



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-MAÓ

31/12/2016

El presente informe 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 instalados en dichas estaciones. Se bautiza la red como *SmartSensPORT-MAÓ* (en adelante SSP-M), 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 MAÓ, haciendo referencia a la cobertura territorial que se pretende cubrir).

El objetivo principal de SSP-M es la implantación de una infraestructura tecnológica para la monitorización y el análisis de la contaminación atmosférica y los niveles de ruido derivados de las actividades del puerto de Maó, siendo las relacionadas con la llegada y salida de cruceros o ferrys y la descarga de combustibles fósiles las principales actividades motivadoras de la implantación de dicha infraestructura. Existe una importante demanda social de información objetiva sobre los impactos derivados las actividades portuarias tanto en el ámbito portuario como en su entorno. La implantación de la red SSP-M proporcionará datos experimentales que permitirán dar apoyo a la gestión portuaria a nivel operativo y estratégico de una forma más sostenible.

Tabla resumen para la implantación de la red SSP-M

Número de estaciones de medida	4
Variables contaminantes atmosféricas a medir (Todas las estaciones)	SO ₂ , NO, NO ₂ , CO, O ₃ , PM ₁₀ , PM _{2,5} , L _d , L _e , L _n
Variables meteorológicas a medir (Todas las estaciones)	Temperatura, Humedad, Presión atmosférica
Variables meteorológicas a medir (2 estaciones)	Fuerza y dirección viento
Conectividad entre estaciones	LoraWAN / Wifi
Colector de datos	GIS-UIB Server
Error permitido recepción de datos	2%
Medición de alta frecuencia	~ 5 seg
Envío de datos promedio, max, min	~5-10 min
Funcionamiento	24h x 7días/sem

1. Introducción

El puerto de Maó (en adelante pdM) se encuentra en la ciudad de Maó y realiza la principal actividad marítima entre Cala Figuera y Cala Rata. El pdM dispone de zonas de atraque repartidas por la costa cubriendo todo el litoral entre ambas calas. Se pueden distinguir tres zonas de interés para el presente estudio claramente diferenciadas: el muelle de cruceros, el muelle Cos Nou y la dársena de la base Naval. Además se dispone de otras zonas de atraque deportivo o destinadas a embarcaciones menores que no se consideran en el presente estudio. Según los datos publicados en el portal web de la Autoridad Portuaria de las Islas Baleares, entre las tres dársenas se realizan actividades de transporte de pasajeros, pero también la descarga de combustibles, gases y otras materias para proveer las necesidades de la isla. Entre los puntos en cuestión destacan los impactos de contaminación de dichas actividades y ruido que generan en el proceso.

Debe destacarse que la zona portuaria es limítrofe a la ciudad de Maó por tanto será importante proveer de información experimental acerca del alcance de los contaminantes en las zonas pobladas teniendo en cuenta la acción de dispersión de los vientos dominantes y otras variables meteorológicas. En este sentido, la propuesta de la red SSP-M se desplegará incluyendo la monitorización de diversas variables meteorológicas además de la medida de los niveles de concentraciones de contaminantes presentes en el aire. La consideración de estos niveles permitirá poner en marcha acciones encaminadas a conseguir reducir las emisiones a la atmósfera de las actividades portuarias.

El presente informe técnico propone una infraestructura tecnológica que se integra a la actual red de estaciones atmosféricas y medida de la calidad del aire perteneciente a diversas entidades: AEMET, Conselleria de Mediambient (Govern de les Illes Balears), Consell de Menorca y del Ajuntament de Maó. Además, los datos obtenidos serán accesibles a través de la Web usando las últimas metodologías OpenData permitiendo mejorar la transparencia de los efectos derivados de las actividades que se realizan en los puertos de las Islas Baleares. Dicha información da apoyo a la política de información abierta que está siguiendo la Autoridad Portuaria de las Islas Baleares en su portal Web.

1.1. Objetivos de red SmartsensPORT-MAO

Este informe técnico describe las características de la Red SmartsensPORT-MAO y los objetivos que se pretenden acometer. Estos objetivos se pueden agrupar en los siguientes

objetivos generales: medición y registro de la contaminación atmosférica y construcción de una plataforma tecnológica para dar apoyo a la toma de decisiones.

Los objetivos específicos en relación con la medición y el registro de la contaminación atmosférica son los siguientes:

- Seleccionar la mejor localización geográfica para la instalación de un sistema de sensores de contaminación atmosférica y de variables meteorológicas en las zonas próximas al puerto. En este sentido se han tenido en cuenta los siguientes factores: el modelo de dispersión de la contaminación desde los buques, el perfil topográfico de la zona portuaria (incluyendo los elementos constructivos), la densidad de la población residente en torno al área portuaria, las estaciones de medida de contaminación/meteorológicas existentes.
- Coordinar la puesta en marcha de la red de sensores con objeto de:
 - Realizar mediciones y registrar los niveles de contaminación y partículas.
 - Realizar mediciones y registrar los niveles de ruido.
 - Efectuar mediciones y registrar el comportamiento de las variables atmosféricas.

