



**Universitat**  
de les Illes Balears

**Grup de Treball Smart Destination**

Correo electrónico de contacto:

tomeu.alorda@uib.cat

Web: <http://smartcity.uib.cat>

**AUTORES:**

Dr. Victor Homar Santaner

Dr. Mauricio Ruiz Pérez

Dr. Bartomeu Alorda Ladaria



**INFORME TÉCNICO PARA LA IMPLANTACIÓN Y  
EXPLOTACIÓN DE LA RED DE SENSORES**

**SmartSensPORT-PALMA**

15/09/2016

El presente informe técnico se desarrolla a partir de las investigaciones y conocimientos aportados por los autores y pretende orientar tanto la implantación de las estaciones de medida como la gestión de los datos obtenidos a partir de los sensores. Se bautiza la red como SmartSensPORT-PALMA (en adelante SSP-P), pues con el nombre se recoge la función principal de la infraestructura (red inteligente de SENSores para el estudio de las variables observables mediante la tipología de sensores incluida en la red) y la localización de la misma (PORT de PALMA, haciendo referencia a la cobertura territorial que se pretende cubrir).

La naturaleza primera de la SsP-P es la de permitir la observación de variables de contaminación y niveles de ruido procedentes de las actividades del puerto de Palma, siendo la línea de actividad relacionada con la llegada y salida de cruceros, la principal actividad motivadora de dicha infraestructura. Existe una demanda social para conocer el impacto de dicha actividad más allá del puerto, siendo la contaminación y los niveles de ruido, las principales cuestiones a observar. Por tanto, la SsP-P nace con unos objetivos claros de aportar datos al debate social de la conveniencia de la actividad de cruceras para la ciudad de Palma. Aunque se propondrá un diseño que permita la integración futura en una estrategia de territorio inteligente que ha empezado a desarrollarse en el marco de la estrategia RLL2030 y que abrirá la oportunidad de mejorar tanto la calidad del servicio ofrecido como la colaboración futura que integre el puerto de Palma con la ciudad. En palabras del presidente de la Autoridad Portuaria de las Islas Baleares (APB): "... estar en sintonía con los criterios que entiendes las Islas Baleares como una Comunidad que pretende preservar su patrimonio simultáneamente con un desarrollo que haga posible el bienestar de sus residentes."

## Tabla resumen para la implantación de la red SsP-P

<b>Número de estaciones de medida</b>	<b>8</b>
<b>VARIABLES CONTAMINANTES A MEDIR (8 estaciones)</b>	SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , L <sub>d</sub> , L <sub>e</sub> , L <sub>n</sub>
<b>VARIABLES METEOROLÓGICAS A MEDIR (3 estaciones)</b>	Temperatura, Humedad, Presión, fuerza y dirección viento
<b>Conectividad entre estaciones</b>	Wifi
<b>Colector de datos</b>	GIS-UIB Server
<b>Error permitido recepción de datos</b>	2%
<b>Medición de alta frecuencia</b>	~ 5 seg
<b>Envío de datos promedio, max, min</b>	~5-10 min
<b>Funcionamiento</b>	24h x 7días/sem

## 1. Introducción

El puerto de Palma (en adelante pdP) se encuentra en la fachada marítima de la ciudad de Palma y realiza la intensa actividad marítima entre la punta de Sant Carles i el principio del Parque del Mar. La zona navegable del puerto ocupa 237,65 Ha y, según la memoria anual de 2015 llegaron al pdP un total de 1.703.219 pasajeros, 568 cruceros. Situándose la punta máxima de dichas estadísticas entre los meses de mayo y septiembre.

En este contexto, la actividad de cruceros ha sido señalada con visión crítica por la opinión pública como una de las actividades más perjudiciales para la ciudad, llegándose a cuestionar los supuestos beneficios que reporta para la ciudad. Entre los puntos en cuestión destacan los impactos de contaminación y ruido que suponen. Así pues, este tipo de embarcaciones requiere mantener los motores en activo mientras se encuentra atracado, para poder mantener los diversos servicios de la embarcación entre los que destaca el sistema eléctrico y de climatización.

Debe destacarse que la zona portuaria está inmersa en la vía “passeig marítim” donde el tráfico rodado, como las actividades portuarias generan emisiones de gases y partículas a la atmósfera que contribuyen a degradar la calidad del aire del propio recinto portuario, de las zonas de la ciudad limítrofes y, teniendo en cuenta la acción de dispersión del viento, se debería considerar las zonas de expansión más probables.

En un intento de aportar información clara al debate evaluando los niveles de contaminación y ruido que se pudieran producir, la Autoridad portuaria de las Islas Baleares encarga este informe técnico al equipo multidisciplinar de la Universitat de les Illes Balears. Así, se propone la instalación de una red de sensores SSP-P capaz de ofrecer lecturas en continuo que ayude al análisis de conclusiones y a la toma de decisiones, para la reducción del impacto sobre los niveles de contaminación y ruido que experimenta la zona portuaria del pdP.

Las condiciones meteorológicas son un factor importante a la hora de determinar las zonas de dispersión de contaminantes y partículas en suspensión a través de la atmósfera y su impacto en la medida de calidad del aire. En este sentido, la propuesta de red SsP-P se desplegará con un especial cuidado en la monitorización de las variables meteorológicas además de la medida de los niveles de concentraciones de contaminantes presentes en el aire. La consideración de estos niveles permitirán poner en marcha acciones encaminadas a conseguir reducir las emisiones a la atmósfera de las actividades portuarias en especial atención a las actividades de cruceros.

Desde el punto de vista de tecnologías, infraestructuras y recursos tecnológicos, se aprecia una elevada disociación entre todas las actuaciones que se realizan en un mismo territorio para la mejora de la calidad de los servicios orientados al turismo. En este sentido, el sector público, privado e incluso dentro de cada sector se llegan a producir actividades o actuaciones de forma descoordinada. Así, la multiplicidad de competencias de cada una de las organizaciones que tanto en el ámbito privado y como en el público intentan dar

cobertura a determinados servicios puede llegar a crear tanto vacíos de servicio, como duplicidades de los mismos en un mismo espacio y tiempo.

En este sentido, el presente informe técnico propone una infraestructura que se integre con la actual red de estaciones atmosféricas y medida de la calidad del aire pertenecientes a diversas entidades: AEMET, Conselleria de MediAmbient y Ayuntamiento de Palma. Además, los registros serán ofrecidos en abierto usando las últimas metodologías OpenData y integrándose con la estrategia de mejorar la transparencia sobre las actividades que se realizan en los puertos de las Islas Baleares, que está siguiendo la Autoridad Portuaria de las Islas Baleares en su portal web.

### 1.1. Objetivos de REDsensPORTPALMA

Este informe técnico describe las características de la REDsensPORTPALMA y los objetivos que pretende acometer. Estos objetivos se puede agrupar bajo dos apartados: medición de niveles de contaminación, variables meteorológicas y ruido, y plataforma para la toma de decisiones.

Los objetivos del apartado de medición de niveles conforman las características finales de la red:

- Mediciones de niveles de contaminación y partículas.
- Mediciones de niveles de niveles de ruido.
- Mediciones de variables atmosféricas.

Los objetivos del apartado de plataforma para la toma de decisiones describen las directrices del servidor de datos y el panel de visualización:

- Plataforma gestión de datos organizada en el laboratorio de información geográfica i teledetección de la Universidad de las Islas Baleares.
- Panel de toma de decisiones para la visualización de los datos recopilados de las red en tiempo real y poder generar informes mensuales siguiendo los criterios de trabajo indicados en el contrato firmado entre la Universidad de las Islas Baleares y la Autoridad Portuaria de las Islas Baleares.

## 1.2. La normativa aplicable a REDsensPORTPALMA

La contaminación de nuestros días es uno de los problemas medioambientales más serios de la humanidad, siendo la **contaminación atmosférica** la que produce conjuntamente impacto tanto sobre la salud de las personas como de los ecosistemas. Los estudios de la Organización Mundial de la Salud inciden en estos problemas derivados de la contaminación y muestran una clara afección a la salud humana sobretodo en casos de niveles elevados. En este sentido, tanto Europa como España tienen legislaciones específicas para regular los valores límites de los diferentes contaminantes atmosféricos, tanto para reducirlos como para imponer niveles máximos de exposición.

De la Unión Europea se aprueba la Directiva 2008/50/CE relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia. Esta directiva regula tanto los niveles máximos permitidos de exposición como la metodología de medición para garantizar la evaluación de la calidad del aire. Esta directiva viene a substituir las siguientes directivas que fueron incorporadas en el ordenamiento jurídico español:

- Directiva Marco 96/62/CE, de 27 de septiembre de 1996, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente, la cual fija criterios para uso y exactitud en las técnicas de evaluación.
- Decisión 97/101/CE, de 27 de enero de 1997, por la que se establece un intercambio recíproco de información y datos de las redes y estaciones aisladas de medición de la contaminación atmosférica en los Estados miembros.
- Decisión 2001/752/CE que amplía y desarrolla el articulado europeo con la aprobación de cuatro Directivas:
  - Directiva 1999/30/CE, de 22 de abril de 1999, relativa a los valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente.
  - Directiva 2000/69/CE, de 16 de noviembre de 2000, sobre los valores límite para el benceno y el monóxido de carbono en el aire ambiente.
  - Directiva 2002/3/CE, de 12 de febrero de 2002, relativa al ozono en el aire ambiente.
  - Directiva 2004/107/CE, de 15 de diciembre de 2004, relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente.

La Directiva 2008/50/CE introduce regulaciones para nuevos contaminantes, como las partículas de tamaño inferior a 2,5 micrómetros, y nuevos requisitos en cuanto a la evaluación y la gestión de la calidad del aire ambiente.

En la normativa Española encontramos el Plan Nacional de Calidad del Aire y protección de la Atmósfera 2013-2016 en el cual se especifica las competencias sobre medición de la calidad del aire: el Estado realiza la evaluación sobre la contaminación de fondo, mientras que las diferentes comunidades autónomas la medición y gestión de las emisiones a la atmósfera. Siendo coherente con las directivas europeas, la Ley 34/2007 persigue alcanzar un nivel de protección elevado para las personas y el medio ambiente frente a la contaminación atmosférica, basándose en principios de vigilancia continuada, de acción preventiva frente a desviaciones, y de corrección en la fuente misma de generación.

Esta ley española se desarrolla mediante tres Real Decreto:

- Real Decreto 100/2011, de 28 de enero de 2011, por el que se actualiza el catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera. En este catálogo se citan los puertos y centros de logística de materiales contaminantes.
- Real Decreto 101/2011, de 28 de enero de 2011, por el que se establecen las normas básicas que han de regir los sistemas de medición y verificación de las emisiones de gases de efecto invernadero y los datos toneladas-kilómetro de instalaciones fijas. Estas normas se aplican específicamente a actividades de aviación.
- Real Decreto 102/2011, de 28 de enero de 2011, relativo a la mejora de la calidad del aire y que establece objetivos de calidad del aire con respecto a las concentraciones de las sustancias siguientes: Dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxido de nitrógeno, partículas, plomo, benceno, monóxido de carbono, ozono, arsénico, cadmio, níquel, benzopireno, hidrocarburos aromáticos policíclicos, mercurio, y amoníaco.

