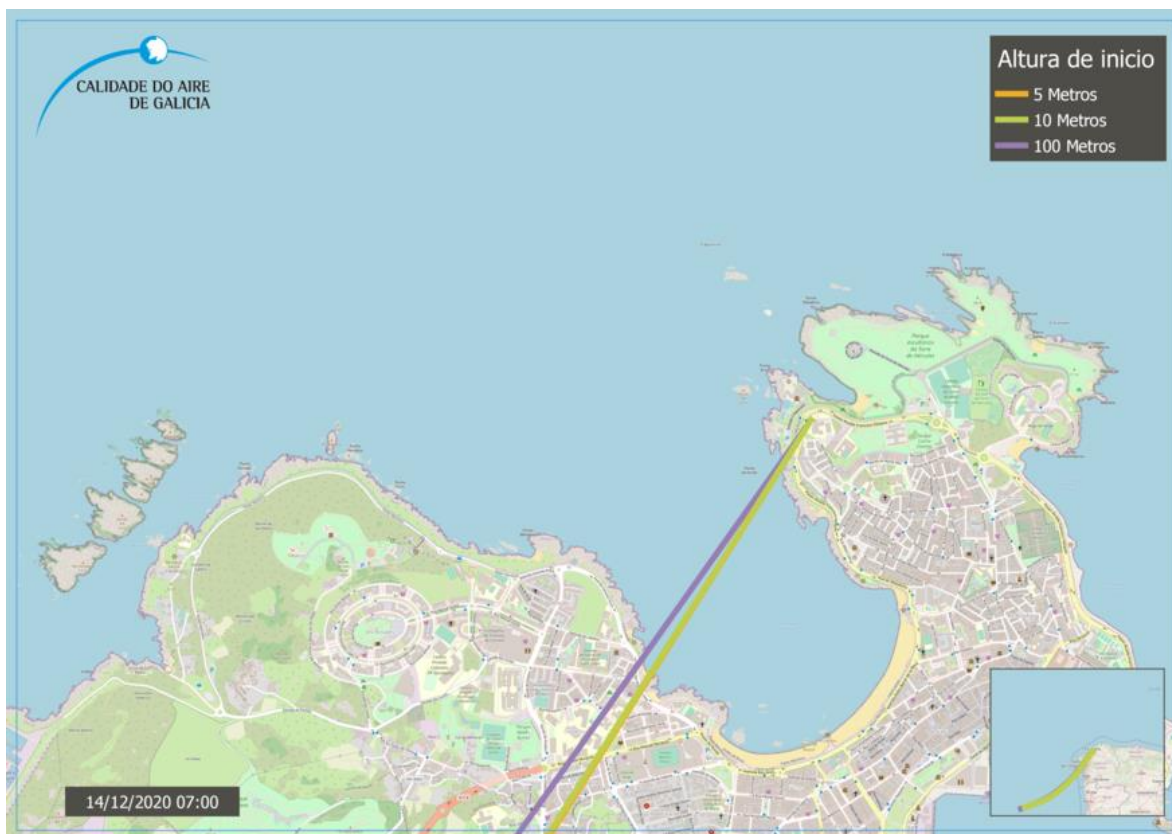
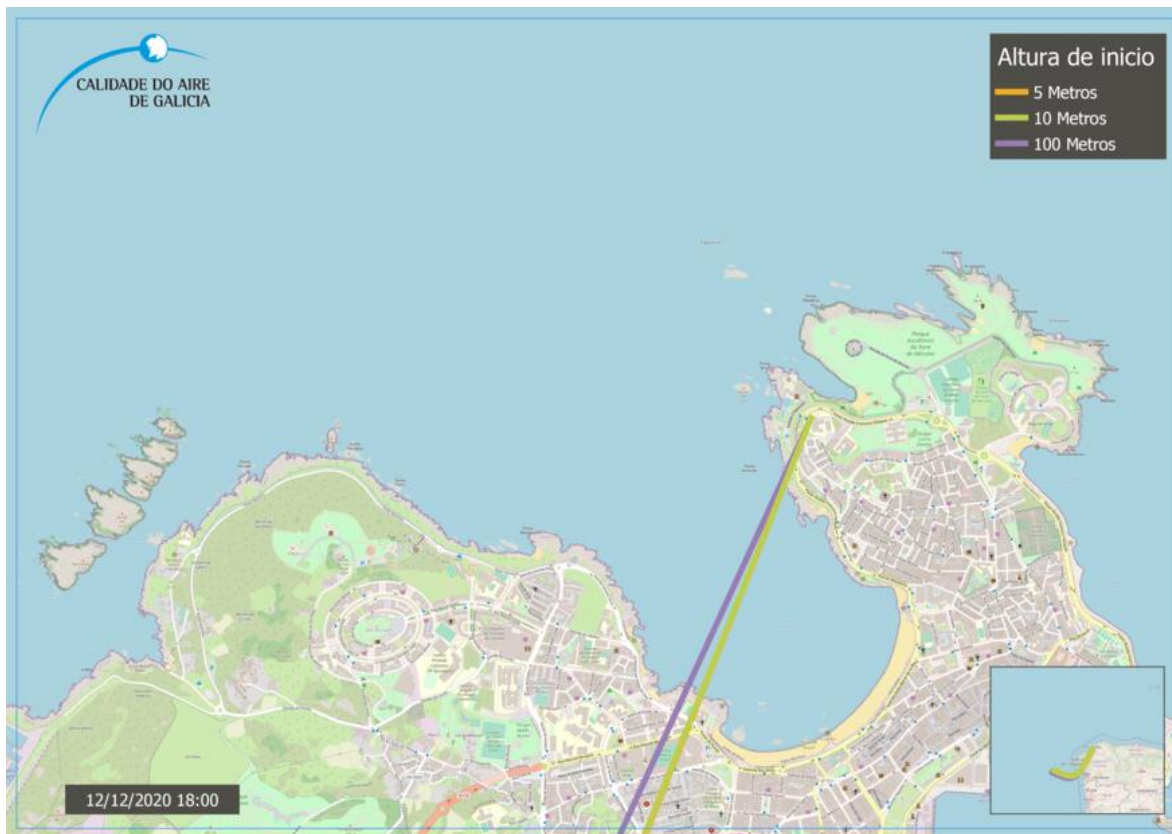