Los objetivos específicos en relación a la construcción de la plataforma tecnológica para dar apoyo a la toma de decisiones son los siguientes:

- Diseñar e implementar una base de datos para la monitorización, gestión y análisis de datos registrados por el sistema de sensores.
- Desarrollar un Panel Interactivo de Control para la dar apoyo a la toma de decisiones que permita la visualización de los datos recopilados de la red en tiempo real y su análisis interactivo. Ello permitirá generar informes mensuales de seguimiento de las variables analizadas en base a los requisitos establecidos en el contrato firmado entre la Autoridad Portuaria de las Illes Balears y la Universidad de las Islas Baleares.

Se contará con el apoyo técnico del Servicio de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección de la Universidad de las Islas Baleares.

1.2. La normativa aplicable a Red SmartsensPORT-MAO

La contaminación generada por la actividad humana es uno de los problemas medioambientales más serios de la humanidad en la actualidad, siendo la **contaminación atmosférica** la que produce mayor impacto incidiendo tanto sobre la salud de las personas

como sobre los ecosistemas. Los estudios de la Organización Mundial de la Salud inciden en los efectos negativos de la contaminación y muestran su estrecha relación con la salud humana. En este sentido, tanto Europa como España tienen legislaciones específicas para regular los valores permitidos de cada uno de los diferentes contaminantes atmosféricos, tanto para reducirlos como para imponer niveles máximos de exposición.

La Unión Europea aprobó 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 comunidades autónomas deben realizar 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) ésta 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 Maó y los valores obtenidos a partir de los sensores de red SSP-M. Estas variables y su descripción de ellos se recoge en la Tabla 1 (fuente Conselleria de Medio Ambiente, Govern de les Illes Balears).

Tabla I. Principales variables utilizadas en los informes de calidad del aire del Govern de les Illes Balears. Fuente: www.caib.es

Contaminante	Descripción	Origen	Efectos	Límites
PM₁₀	Partículas con diámetro menor a 10 µm	motores de combustión, centrales térmicas, solidos suspendidos, intrusiones saharianas	Problemas respiratorios, erosión de edificios	Valor medio diario: 50 µg/m³ Valor medio anual: 40 µg/m³
SO₂	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: 125 µg/m³
NO	Gas tóxico e incoloro que reacciona con el ozono produciendo NO ₂	Motores de combustión, industria química y incendios forestales	Lluvia ácida, tóxicos para la salud y los seres vivos	Valores regulados por concentración NO ₂
NO₂	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: 200 µg/m³ Valor medio anual: 40 µg/m³
CO	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: 10 mg/m³
O₃	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 180 µg/m³
Benceno	Producto volátil y de olor desagradable, disolventes orgánicos	Motores combustión, industria química, gasolineras	Cancerígenos según concentraciones	Valor medio anual: 5 µg/m³

Así pues, la red SSP-M deberá diseñarse e implementarse para dar cumplimiento a la normativa vigente de aplicación, monitorizar el seguimiento de las variables seleccionadas y permitir la generación de avisos en caso de superación de umbrales. En este sentido, el equipo de autores del presente informe aconseja ceñirse a las variables de contaminación imprescindibles y estrechamente ligadas a la actividad de cruceros pues esta es la

motivación de la red de medida. En el apartado 3 se recogen los contaminantes y variables imprescindibles para que sean monitorizados por la red.

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.

Cabe decir que aunque la ciudad de Maó dispone de un ordenamiento específico recogido en la ordenanza municipal reguladora del ruido y las vibraciones: "NORMES PARTICULARS RELATIVES A LA PROTECCIÓ DE L'ATMOSFERA DAVANT LA CONTAMINACIÓ PER RENOUS I VIBRACIONS", no se dispone de memoria de contaminación acústica de la ciudad pues solo se realizan acciones de medida cuando se registran denuncias o se realizan inspecciones de oficio. Así pues, no se disponen de datos de contaminación acústica previas a la instalación de la red propuesta.

Debe tenerse en cuenta 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 tipos 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.		

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 estos serán los objetivos acústicos establecidos a vigilar en toda la zona portuaria.

1.3. Las áreas de influencia

Para la valoración de las zonas portuarias del puerto de Maó se han definido dos 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. 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 mediante una escala de colores y la distancia en metros.