Debe conocerse de la normativa aplicable que las partículas presentes en el aire se clasifican de acuerdo a su diámetro en dos grandes grupos:

- Partículas que no acceden al aparato respiratorio, quedando atrapado en nuestras fosas nasales, al presentar un diámetro mayor a 10 micrómetros.
- Partículas que sí acceden al aparato respiratorio de diámetro menor a 10 micrómetros ( $PM_{10}$ ). Este conjunto de partículas en los últimos años se ha venido dividiendo en mayores y menores de 2,5 micrómetros ( $PM_{2,5}$ ), dado que las de diámetro inferior a ese valor pueden llegar incluso a las vías aéreas más finas, mientras que las superiores a 2,5 micrómetros van quedando atrapadas en la mucosa que recubre las vías respiratorias superiores.

Por otro lado, aunque existe normativa autonómica al respecto (Decreto 13/2011 de 18 de Junio, Decreto 104/2010 de 10 de septiembre, Decreto 140/2007 de 23 de noviembre, Decreto 60/2005 de 27 de mayo y, Ley 16/2000 de 27 de diciembre) esta se centra en la

organización de las competencias de las distintas instituciones públicas, los comités técnicos de evaluación y la frecuencia de medición de las empresas con actividades potencialmente contaminantes de la atmósfera. No siendo de relevancia para el presente informe.

Los organismos de observación de la calidad del aire en las Islas Baleares publican anualmente un informe de calidad del aire principalmente centrado en 7 variables de contaminación que deberán observarse si se pretende poder comparar los valores de estaciones próximas al Puerto de Palma y los valores obtenidos a partir de los sensores de red SsP-P. Estas variables y una descripción de ellos se recoge en la Tabla 1 siendo la fuente la sección de la atmósfera de la Conselleria de Medio Ambiente.

Tabla I. Principales variables utilizadas en los informes de calidad del aire del Govern de les Illes Balears. Fuente: [www.caib.es](http://www.caib.es)

Contaminante	Descripción	Origen	Efectos	Límites
<b>PM<sub>10</sub></b>	Partículas con diámetro menor a 10 µm	motores de combustión, centrales térmicas, sólidos suspendidos, intrusiones saharianas	Problemas respiratorios, erosión de edificios	Valor medio diario: <b>50 µg/m<sup>3</sup></b> Valor medio anual: <b>40 µg/m<sup>3</sup></b>
<b>SO<sub>2</sub></b>	Gas incoloro y no inflamable. Olor fuerte e irritante en elevadas concentraciones	Combustión de carbón, fuel-oil y gas-oil. Erupciones volcánicas	Lluvia ácida, enfermedades respiratorias, corrosión de materiales	Valor medio diario: <b>125 µg/m<sup>3</sup></b>
<b>NO</b>	Gas tóxico e incoloro que reacciona con el ozono produciendo NO <sub>2</sub>	Motores de combustión, industria química y incendios forestales	Lluvia ácida, tóxicos para la salud y los seres vivos	Valores regulados por concentración NO <sub>2</sub>
<b>NO<sub>2</sub></b>	Gas tóxico de color marrón	Motores de combustión, industria química y incendios forestales	Lluvia ácida, tóxicos para la salud y los seres vivos	Valor medio horario: <b>200 µg/m<sup>3</sup></b> Valor medio anual: <b>40 µg/m<sup>3</sup></b>
<b>CO</b>	Gas inodoro e incoloro. Tóxico en altas concentraciones y exposiciones cortas en el tiempo	Procesos de combustión deficitarios de oxígeno. Indicador de contaminación por motores de combustión	Tóxico en concentraciones elevadas	Valor máximo octohorario diario: <b>10 mg/m<sup>3</sup></b>
<b>O<sub>3</sub></b>	Gas incoloro, de olor agradable. Muy oxidante e irritante	Contaminante secundario, se forma en presencia de óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y compuestos orgánicos aromáticos	Muy oxidante, afecta a materiales, plantas y a todos los seres vivos	Límite medio horario <b>180 µg/m<sup>3</sup></b>
<b>Benceno</b>	Producto volátil y de olor desagradable, disolventes orgánicos	Motores combustión, industria química, gasolineras	Cancerígenos según concentraciones	Valor medio anual: <b>5 µg/m<sup>3</sup></b>



Así pues, la red SsP-P deberá diseñarse y proponerse para cumplir la normativa vigente de aplicable, tanto para la generación de avisos de umbrales excedidos, como para la metodología de medición de dichas variables. En este sentido, el equipo de autores del presente informe aconseja ceñirse las variables de contaminación imprescindibles y estrechamente ligadas a la actividad de cruceros pues este es la motivación de la red de medida. En el apartado 3, el equipo de autores recoge los contaminantes y variables imprescindibles.

La **contaminación acústica** es otra forma de contaminación que ha adquirido importancia en zonas densamente pobladas por su impacto sobre la salud y el bienestar de las personas. La normativa española vigente deriva de la normativa Europea referente a la contaminación acústica y su gestión mediante la Directiva 2002/49/CE. De la cual se deriva la metodología de evaluación y los valores máximos teniendo en cuenta el impacto sobre la salud de las personas y la mejora de la convivencia entre las actividades generadoras de ruido y los receptores.

En este sentido, la normativa española respecto a la contaminación acústica se articula a partir de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre de 2003 que deriva directamente de la directiva europea y se detalla en los Real Decreto siguientes:

- Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre de 2005, desarrolla la metodología de evaluación y la gestión del ruido ambiental que se debe realizar.
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre de 2007, define una zonificación acústica, los objetivos de calidad y las emisiones acústicas dentro de dicha zonificación. Entre las definiciones se destaca la zona portuaria y las actividades que se desarrollan.
- Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre de 2007, que aprueba la inclusión en el código técnico de la edificación de la protección frente al ruido.
- Real Decreto 1038/2012, de 6 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas Legislación Autonómica
- Real Decreto 1038/2012, de 6 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

Existe también una legislación a nivel autonómico que recoge en la Ley 1/2007, de 16 de marzo, contra la contaminación acústica de las Illes Balears y que establece los objetivos particulares de las Islas Baleares.

Así mismo, la ciudad de Palma dispone de un ordenamiento específico recogido en la ordenanza municipal reguladora del ruido y las vibraciones, publicada en BOIB núm. 4 de 09.01.2014 que deberá observarse para definir los objetivos máximos de contaminación

acústica del pdP. En este sentido el pdP es contemplado en la memoria de contaminación acústica de la ciudad de Palma de 2015 como fuente generadora de ruido para la ciudad.

Debe tenerse en cuenta que ya en la memoria del mapa estratégico de Ruido de 2015 de la ciudad de Palma se indica que la ciudad no dispone de manera específica, de una delimitación de áreas de sensibilidad acústicas, siendo los usos del suelo predominantes, los que determinan los niveles máximos permitidos en cada área. Así, los niveles sonoros deseables para una zona en función de los usos predominantes del suelo vienen fijados por el Real Decreto 1367/2007 modificado por el Real Decreto 1038/2012. La tabla 2 recoge los niveles establecidos según normativa vigente referidos a los tipo de usos de cada área. Siendo:

- $L_d$  el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2:1987, determinado a lo largo de todos los períodos día (07 a 19 h) de un año,
- $L_e$  es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2:1987, determinado a lo largo de todos los períodos tarde (19 a 23 h) de un año,
- $L_n$  es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996- 2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos noche (23 a 07 h) de un año.

Tabla 2. Niveles según normativa vigente de la calidad acústica según tipología del área referidos a una altura de 4 m sobre el terreno.

Tipo de área	Índices de ruido (dBA)		
	$L_d$	$L_e$	$L_n$
Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	60	60	50
Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial	65	65	55
Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto al uso recreativo y de espectáculos	70	70	65
Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos	73	73	63
Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.	75	75	65
Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen	En el límite perimetral de estos sectores del territorio no se superarán los objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al resto de áreas colindantes con ellos.		

En el objeto del presente informe se centra en la zona portuaria que se encuentra delimitada por sectores del territorio de ámbito residencial combinado con uso recreativo y de espectáculos. Entendemos que el criterio más restrictivo se obtiene al considerar los

usos residenciales por tanto entendemos que este serán los objetivos acústicos a vigilar en toda la zona portuaria.

### 1.3. Las áreas de influencia

Para la valoración de las zonas portuarias se han definido tres zonas principales de atraque de buques a partir de la información ofrecida por la autoridad portuaria de las Islas Baleares. En la Figura 1 se han representado las zonas de atraque mediante un trazo continuo. A partir de la definición de las zonas de atraque se han representado líneas de influencia de cada una de ellas en función de la distancia representada en metros. Así se ha representado en la Figura 1 las áreas de influencia a partir de la intersección de las líneas de influencia de cada zona de atraque. Así, se indica las distancias a cada zona de atraque como tres valores expresados en metros (distancia zona 1, distancia zona 2, distancia zona 3). Solo se tienen en cuenta distancias de hasta 3000 m pues, la simulaciones de dispersión de contaminantes nos señala esta distancia a partir de la cual el comportamiento de dispersión es homogéneo. Los valores superiores a 3000m se han indicado con el valor 0 al no tener relevancia sobre el área de influencia.