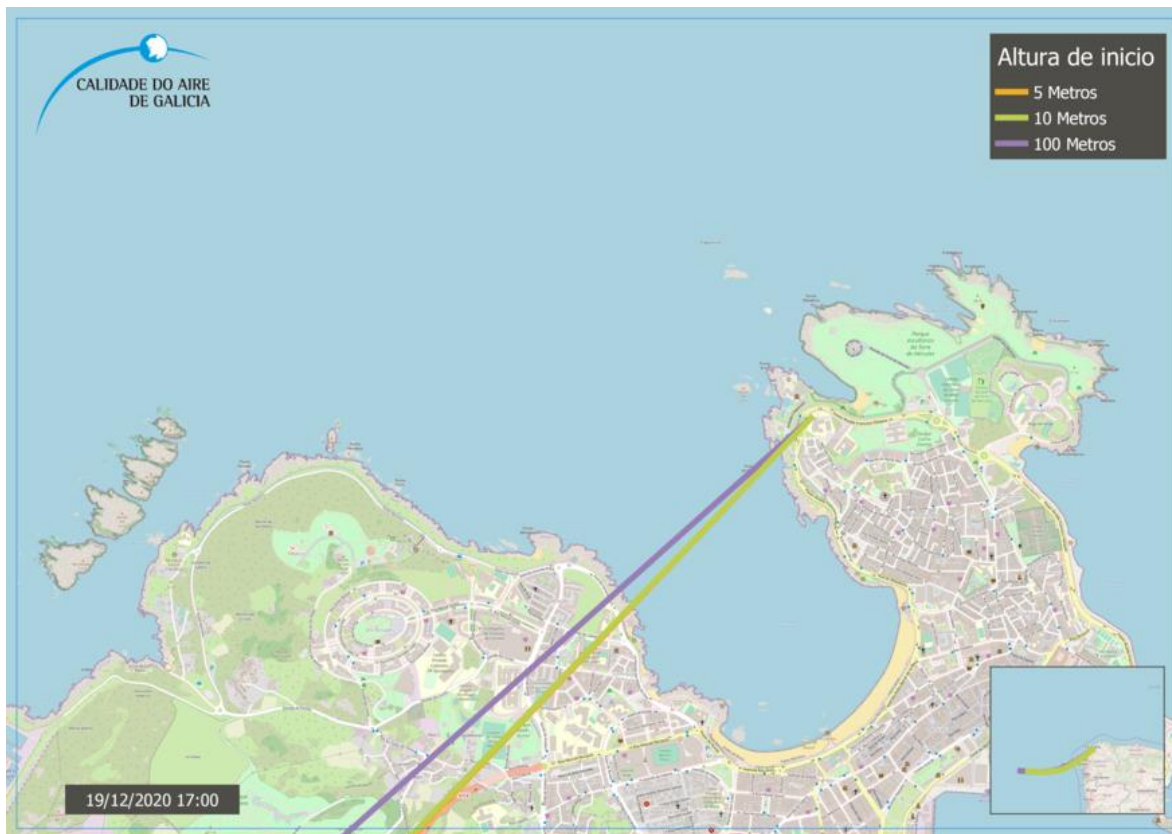