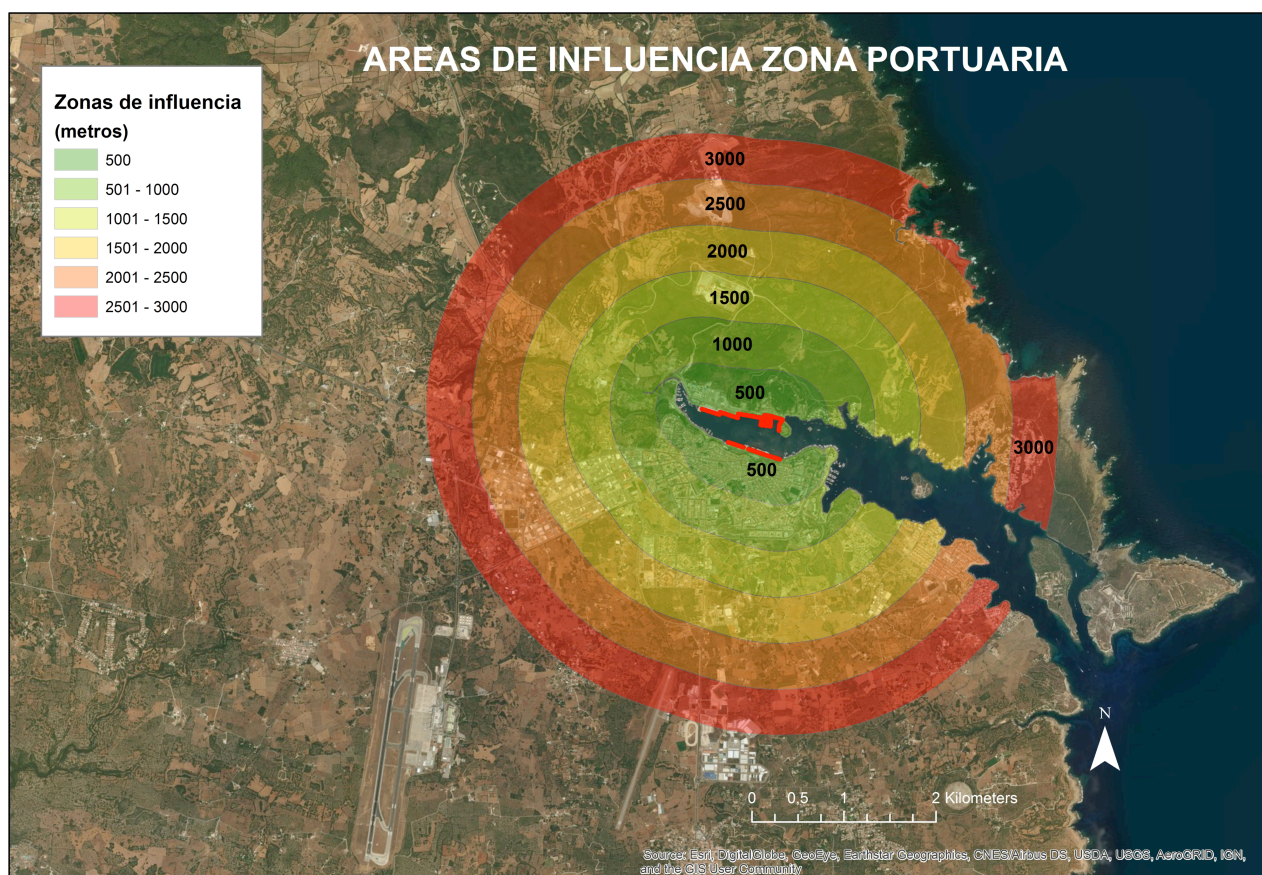


Figura 1. Definición de las zonas principales de atraque y representación de las zonas de influencia de cada una de ellas en función de las distancia a cada una de las zonas de atraque.

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-M.

1.4. Las estaciones de medida existentes

Con la idea de integrar la red SSP-M 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 en la entrada de datos en los modelos de simulaciones.