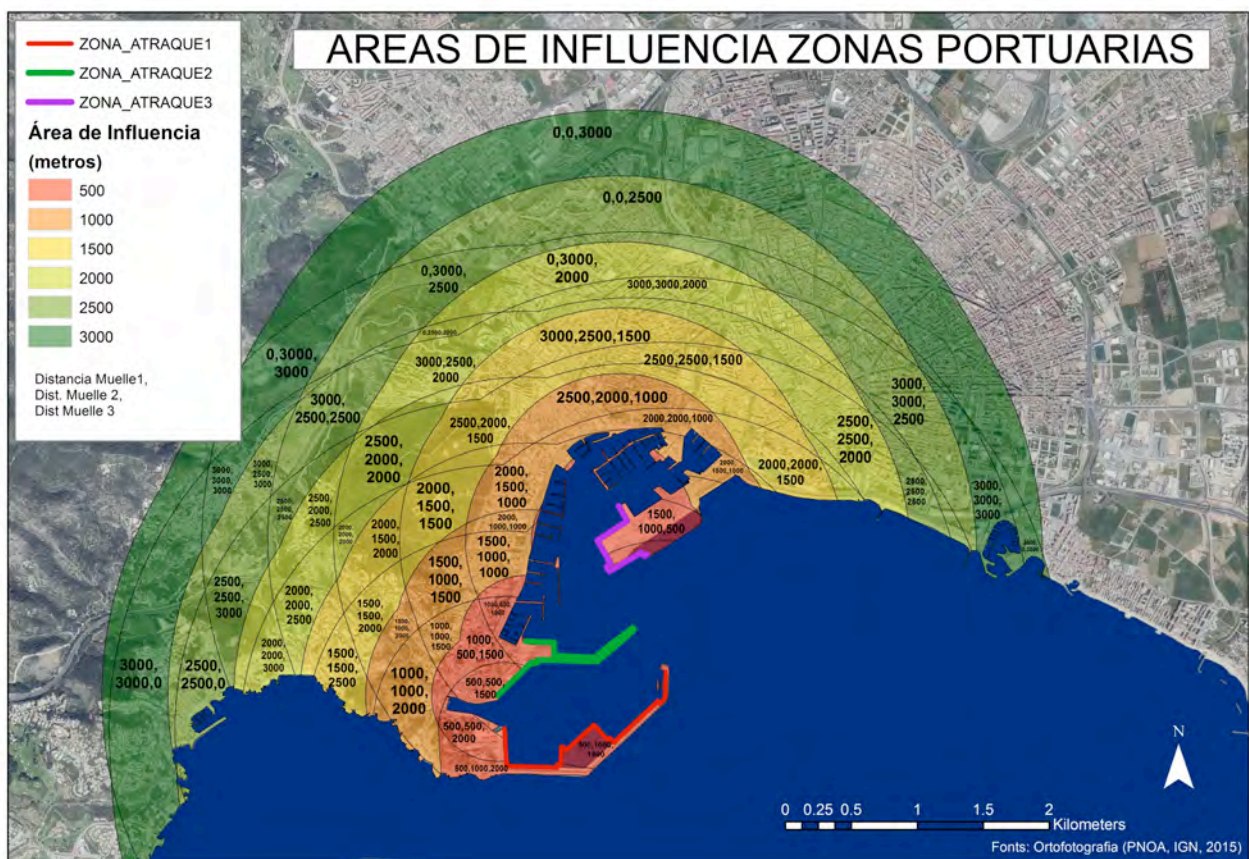


Figura 1. Definición de las zonas principales de atraque y representación de las zonas de influencia de cada una de ellas en función de las distancia a cada una de las zonas de atraque.

La distribución de áreas de influencia de cada zona de atraque se establece como base geográfica de dispersión para el análisis de la distribución de estaciones de medida de la red SsP-P.

#### 1.4. Las estaciones de medida existentes

Con la idea de integrar la red SsP-P teniendo en cuenta las estaciones de medida de otras administraciones, se establece el siguiente mapa de estaciones relevantes según las áreas de influencia definidas. Se requerirá el acceso a los datos procedentes de estas estaciones para la realización de informes de resultados y contrastar los mismos entre estaciones para mejorar la distribución espacial para la entrada en los modelos de simulación.

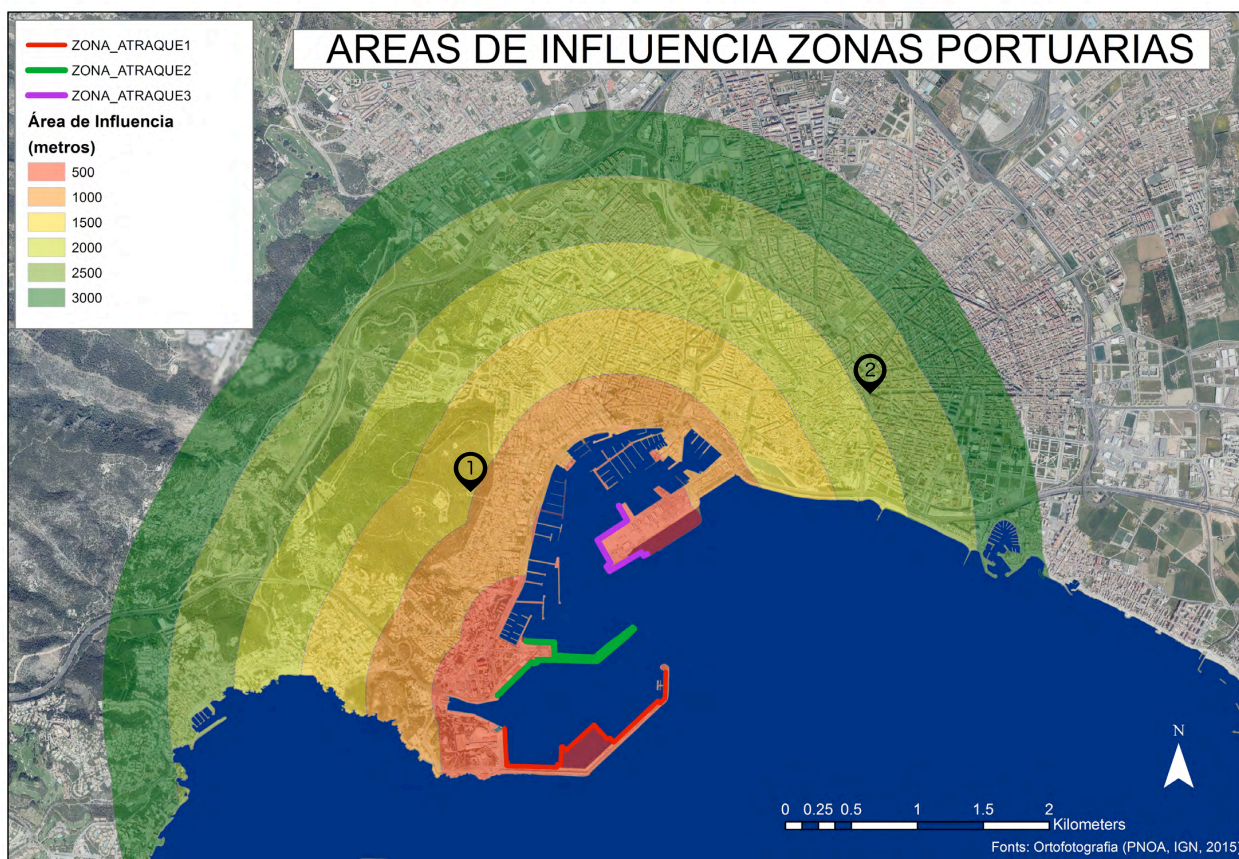


Figura 2. Distribución de estaciones de medida ambiental dentro de las áreas de influencia definidas: (1) Estación "Parc de Bellver", (2) Estación "Carrer Foners".

Las estaciones representadas en la Figura 2 se sitúan más allá de los 1000 m de las zonas de atraque definidas para el presente estudio. Esto nos lleva a tener en cuenta que los datos de dichas estaciones tendrán un impacto en los resultados menor debido a la mayor dispersión de contaminantes entre las fuentes de producción y la posición de las estaciones.

La estación “Parc de Bellver”, indicada como (1) en la Figura 2, realiza el seguimiento de las variables: SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, Benceno, Plomo (Pb), Tolueno (TOL), Xileno (XIL) y otros hidrocarburos aromáticos policíclicos.

La estación “Carrer Foners”, indicada como (2) en la Figura 2, realiza el seguimiento de las variables: SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, Benceno, Plomo (Pb), Tolueno (TOL), Xileno (XIL) y otros hidrocarburos aromáticos policíclicos.

Además la Consellería de Media Ambient del Govern de les Illes Balears dispone de una estación móvil de la cual se puede acceder a los datos de diferentes campañas realizadas en periodos temporales que pueden ser de interés para el estudio a la hora de establecer los niveles habituales. Esta estación realiza el seguimiento de las variables: SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, Benceno (BEN), Tolueno (TOL), Xileno (XIL), Plomo (PB) y otros hidrocarburos aromáticos policíclicos.

## 2. Sobre la fuente de contaminantes y ruido

En el área de cobertura de la red SsP-P se han determinado dos fuentes principales tanto de contaminantes atmosféricos como de contaminantes acústicos: el tráfico rodado y las actividades portuarias. El tráfico rodado se centra principalmente en la denominada ronda litoral y es una fuente monitorizada ya en los planes de vigilancia de las administraciones públicas. Así:

- La Direcció General d’Energia i Canvi Climàtic de la Conselleria de Territori, Energia i Mobilitat del Govern de les Illes Balears realiza campañas de medición de contaminación atmosférica a partir del uso tanto de las estaciones fijas como de la estación móvil dentro de su programa de monitorización de la calidad del aire de las Islas Baleares. En este sentido queremos destacar el informe publicado el 2016 sobre niveles de NO<sub>2</sub> monitorizados en la Avenida Gabriel Roca (Paseo Marítimo) punto 4 del informe LAT-9/16. En esta campaña realizada en tres periodos diferentes (18/2/2016 – 25/2/2016, 7/6/2016 – 14/6/2016, y 13/7/2016 – 20/7/2016) se miden unos niveles medios de 15, 49 y 34 µg/m<sup>3</sup> respectivamente, siendo el valor medio total de los tres periodos de 33 µg/m<sup>3</sup>. Recordemos que el valor máximo medio es de 40 µg/m<sup>3</sup>. Finalmente, el mismo informe 2016 clasifica como **regular** (niveles comprendidos entre 26 y 40 µg/m<sup>3</sup>) la calidad del aire en niveles de NO<sub>2</sub> el todo el vial del paseo marítimo colindante al área del pdP, y como **calidad buena** (niveles comprendidos entre 13 y 26 µg/m<sup>3</sup>) las áreas residenciales cercanas a las zonas de atraque 1 y 2 definidas en el apartado 1.3 de este informe, mientras que la calidad baja a **regular** en las áreas residenciales cercanas a la zona de atraque 3.

Solo el centro histórico de Palma y el parque de Bellver se califican con calidad **Buena** (valores de NO<sub>2</sub> por debajo de 13 µg/m<sup>3</sup>).

- Des de el punto de vista de contaminación acústica, el mapa de ruido elaborado por el Ayuntamiento de Palma el 2015 indica que el área del Passeig Marítim tiene los siguientes niveles de ruido:  $L_d > 75$  dBA, y  $65$  dBA  $< L_n < 70$  dBA. Por tanto por encima del objetivo acústico recogido en la normativa vigente.

## 2.1. El modelo de la fuente de contaminantes

En la introducción de este capítulo se utilizan los niveles recogidos en los estudios realizados por las administraciones públicas en la zona limítrofe al pdP para establecer unos niveles de fondo sobre los que se estudia la fuente de contaminantes objeto de estudio: los sistemas de expulsión de humos de los buques que atracan en una de las tres zonas de amarre identificadas anteriormente.

Debemos recordar que se trata de fuentes de contaminantes provenientes del consumo de fuel-oil y que dicha generación no para con el atraque del buque pues los equipos de generación de energía eléctrica dentro del buque deben continuar durante todo el tiempo de atraque. Esta necesidad es la que convierte al buque atracado en una fuente de contaminantes extra sobre la zona. Estas fuentes extras no han sido consideradas en los estudios anteriores al no ser incluidas por su temporalidad.

Con el objetivo de aportar conocimiento relevante para el diseño de la red SsP-P se va a proceder a modelar la fuente de contaminante a partir del análisis de la altura en la que los contaminantes son expulsados. En este sentido la Tabla 3 recoge un conjunto de 8 buques que han atracado en el pdP durante el verano de 2016. De las características técnicas de cada buque se recoge tanto la altura como el calado en condiciones de carga normales. Este conjunto de datos reporta una altura máxima desde la que los contaminantes son expulsados de 56 metros y una altura mínima de 14,2 metros. El valor medio de altura es de 28,75 metros.