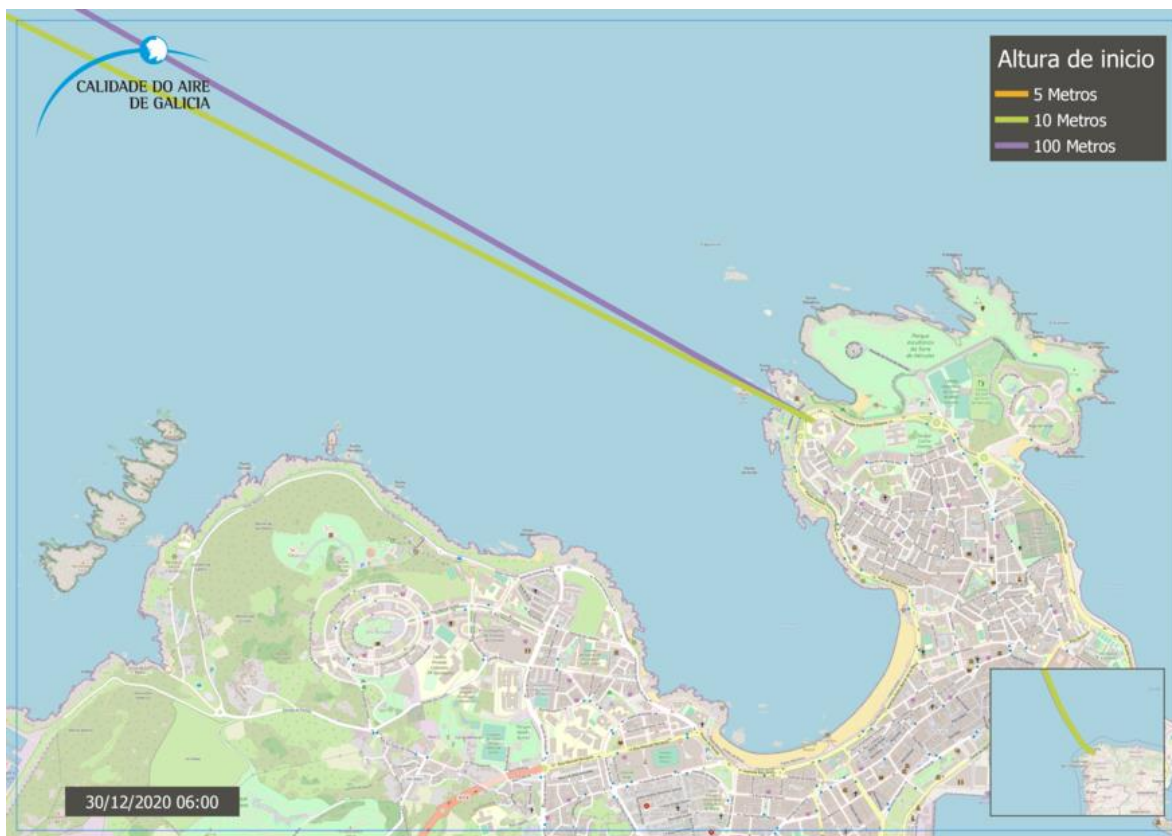
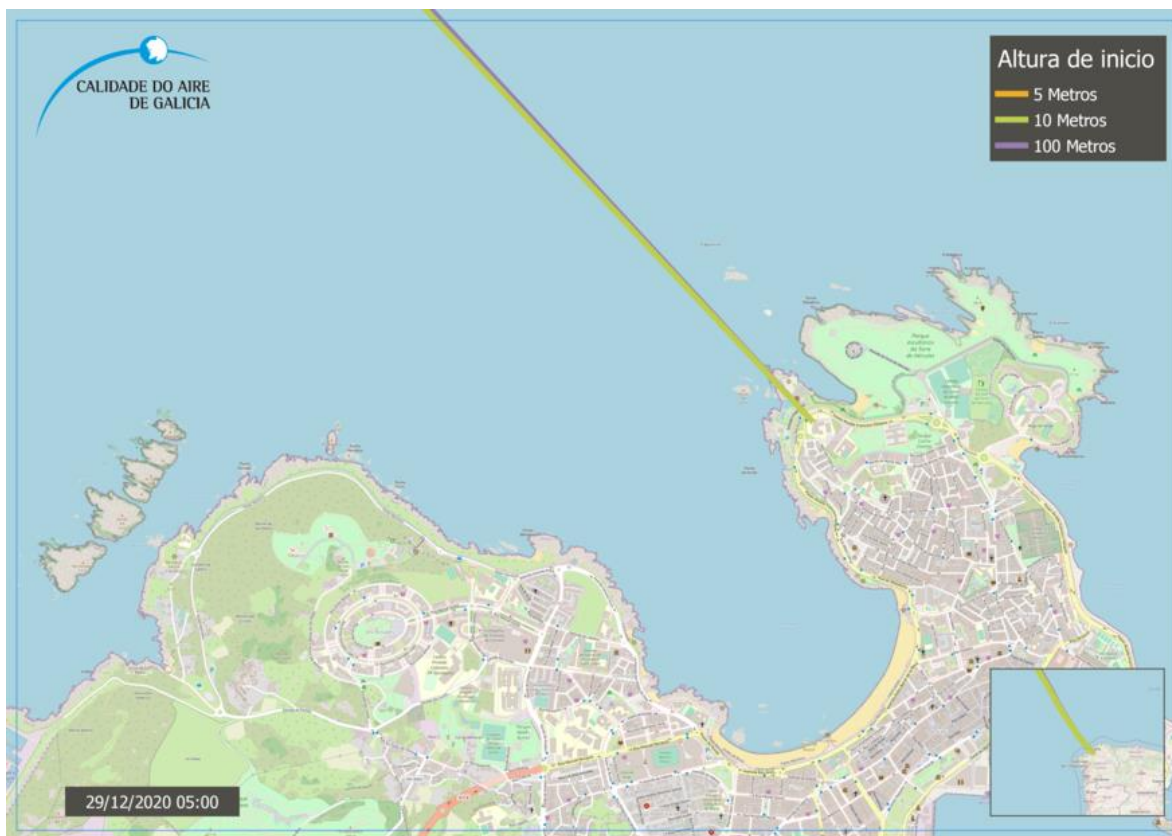














XUNTA  
DE GALICIA



CALIDADE DO AIRE  
DE GALICIA