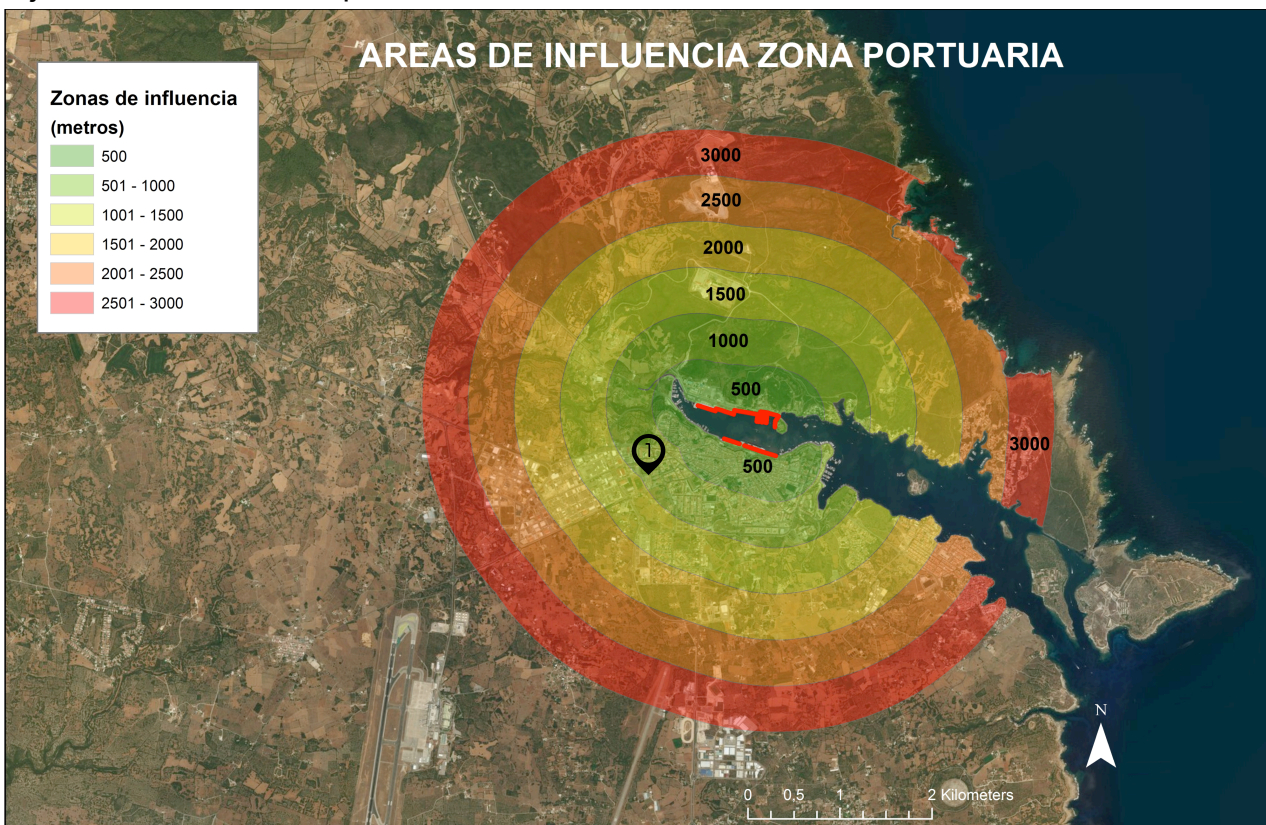


Figura 2. Distribución de estaciones de medida ambiental dentro de las áreas de influencia definidas: (1) Estación "Pous".

La estación representada en la Figura 2 se sitúa a partir de la información publicada en el enlace (<http://www.caib.es/sacmicrofront/contenido.do?idsite=145&cont=3261>). La situación de la estación se establece debido a la existencia de la central térmica "Port de Maó". Esto nos lleva a tener en cuenta que los datos de dicha estación tendrá un impacto relativo a las emisiones principalmente de la central. En este sentido, los autores suponen, a partir de los datos de propiedad de la estación, que los datos de estas estaciones están relacionados principalmente con la presencia de la central térmica y que van a ser útiles a la hora de establecer históricos a largo plazo de la presencia de contaminantes de diferentes fuentes en la zona portuaria.

La estación “Pous”, indicada como (1) en la Figura 2, realiza el seguimiento de las variables: SO₂, NO, NO₂, O₃, PM₁₀, Velocidad del viento, Dirección del viento y Temperatura media.

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: SO₂, NO, NO₂, CO, O₃, PM₁₀, Benceno (BEN), Tolueno (TOL), Xileno (XIL), Plomo (PB) y otros hidrocarburos aromáticos policíclicos. Cabe decir que esta estación móvil no dispone de ninguna campaña realizada fuera de la Isla de Mallorca.

2. Sobre la fuente de contaminantes y ruido

En el área de cobertura de la red SSP-M se han determinado tres fuentes principales tanto de contaminantes atmosféricos como de contaminantes acústicos: la central térmica, la descarga y transporte de combustible y las actividades portuarias. 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 que no se ha realizado ninguna campaña documentada fuera de la Isla de Mallorca. Por el contrario, la estación de Pous tiene registros históricos des de el año 2002 disponibles.
- Desde el punto de vista de contaminación acústica, no se han publicado valores por parte de instituciones públicas de referencia en la zona.

2.1. El modelo de la fuente de contaminantes

El Puerto de Maó incluye entre sus actividades la descarga de combustibles lo que da lugar a la generación de partículas de diferentes tamaños que son dispersados en base a las condiciones meteorológicas. En este sentido, debemos recordar que la mayor dispersión es producida en el atraque de los buques de fuel-oil por parte de los motores del buque que atraca. También debemos recordar 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 del atraque. Este hecho convierte a los buques

atracados en una fuente de contaminantes extra sobre la zona. En el caso del puerto de Maó debemos considerar que las fuentes de contaminantes se generas a diferentes alturas: partículas procedentes de la descarga de materiales realizadas prácticamente ras del suelo y los contaminantes procedentes de las chimeneas de los buques que son dispersadas a gran altura.

Con el objetivo de aportar conocimiento relevante para el diseño de la red SSP-M se va a proceder a modelar la fuente de contaminantes a partir del análisis de la altura en la que los contaminantes son expulsados a la atmósfera. De las características técnicas de los buques se recoge tanto la altura como el calado en condiciones de carga nominales. Se estima al igual que en el puerto de Palma 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 establecido una altura de lanzamiento de contaminantes de 60 metros.

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 la concentración 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 puerto de Alcudia 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 una velocidad 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 estable: Característica de las noches, especialmente en invierno en condiciones anticiclónicas.