A la altura física de la fuente de contaminantes debemos añadir la altura final que alcanzan los contaminantes debido a la fuerza cinética que permite elevar la masa más allá de la altura de salida. Esta altura de lanzamiento dependerá directamente del buque y de las condiciones atmosféricas presentes en cada instante: fuerza del viento, presión atmosférica, ...

Así pues, se ha procedido a realizar el modelado simple de la fuente de contaminantes del crucero teniendo estos condicionantes en cuenta y suponiendo la altura máxima prevista.

Tabla 3. Datos de Altura y Calado de cruceros que han visitado el puerto de Palma durante el verano 2016.  
Fuente: www.portsdebalears.com

Nombre Crucero	Altura /Calado
MSC Fantasia	37.92 m / 8.65 m
COSTA Diadema	37.20 m / 9.10 m
THOMSON Majesty	27,60 m / 6,20 m
HARMONY of the Seas	66 m / 9.322 m
COSTA Fascinosa	36 m / 8.3 m
STAR Breeze	19.2 m / 5 m
CELEBRITY Silhouette	36.9 m / 8.3 m
TUI Discovery	32 m / 7.9 m

Uno de los modelos simples más usados para la modelización esquemática de la fuentes puntuales es el llamado modelo de penacho gaussiano (Plume Gaussian Model). Este modelo dispersa la contaminación asumiendo advección en la dirección del viento, y difusión turbulenta en las direcciones transversales (horizontal y vertical) a la dirección del viento. Por supuesto, el análisis de los detalles que rigen la dispersión de contaminantes requiere del uso de herramientas numéricas de simulación de los flujos y las reacciones químicas entre especies de contaminantes. El uso de estas herramientas sobre el entorno del pdP se adoptará en fases posteriores.

En las siguientes figuras se reportan algunas aplicaciones simplificadas del modelo de penacho gaussiano en las condiciones de emisión de una embarcación de cruceros con una altura tipo de 60 metros y un ratio de emisión estándar. De manera cualitativa se ilustran los resultados de este modelo simplificado para tres niveles diferentes de estabilidad atmosférica en la capa límite:

1. Condiciones de capa límite estables: Característica de las noches, especialmente en invierno en condiciones anticiclónicas.

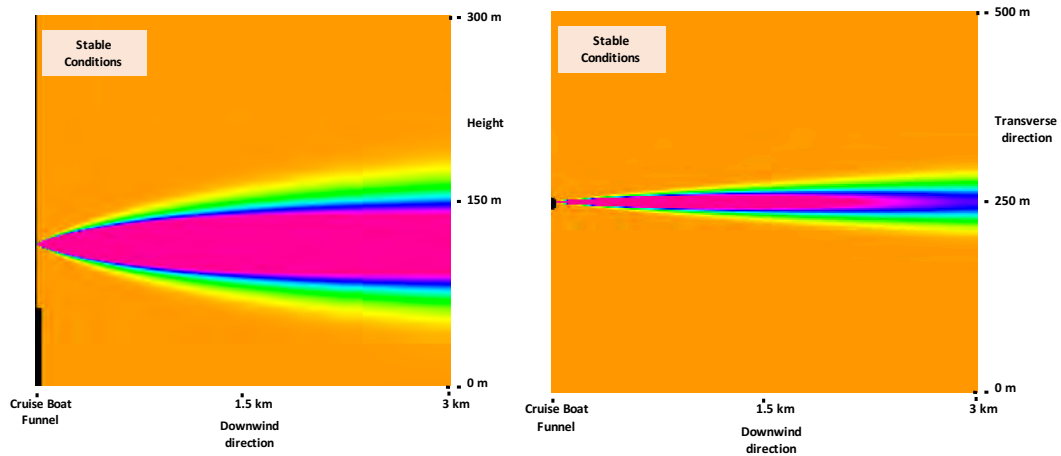


Figura 3. Concentración de contaminantes según el modelo de penacho gaussiano procedente de un crucero con características geométricas y de emisión estándar en condiciones de capa límite atmosférica estables.

2. Condiciones de capa límite neutras: Característica de la transición entre condiciones de estabilidad e inestabilidad, típicas de la salida y la puesta del sol.

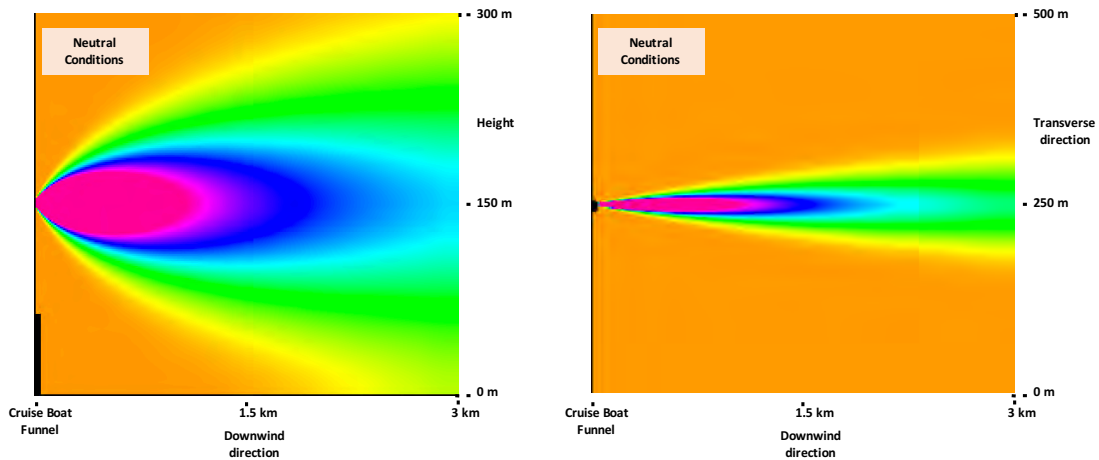


Figura 4. Concentración de contaminantes según el modelo de penacho gaussiano procedente de un crucero con características geométricas y de emisión estándar en condiciones de capa límite atmosférica estables.

3. Condiciones inestables: Características de periodos diurnos, especialmente estivales y situaciones sinópticas activas.



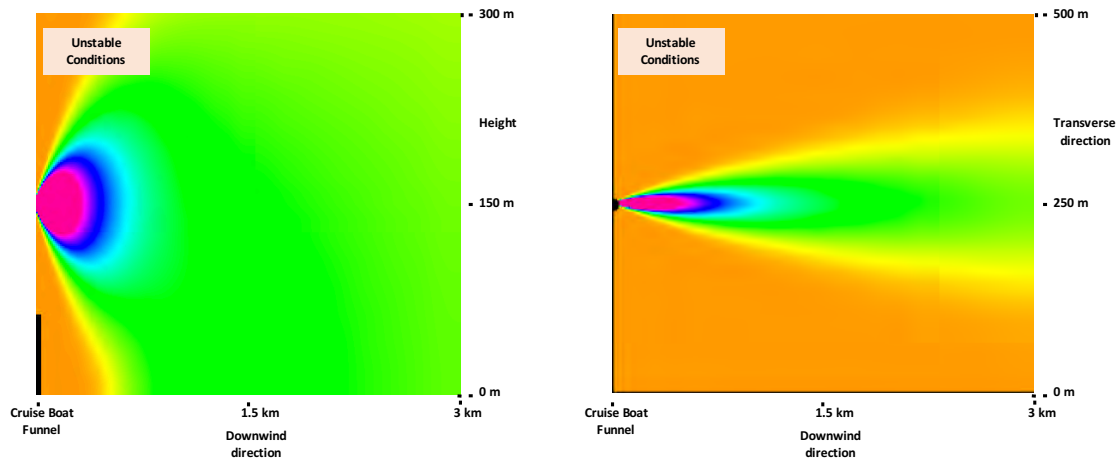


Figura 5. Concentración de contaminantes según el modelo de penacho gaussiano procedente de un crucero con características geométricas y de emisión estándar en condiciones de capa límite atmosférica estables.

El modelo gaussiano aplicado a tres condiciones de estabilidad ilustrativas muestra que la emisión de contaminantes de una chimenea estándar de crucero puede dispersarse en largas distancias (más de 5 – 10 Km) sin afectar a los niveles superficiales (como muestra los resultados de la simulación de la Figura 3). O en el caso más desfavorable en condiciones de inestabilidad de la capa límite planetaria, donde aparece una afectación sobre la superficie en unos pocos centenares de metros (como muestra los resultados de la simulación de la Figura 5). Así pues queda clara la implicación de las condiciones atmosféricas a la hora de la toma de medidas. Parece claro que la medida en condiciones estables requerirá estaciones de monitorización a mayores distancias de la fuente de producción de los contaminantes, mientras que condiciones inestables permitirá que estaciones de monitorización en zonas más cercanas puedan captar la producción de dichos contaminantes.

## 2.2. El perfil arquitectónico de las áreas de influencia

Además de la altura de la fuente contaminantes es vital tener en cuenta el perfil de la zona colindante a la fuente para entender las capacidades de dispersión. En la Figura 6 se modela el perfil arquitectónico de la ciudad de Palma a través de la información catastral del número de plantas de cada registro.

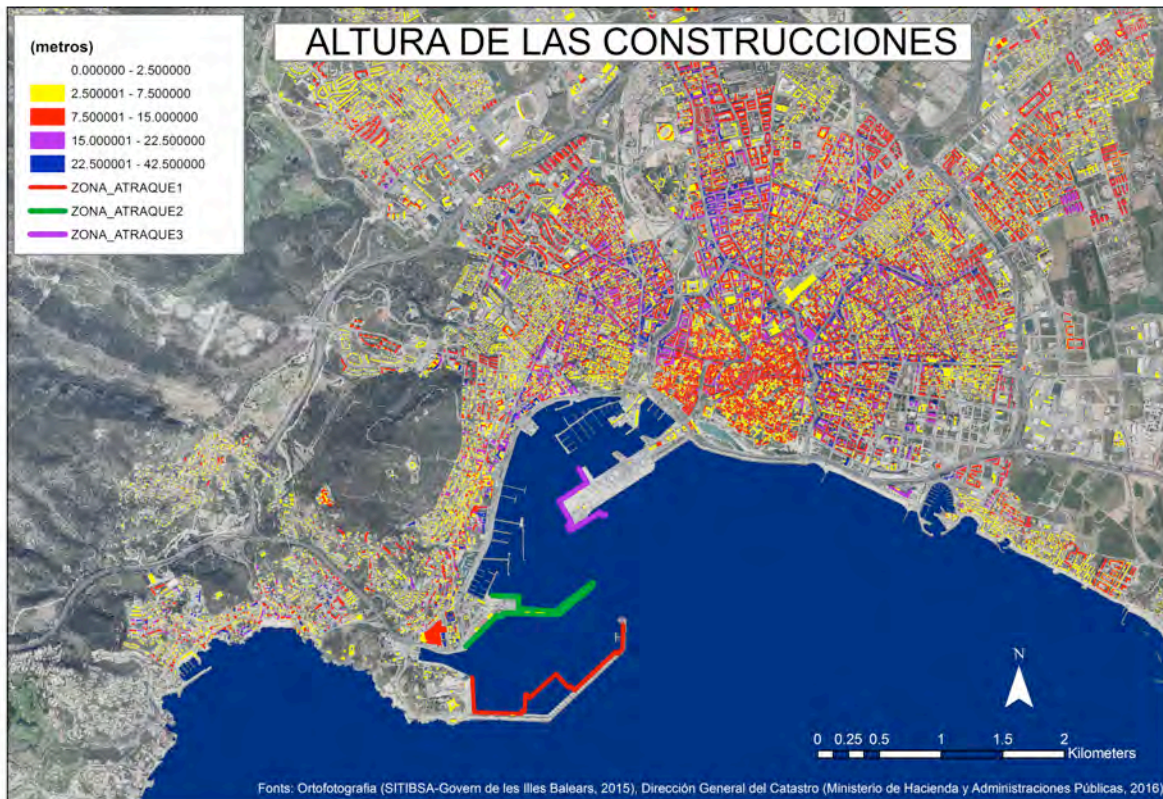


Figura 6. Indicación de la altura en número de plantas de cada uno de los registros catastrales mediante color. Indicación de las zona de atraque definidos para el presente estudio.

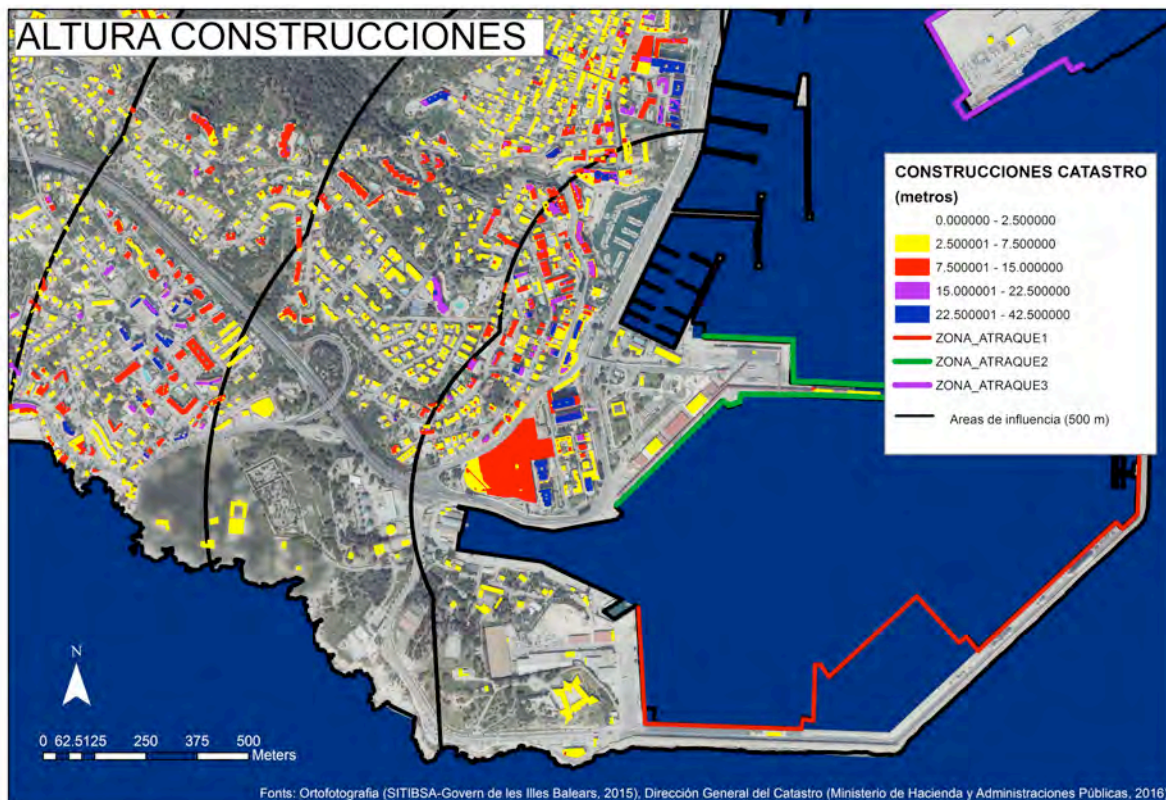


Figura 7. Detalle del perfil arquitectónico cercano a la zona portuaria de los atraques 1 y 2.

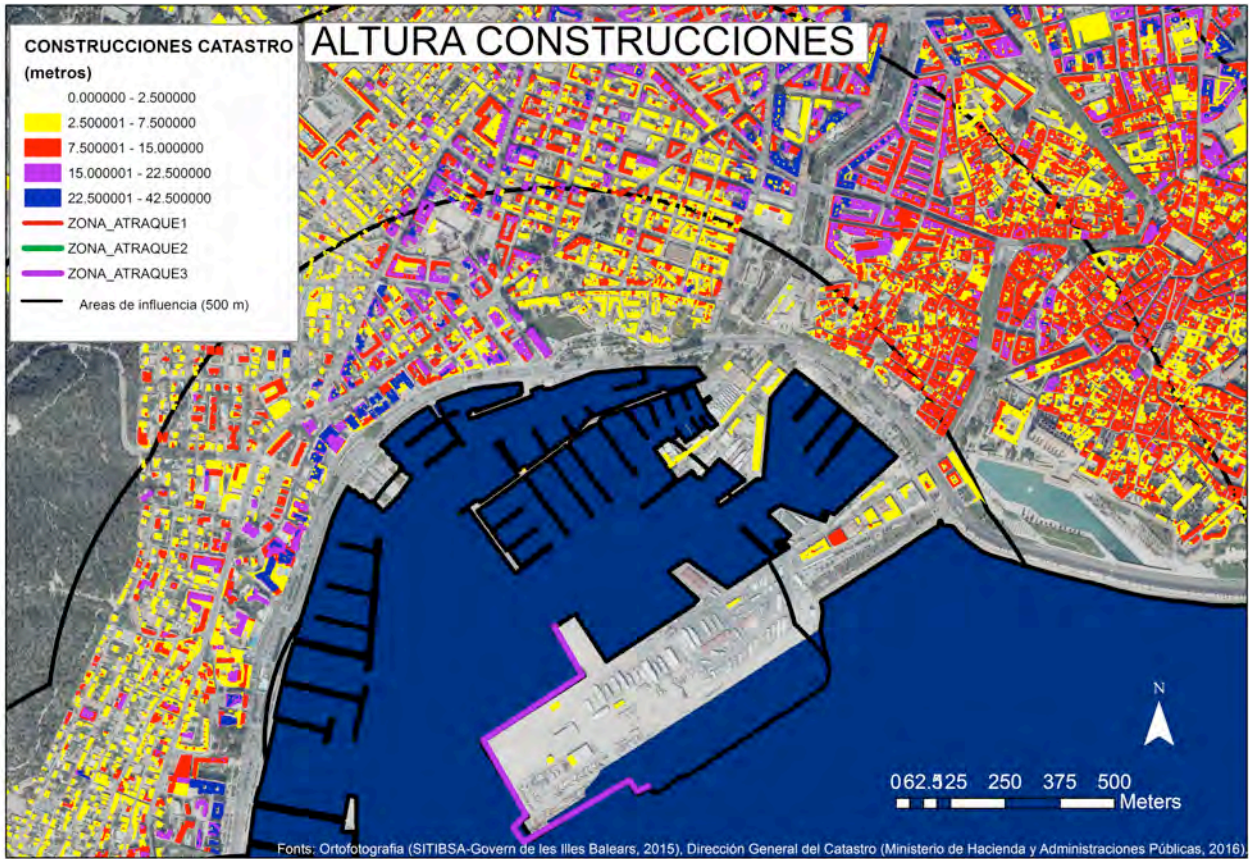


Figura 8. Detalle del perfil arquitectónico cercano a la zona portuaria del atraque 3.



Figura 9. Detalle modelo de alturas cercano a la zona portuaria de los atraques 1 y 2.



Figura 10. Detalle modelo de alturas cercano a la zona portuaria del atraque 2.



Figura 11. Detalle modelo de alturas del Passeig Marítim.



Figura 12. Detalle modelo de alturas cercano a la zona portuaria del atraque 3.

A través de este modelado se pueden establecer zonas de la fachada marítima cercana a la zona portuaria que pueden actuar como barreras arquitectónicas y que deberán ser tenidas en cuenta en la creación de mapa de contaminación real de la zona.

La propuesta de red SsP-P propondrá la localización de estaciones de medida frente a áreas con un perfil arquitectónico que contribuyan al estancamiento de los contaminantes o a la reverberación de la contaminación acústica producida por las fuentes.

### 2.3. La distribución de población en las áreas de influencia

La distribución de población en las áreas de influencia del estudio debe ser considerado a la hora de determinar la posición óptima de las estaciones de medida. Pues los niveles de contaminantes tendrán una repercusión más elevada si la población afectada es mayor. En las Figuras 13, 14 y 15 se recoge el análisis geográfico de los datos del patrón del Ayuntamiento de Palma que distribuyen la población por manzanas de edificios. En la Figura 14 se identifican dos manzanas cercanas al Passeig Marítim con una concentración elevada de población (manzanas azules en las Figuras).

En la Figura 15 se detalla una zona azul de elevada concentración de población cerca a las zonas de atraque 1 y 2.

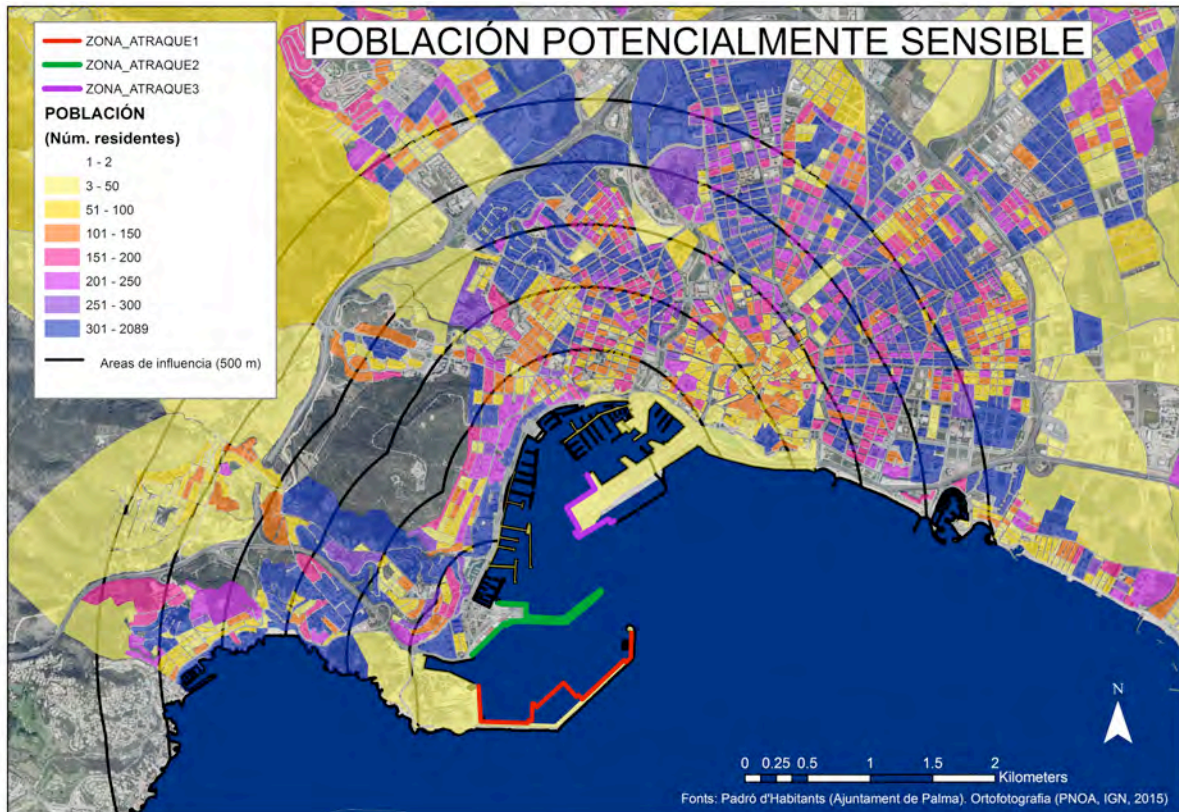


Figura 13. Superposición de la distribución del número de habitantes por manzanas con las zonas de influencia combinada de las zonas de atraque definidas.