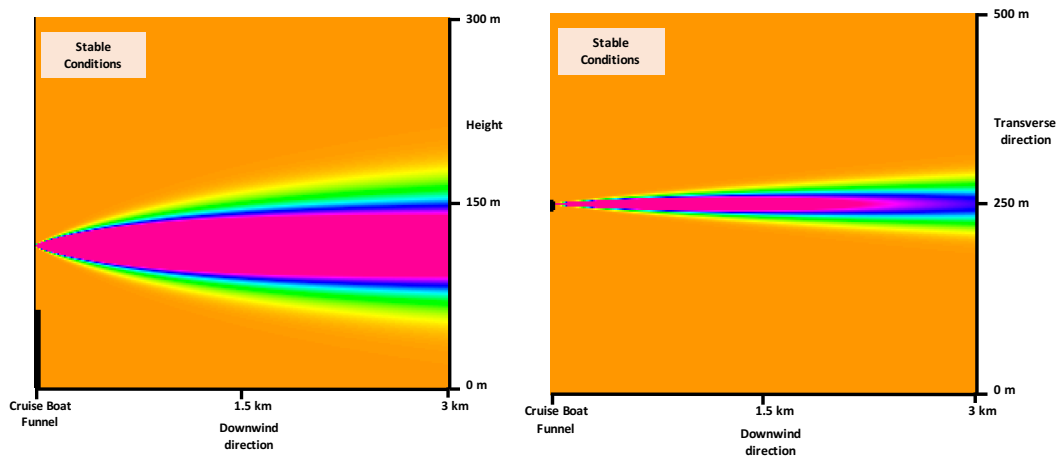


Figura 4. Concentración de contaminantes según el modelo de penacho gaussiano procedente de un buque con características geométricas y de emisión estándar en condiciones de capa límite atmosférica estables.

- 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.

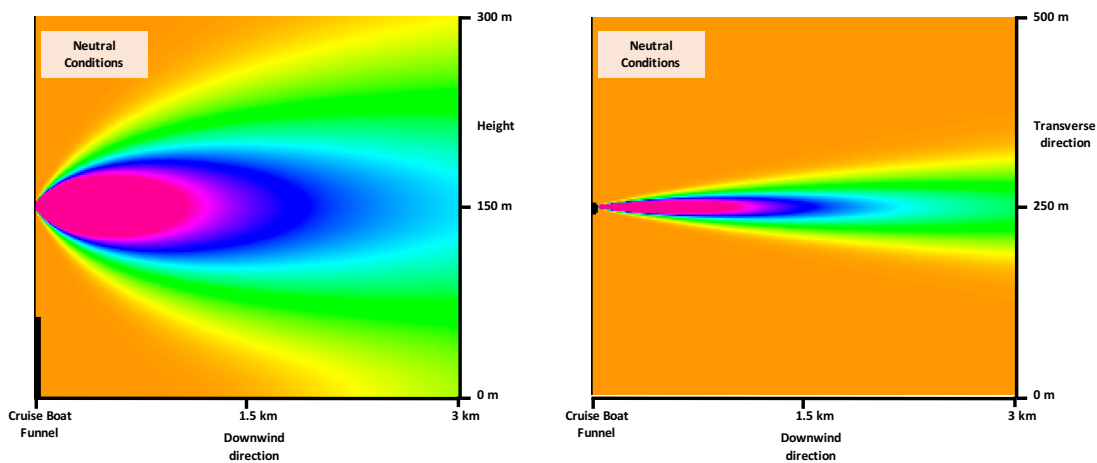


Figura 5. Concentración de contaminantes según el modelo de penacho gaussiano procedente de un buque con características geométricas y de emisión estándar en condiciones de capa límite atmosférica estables.

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

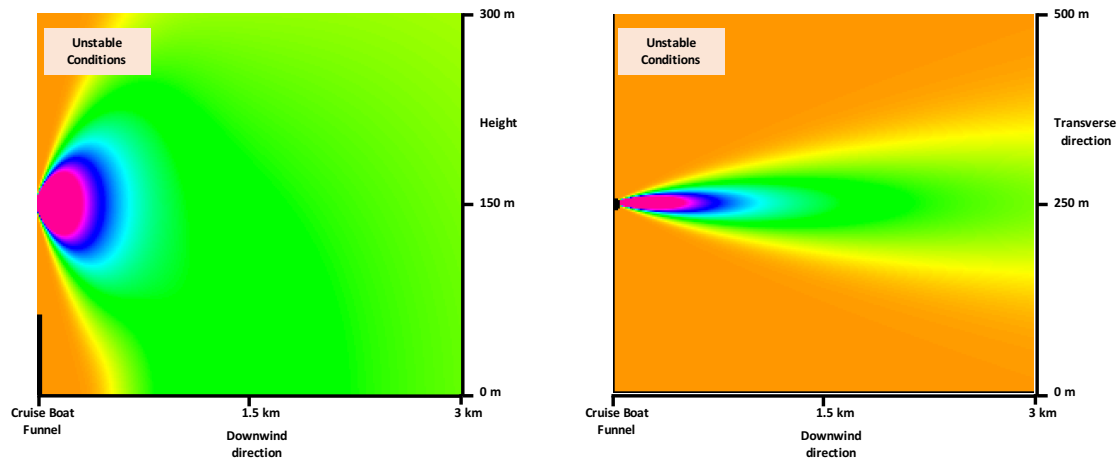


Figura 6. Concentración de contaminantes según el modelo de penacho gaussiano procedente de un buque con características geométricas y de emisión estándar en condiciones de capa límite atmosférica estables.

El modelo gaussiano aplicado a tres condiciones de estabilidad ilustrativas muestra que la emisión de contaminantes de una chimenea estándar de buque 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 6). 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 generación de dichos contaminantes.

2.2. El perfil arquitectónico de las áreas de influencia

Además de la altura del punto de salida de dichos contaminantes a la atmósfera, es vital tener en cuenta el perfil de la zona colindante a la fuente para entender las capacidades de dispersión de partículas y contaminantes. En la Figura 6 se modela el perfil arquitectónico de la ciudad de Maó a través de la información catastral del número de plantas de cada edificio.

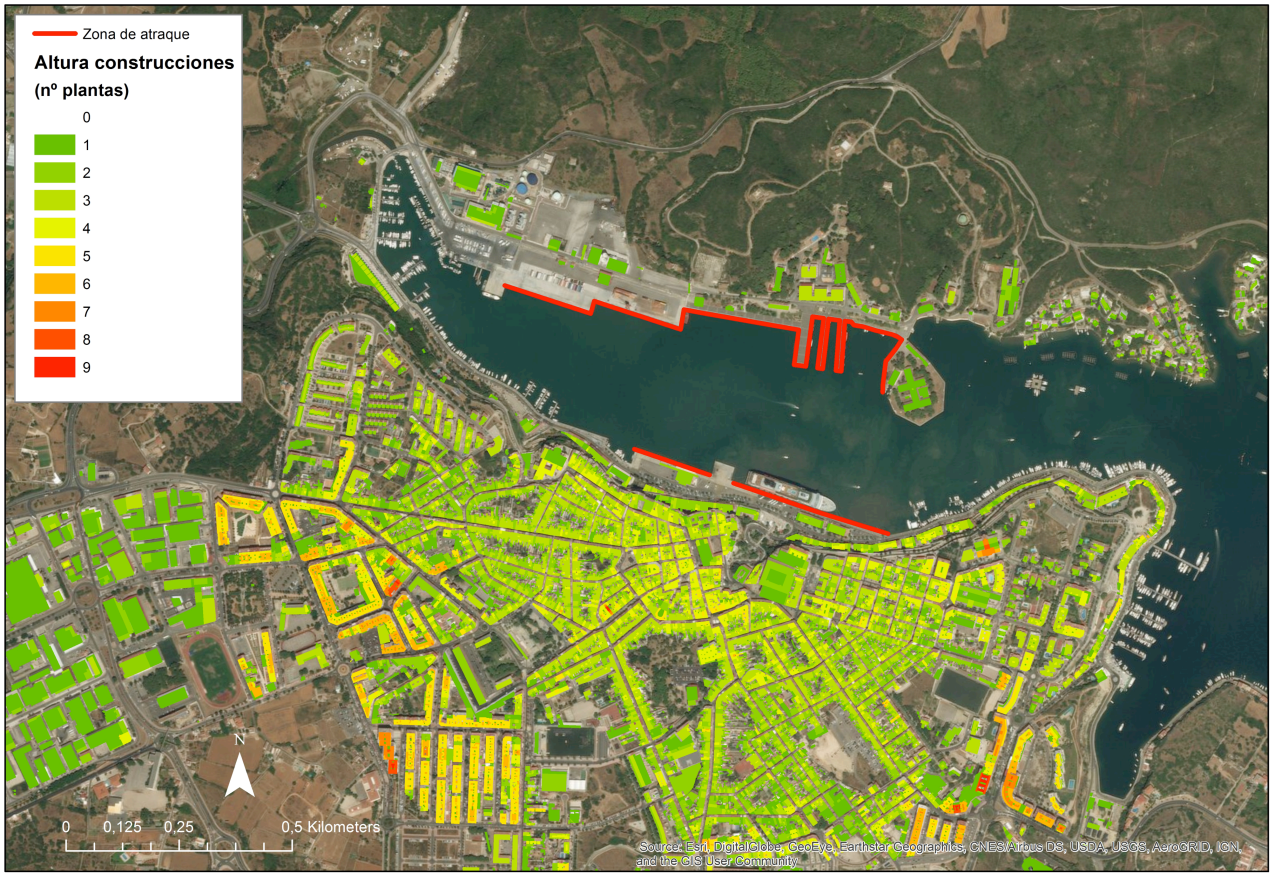


Figura 6. Indicación de la altura en número de plantas de cada uno de los registros catastrales mediante color. Indicación de las zona de atraque definidos para el presente estudio.