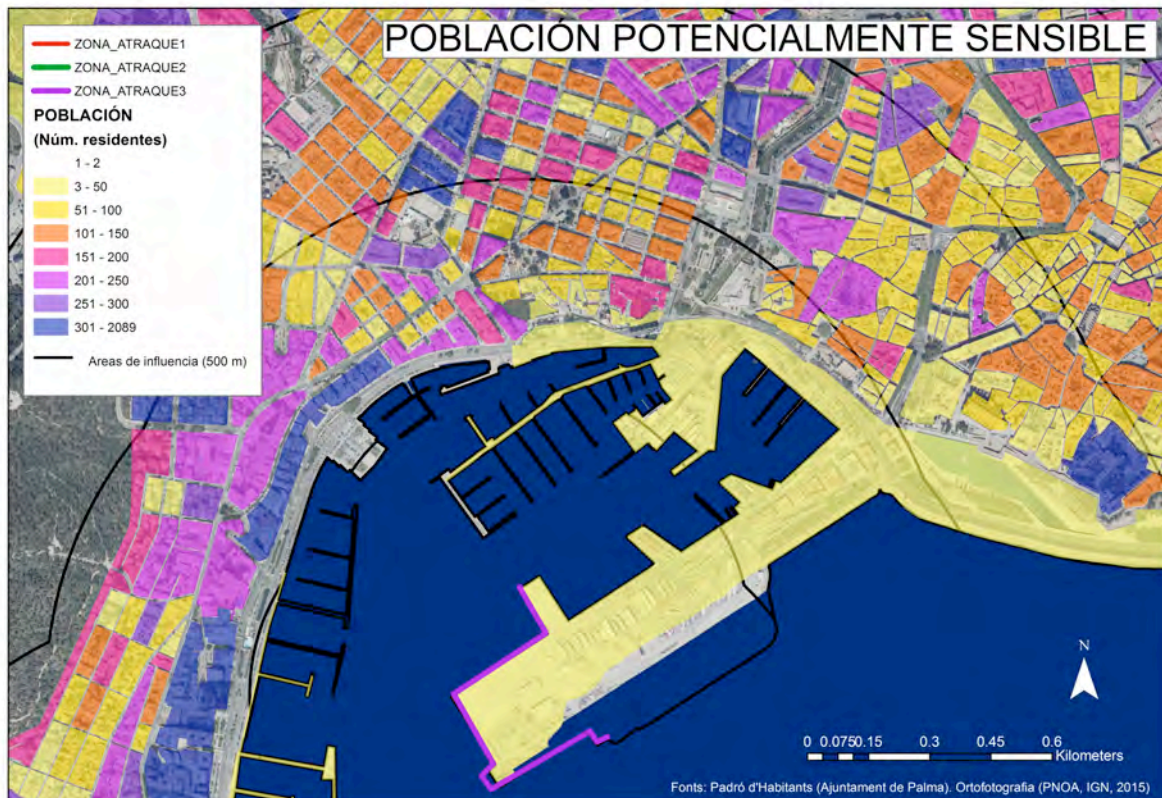


Figura 14. Detalle de la superposición de la distribución del número de habitantes por manzanas con las zonas de influencia combinada de las zonas de atraque definidas.

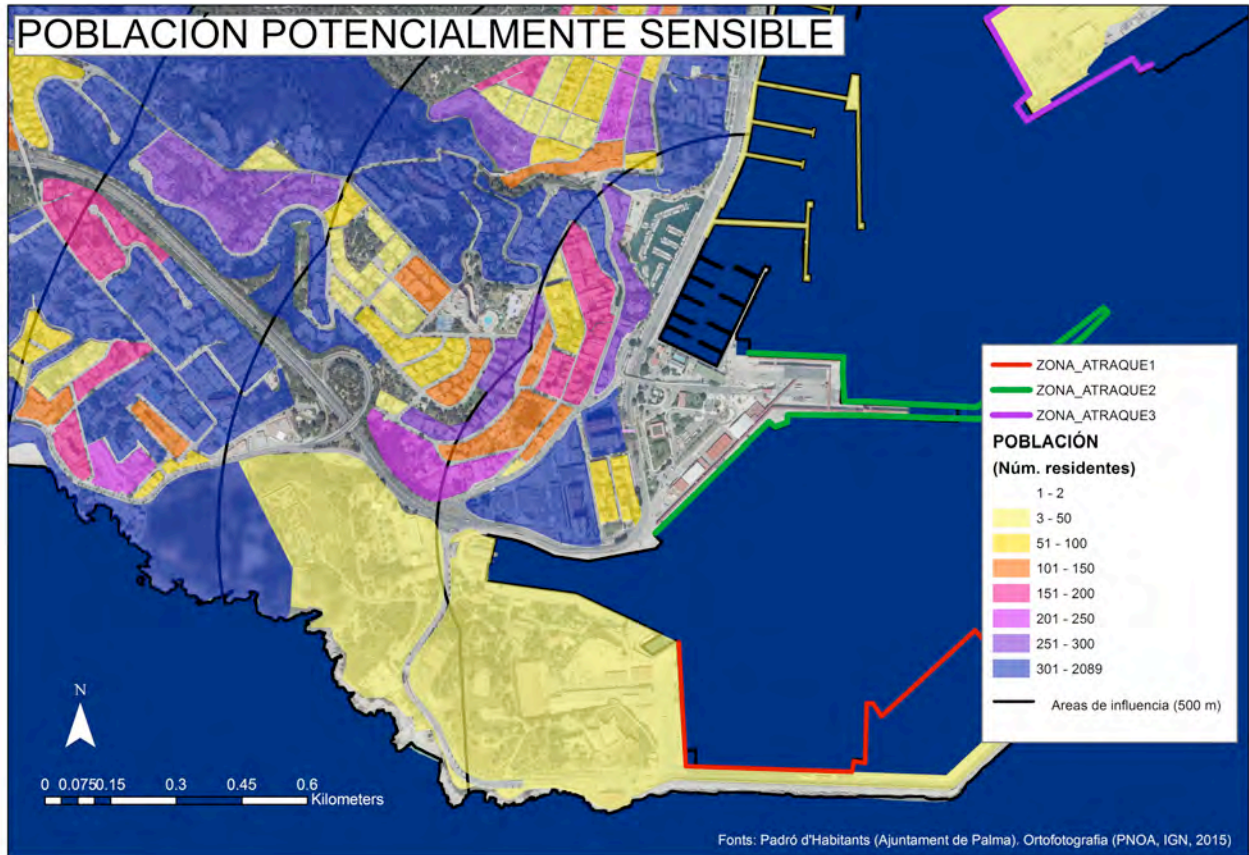


Figura 15. Detalle de la superposición de la distribución del número de habitantes por manzanas con las zonas de influencia combinada de las zonas de ataque definidas.

A partir de modelo de penacho gaussiano se establecen las zonas de influencias que según las condiciones atmosféricas tendrán mayor o menor influencia sobre la población residente. Así pues, a la hora de considerar la importancia de los valores de contaminantes será necesario poder modelar adecuadamente las zonas de influencia con un número adecuado de estaciones de monitorización.

## 2.4. La situación atmosférica dominante

Las condiciones meteorológicas son esenciales para la dispersión de contaminantes como se ha determinado en el modelo de penacho gaussiano. No solo la dirección del viento dominante en las capas bajas sino sus variaciones turbulentas a pequeña escala espacial y temporal. El nivel de actividad turbulenta en la capa límite viene condicionada por la estabilidad que determina fuertemente la dispersión de contaminantes transversal a la dirección del viento dominante, i por tanto, es un parámetro crucial para la determinación de los niveles de contaminación en superficie, tal y como ya contempla el modelo gaussiano.

En este primer informe cabe destacar las situaciones características de flujos dominantes en la zona del puerto. En esta primera aproximación podemos describir los flujos más frecuentes en la bahía de Palma como el viento diurno Embat (Figura 16) y el terral nocturno (Figura 17).

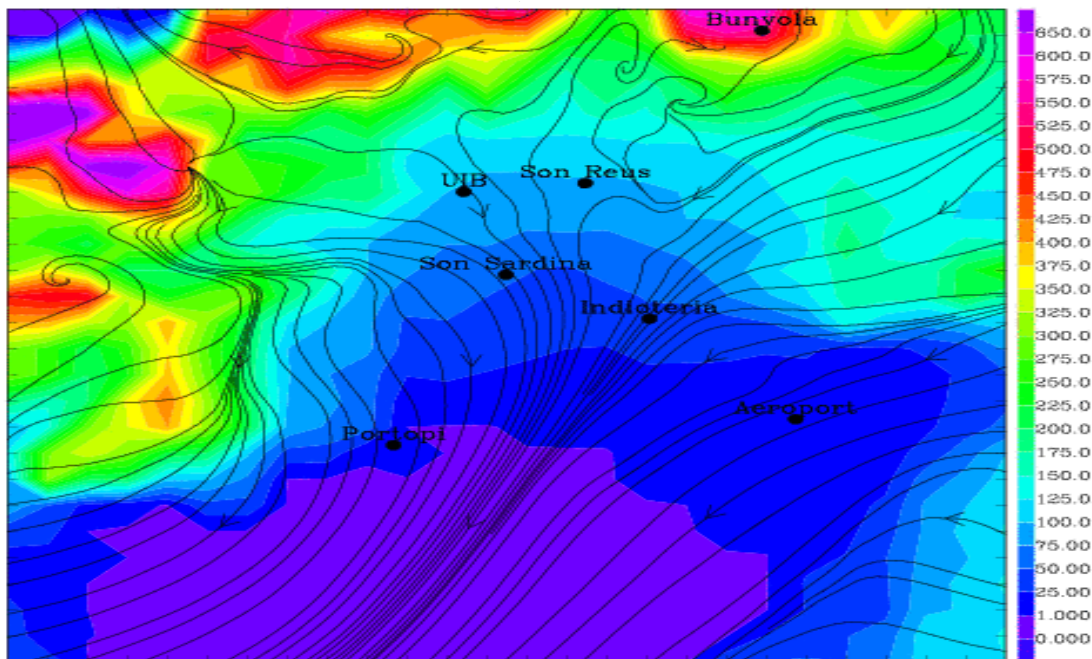


Figura 16. Líneas de Corriente a 30 m a media noche un día en condiciones normales de viento local de tierra hacia el mar (Simulación modelo Meso-NH a 1 Km de resolución horizontal i 3m de resolución vertical )  
(Fuente: J. Cuxart y colaboradores)

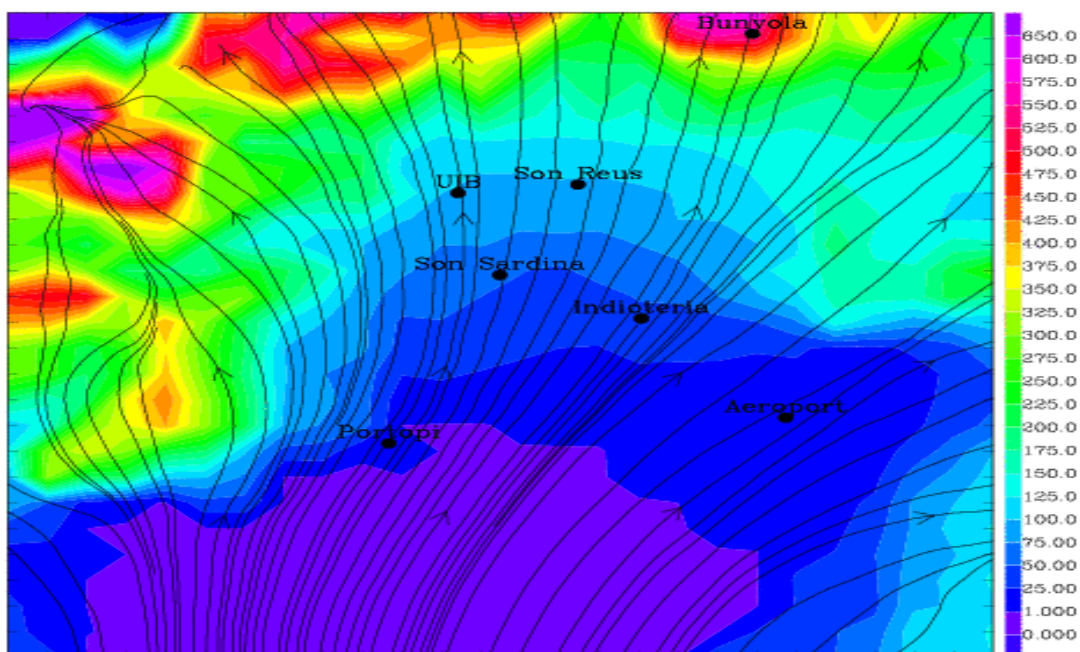


Figura 17. Líneas de Corriente a 30 m un día en condiciones normales con viento de "embat" a medio día (Simulación modelo Meso-NH a 1 Km de resolución horizontal i 3m de resolución vertical ) (Fuente: J. Cuxart y colaboradores)



La climatología de vientos de las dos estaciones cercanas al puerto gestionadas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) muestra en las Figuras 18 y 19 los vientos dominantes a 10 m que pueden superar los 5 m/s con frecuencia y los 10 m/s ocasionalmente.

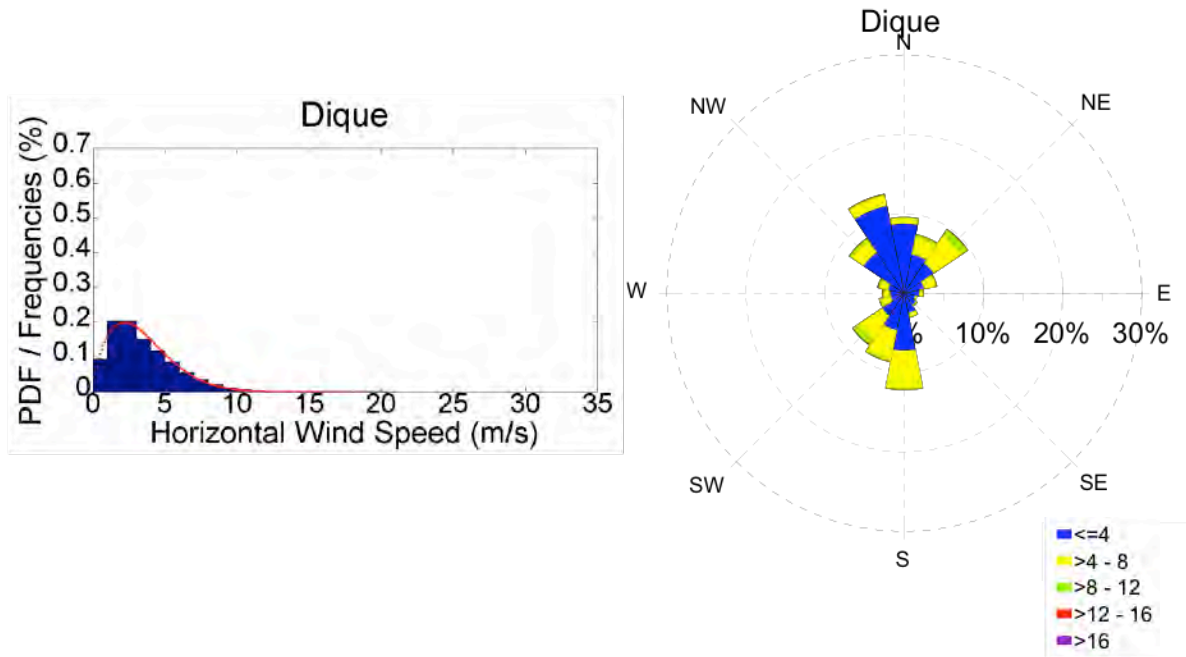


Figura 18. Distribución de frecuencias de fuerza y dirección del viento de la estación B228D Dic del Oeste. Los colores sobre la Rosa de los Vientos indican la fuerza del viento en aquella dirección. (Font: Díez, 2010)

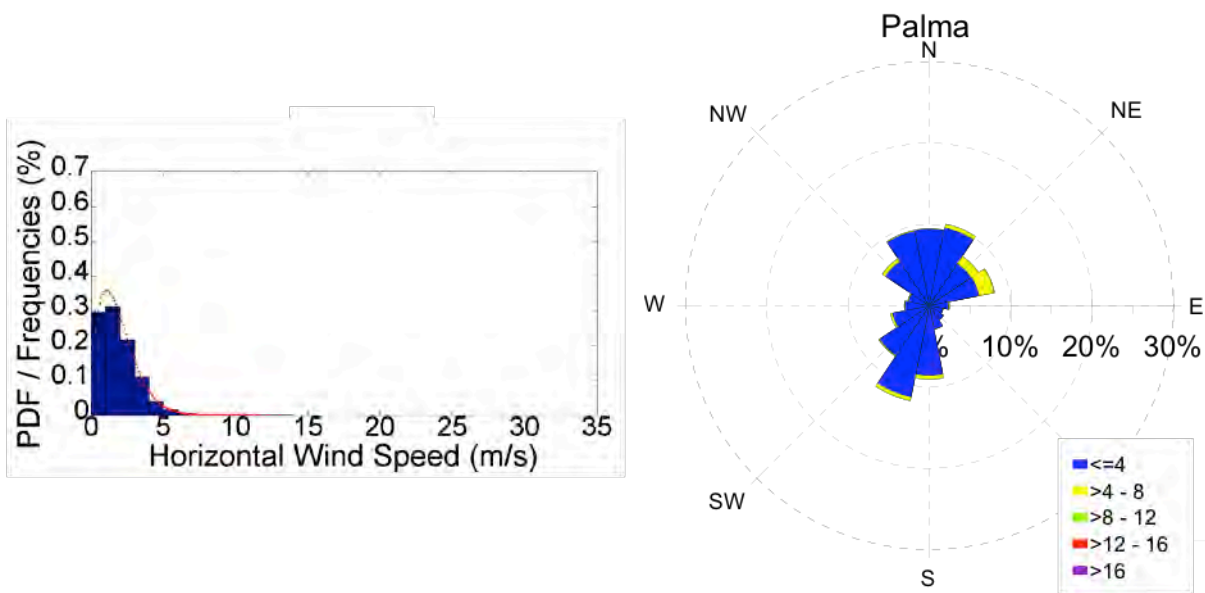


Figura 19. Distribución de frecuencias de fuerza y dirección del viento de la estación B228 Palma-Portopí. Los colores sobre la Rosa de los Vientos indican la fuerza del viento en aquella dirección. (Font: Díez, 2010)

La dirección preferente del viento es el sur, sudoeste, mostrando la entrada del embat, además de la característica norte-noroeste de las entradas de gregal y el efecto orográfico

de la Sierra de Tramuntana. La estación de Portopí muestra claramente la señal del embat, pero está apantallada por los montículos cercanos (Castell de Bellver) para los flujos de noroeste.

### 3. Sobre las estaciones de medida

Establecido el análisis de los condicionantes presentes en el pdP se pretende describir las que son las características principales de las estaciones de medida a implementar en la red SsP-P, así como las necesidades de mantenimiento que deberán garantizarse para mantener operativa la red de captura de datos.

#### 3.1. El sistema de instrumentación

El equipo de investigadores propone disponer de estaciones de medición autosuficientes y conectadas al servidor central para el tratamiento de los datos. Cada estación será capaz de realizar las siguientes funciones:

- Operar de forma ininterrumpida en un entorno de 24 horas 7 días de la semana
- Realizar la captura del valor de las variables a medir a un ritmo de:
  - 5-10 minutos para medidas puntuales de cada variable aportando promedio, valor máximo y mínimo,
  - generar un resultado procesado cada hora con la captura del valor máximo, mínimo de cada variable con indicación de la hora (hh:mm:ss) en la que se ha llegado a esos valores,
- Garantizar el registro de los datos capturados en el servidor GIS para el procesado y análisis de la información.
- Generación de avisos técnicos para el mantenimiento de las estaciones: fallo de alimentación, fallo de calibración, y fallo de conexión de datos.

Cada estación de monitorización deberá disponer de cierta capacidad para el almacenaje de la información (mínimo 7 días de datos) en caso de pérdida de la comunicación con el servidor central. En el momento de recuperar dicho enlace de comunicación los datos almacenados deberán ser volcados al servidor. Este requisito ofrecerá al sistema de instrumentación un nivel de seguridad y garantía de recepción de datos frente a errores.

La estación será capaz de sincronizar las medidas con una marca temporal que servirá para establecer la fecha y la hora en el instante en que el valor ha sido tomado. Esta sincronización es importante para todas las variables de medida y requerirá de algún sistema de calibración para evitar errores de deriva en el control de tiempo real.