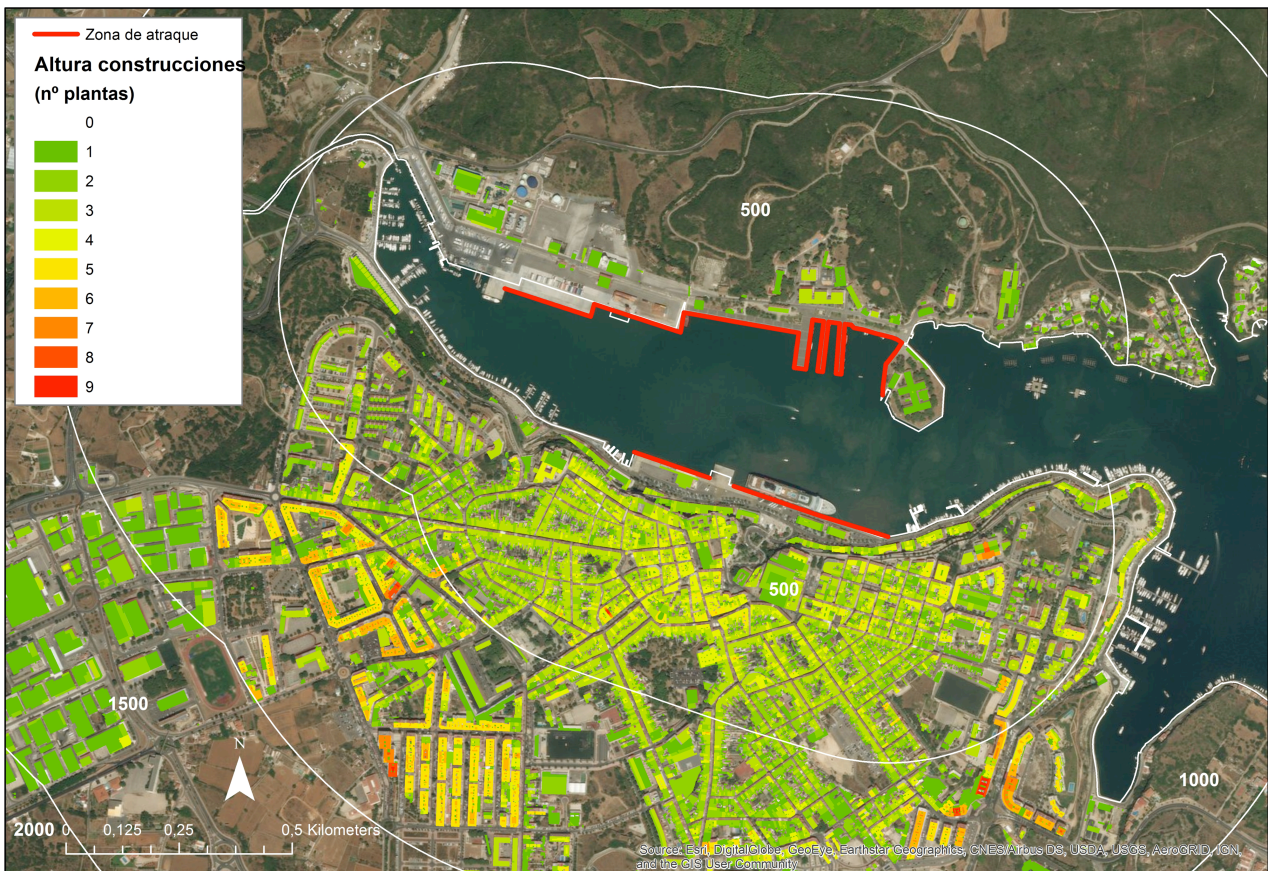


Figura 7. Detalle del perfil arquitectónico cercano a la zona portuaria con indicación de las zonas de influencia mediante líneas continuas blancas.



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

A través de este modelado se establece que la zona de la fachada marítima cercana a la zona portuaria no parece ejercer una barrera arquitectónica y por tanto no van a ser tenidas en cuenta en el proceso de creación del mapa de contaminación real de la zona.

La propuesta de red SSP-M propone 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 puerto de Maó será considerada a la hora de determinar la posición óptima de las estaciones de medida de contaminantes. En este sentido, se considerará que los niveles de contaminantes tendrán una repercusión más elevada si la población afectada es mayor.

No se dispone de información en detalle de la distribución geográfica de la población en la zona potencialmente afectada por las actividades de la zona portuaria. Las unidades geográficas de análisis de datos demográficos disponibles poseen un tamaño demasiado grande para permitir un análisis en detalle del poblamiento junto al puerto (núcleos de población, unidades censales). Por este motivo, se ha considerado adecuado asimilar el número de alturas de los edificios de la ciudad de Maó representada en las Figuras 6, 7 y 8, a la concentración de población. Así, aquellas zonas con alturas mayores y edificios con mayores superficies se considerarán zonas de mayor población potencial. Así pues, a la hora de valorar la importancia de los valores de contaminantes será necesario poder modelar adecuadamente las zonas de influencia con un número adecuado de estaciones de monitorización.