### 3.1.1. La medida de contaminantes

A partir de la normativa vigente, de las estrategias de medida implementadas por las instituciones de las Islas Baleares y de la tipología de contaminantes presentes en los cruceros. Las variables de contaminantes a medir se recomienda que sean:

- SO<sub>2</sub>
- NO, NO<sub>2</sub>
- CO
- O<sub>3</sub>
- PM<sub>10</sub> , PM<sub>2,5</sub> (esta última variable a sido añadida tras el incremento en importancia que ha sido reconocido en la normativa europea, garantizando así el cumplimiento de una futura normativa al respecto)

### 3.1.2. La medida de ruido

Cada una de las estaciones de medición también debe permitir la medida del nivel de ruido presente en el entorno de la estación. La metodología de medida seguirá el esquema de capturas minutas indicada en la sección anterior. Así pues, la variable de nivel de ruido se añadirá a las variables de contaminación atmosférica de la estación.

### 3.1.3. Variables atmosféricas

Debido a que las condiciones atmosféricas son importantes para el modelado de la dispersión de contaminantes tanto de partículas como de niveles acústicos será necesario añadir a cada estación de las siguientes variables atmosféricas:

- Temperatura i Humedad
- Presión atmosférica
- Fuerza y dirección del viento

### 3.2. El mantenimiento y la calibración

Tanto el mantenimiento de las estaciones como la calibración de los sensores medidores de las variables de interés son operaciones que deberán ser garantizadas para que los datos reportados por las estaciones sean útiles.

Las estaciones de medida requerían un plan de mantenimiento y los autores del presente informe recomiendan que dicho plan contemple los siguientes requisitos:

- 1 vez al mes: revisión de conectores y estado exterior de la estación para la localización de desperfectos que rompan la estanqueidad.
- 1 vez cada trimestre: mantenimiento de las baterías que garanticen alimentación continua. Mantenimiento de las antenas de comunicaciones con el servidor.
- 1 vez cada semestre: mantenimiento de los sensores

El proceso de mantenimiento recomendamos que tenga como objetivo conseguir el éxito en la transmisión de datos válidos del orden del 98%. Es decir, si cada día se producirán un total de 144 capturas ( = 1 captura/10 minutos \* 60 minutos/1hora \* 24 horas) para cada variable, más 24 capturas procesadas con el valor máximo y mínimo de cada hora. El protocolo de mantenimiento debería garantizar la recepción de 141 capturas de cada variable y de la totalidad de las 24 capturas cada hora. Se exige un elevado rendimiento de captura para conseguir un modelado adecuado de la situación.

Los sensores de cada variable monitorizada requerían de un plan de calibración y los autores recomiendan que se realice un proceso de validación cada semestre que mantenga la certificación de los valores medidos por las estaciones. Este proceso se deberá ajustar según las indicaciones del fabricante de los sensores.

### 3.3. El sistema de alimentación continua

Para mejorar la seguridad en la recepción de los datos monitorizados, se estima necesario la inclusión en cada estación de algún sistema de alimentación continua que asegure su funcionamiento ininterrumpido.

Este sistema de alimentación continua se recomienda que contemple como mínimo la inclusión de una batería que garantice su funcionamiento durante tres días sin recibir alimentación externa.

Se recomienda considerar la inclusión de algún sistema de alimentación a partir de energías renovables (por ejemplo, placa solar + regulador/cargador de baterías) permitiendo aislar el funcionamiento de la estación del mantenimiento de otros sistemas energéticos de las instalaciones del puerto y garantizando la no interrupción de la captura.

#### 4. Sobre la red de estaciones

La red de estaciones SmartSensPORT-PALMA se propone que se integre teniendo en cuenta los recursos de comunicación del puerto de palma. En este sentido, la zona portuaria se encuentra dentro de la zona de cobertura de la red SmartWifiPalma. Así los autores del informe recomienda utilizar dicha red para conectar las estaciones de medida de forma individual al centro servidor de servicios GIS y a la base de datos. La Figura 20 muestra la propuesta de arquitectura de red que los autores del presente informe proponen para implementar el servicio SsP-P.

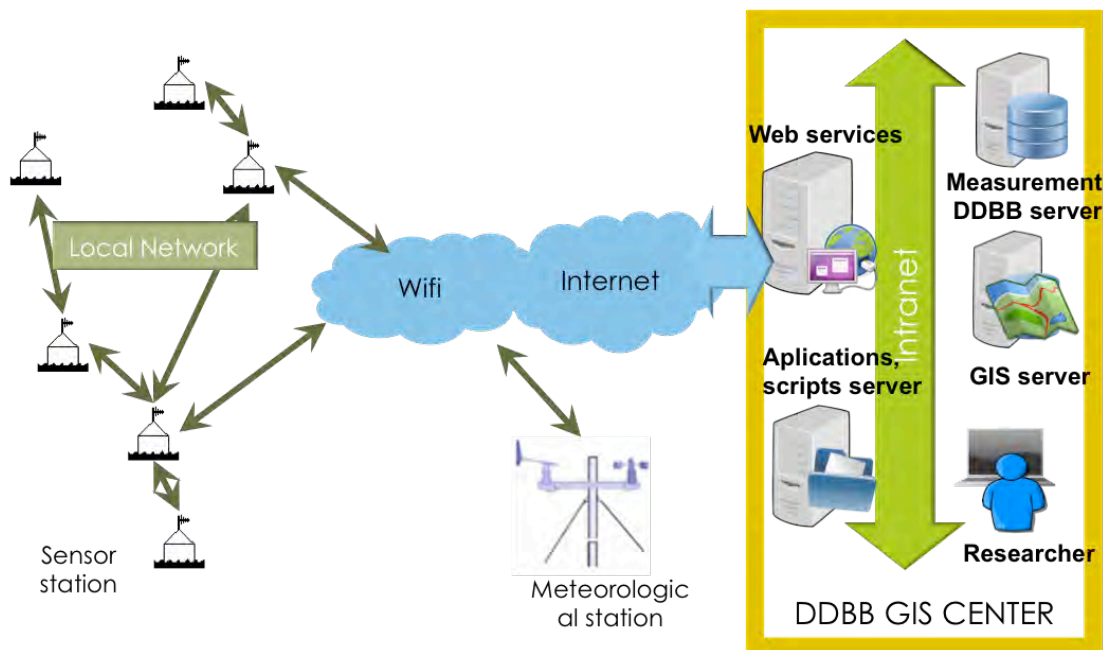


Figura 20. Arquitectura propuesta para la red SmartSensPort-Palma

La arquitectura propuesta está formada por la red de estaciones de monitorización que mediante la infraestructura Wifi permitirá conectar cada estación al centro DDBB GIS localizada en la Universidad de las Islas Baleares a través del laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección.

La red de estaciones propuesta contempla la posibilidad de que no todas las estaciones sean iguales y se puedan definir estaciones de medida de contaminantes y estaciones de medidas meteorológicas.

## 4.1. La distribución de estaciones

La distribución de estaciones que deberían incluirse en la propuesta SmartSensPORT-PALMA se presenta sobre la Figura 21. Se detallan la necesidad de 8 estaciones que a criterio de los autores y a la vista de los resultados de simulación se han estimado.



Figura 21. Localización aproximada de las estaciones de la red SmartSensPort-Palma

La propuesta de localización pretende crear una malla de monitorización suficiente para alimentar los modelos de detalle que permitan definir el alcance de los contaminantes y el mapa de ruido debido a las actividades portuarias de los cruceros atracados a las tres zonas definidas en este presente estudio.

Las ocho estaciones deben ser capaces de medir las variables de contaminación y de niveles de ruido.

Se propone que las variables meteorológicas se permita su lectura a partir de una arquitectura diferente:

- Las ocho estaciones medirán las variables de temperatura, humedad i presión.
- Solo tres estaciones medirán la fuerza y dirección de viento. Estas se proponen que sean las señaladas en la Figura 21 con una estrella.

## 5. Sobre el dato generado

Los datos generados por la red SmartSensPORT-PALMA se recopilará en el centro de base de datos y servidor GIS de la Universidad de las Islas Baleares. Este requisito ha sido incluido a petición de la Autoridad Portuaria de las Islas Baleares. Este centro de datos permitirá realizar el seguimiento de los valores monitorizados, obtener resultados aplicando los modelos de predicción de dispersión y de impacto de los contaminantes sobre las zonas colindantes del pdP.

Este centro recolector de datos ha sido presentado en la propuesta de arquitectura de la red esquematizada en la Figura 20.

### 5.1. La integración con el servidor GIS-UIB

La integración de la red SsP-P requerirá la colaboración entre el equipo del laboratorio GIS-UIB y el equipo instalador de las estaciones de medición. Esta integración se realizará a partir del diseño de APIs de interfaz que serán mantenidos tanto por el equipo GIS-UIB como por el equipo instalador de las estaciones. El dato en bruto podrá ser recibido por un servidor secundario que a modo de logger redundante realice la captura de los datos de forma complementaria para reducir la pérdida de datos de las estaciones.

## 6. Conclusiones

Los modelos simplificados de dispersión de contaminantes cuantifican concentraciones promediadas sobre escalas de tiempo asociadas a las energías que producen los remolinos en la capa límite planetaria ( $T_i \sim 1000s$ , para capas límites estándar). Para escalas más cortas en tiempo, la forma del penacho es más estrecha que un penacho gaussiano bien difundido y se parece a un río con meandros guiados por los remolinos mencionados y con poca mezcla difusiva. Los registros instantáneos de concentración resultaran muy variables a media que los meandros del penacho evolucionen a través de las estaciones. Estas

variaciones grandes se suavizan enormemente a medida que el tiempo de promediado de medida superior  $T_i$  (j. Barlow, 2014). Con el objetivo de disponer de información relevante para evaluar los impactos sobre la salud humana será necesario disponer de información relevante con una frecuencia mayor a  $1/T_i$ . Sería ideal disponer de medidas a alta frecuencia (~5s) que permitan registrar valores máximos de concentraciones sobre períodos más largos (~5-10 minutos). Si las medidas de alta frecuencia no son posibles, las medidas integrales (acumulativas) sobre períodos  $T_i$  serían una alternativa aceptable.

Los componentes dominantes del viento, i los resultados esquemáticos de la aplicación del modelo gaussiano en condiciones atmosféricas prototípicas del puerto de Palma sugieren poner especial atención en una zona cónica centrada sobre las zonas de amarre de las embarcaciones, orientada hacia el N-NE i a distancias que varían entre pocos centenares de metros a decenas de kilómetros, centrándonos en el impacto sobre el nivel del mar. La presencia de orografía relevante cercana al puerto, como se ha mostrado en los modelos de alturas 3D, reduce las distancias y aumenta en aquellas cotas más elevadas cercanas al puerto.

#### Referències

- Barlow, J. F. (2014) *Progress in observing and modelling the urban boundary layer*. Urban Climate, 10 (2). pp. 216-240. ISSN 2212-0955 doi: 10.1016/j.uclim.2014.03.011
- Saxe, H., and T. Larsen. 2004. "Air Pollution from Ships in Three Danish Ports." *Atmospheric Environment* 38 (24): 4057–67. doi:10.1016/j.atmosenv.2004.03.055.
- César Manuel Díez, Master Thesis "Análisis de datos en estaciones climatológicas sobre las Islas Baleares", Physics Department, UIB. 2010.