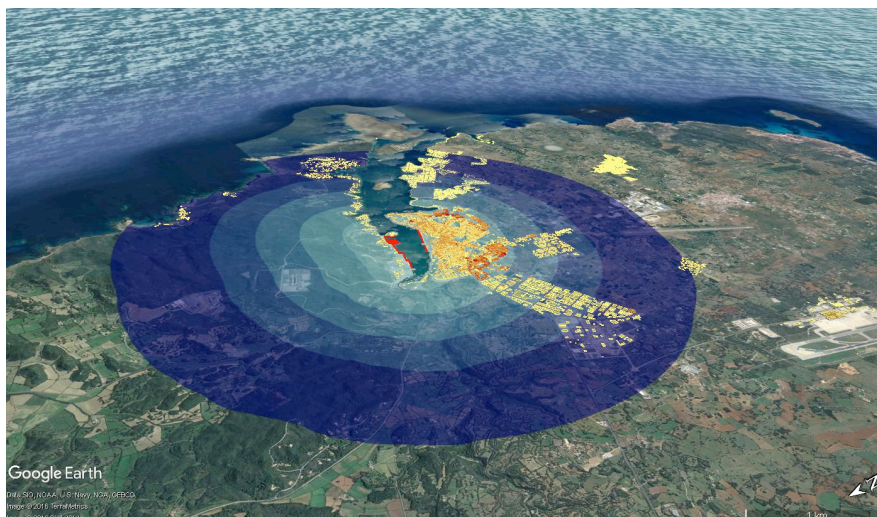


Figura 9. Superposición de la distribución del número de habitantes por manzanas con las zonas de influencia combinada de las zonas de atraque definidas.

A modo indicativo se incluye un mapa de población correspondiente al año 2015 de los núcleos de población existentes a partir del padrón de población y nomenclátor del Instituto Nacional de Estadística (Figura 10).

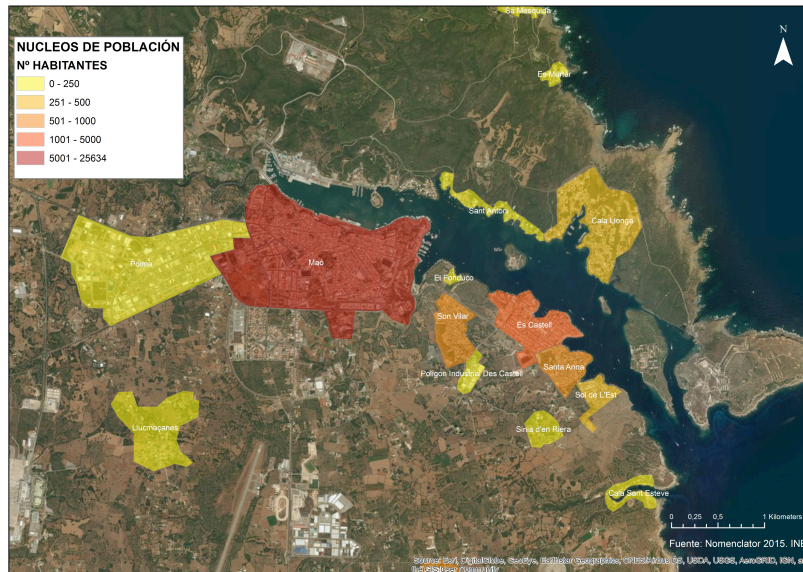


Figura 10. Núcleos de población existentes a partir del padrón de población y nomenclátor del Instituto Nacional de Estadística.

2.4. La situación atmosférica dominante

Las condiciones meteorológicas condicionan la dispersión de contaminantes como se ha determinado en el modelo de dispersión de penacho gaussiano realizado anteriormente. No solo es importante la dirección del viento dominante en las capas bajas sino también 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, y por tanto, es un parámetro crucial para la determinación de los niveles de contaminación en superficie, tal y como ya contempla el modelo gaussiano.

Las características peculiares y singulares del Puerto de Maó determinan en gran medida los flujos locales a lo largo de los más de 6 km de puerto natural. Por una parte, la orientación desde sureste curvando hacia oeste, y por otra los pronunciados desniveles con cotas alcanzando los 50 m de altura a unas escasas decenas de metros de la zona portuaria, caracterizan el régimen de vientos a niveles cercanos al nivel del mar. Sin embargo, en alturas relevantes para la dispersión de contaminantes derivados de actividad portuaria (más de 40-50 m), la estimación de las características de los flujos dispersivos es menos local y más determinada por flujos generales.

La ausencia de un histórico de medidas oficiales de vientos en la zona portuaria impide un análisis empírico de las características climáticas del viento en la zona portuaria como base sólida para una representación fiable de la dispersión de contaminantes derivada de las actividades comerciales en el Puerto de Maó. La instalación de una estación con

sensores meteorológicos en la zona portuaria aliviaría esta falta de datos experimentales directos y permitiría la modelización y predicción en tiempo real de la dispersión de contaminantes bajo el régimen de vientos observado.

Ciertamente, el Aeropuerto de Menorca dispone de una estación meteorológica de AEMET que registra valores cada 10 minutos de los parámetros meteorológicos estándar. La estadística sobre 20 años muestra un viento dominante en esa localización de componentes Norte a Noreste, junto con Suroeste. A pesar de que Menorca desarrolla también brisas costeras durante la estación cálida del año, estas componentes dominantes se asocian a flujos de mayor escala que alcanzan la isla. En particular, la entrada de la Tramuntana y Gregal canalizados desde el sur de Francia y norte de Italia son populares en la zona. Este hecho hace que las medidas en el Aeropuerto tengan previsiblemente una covarianza mayor con los vientos presentes en la zona portuaria.

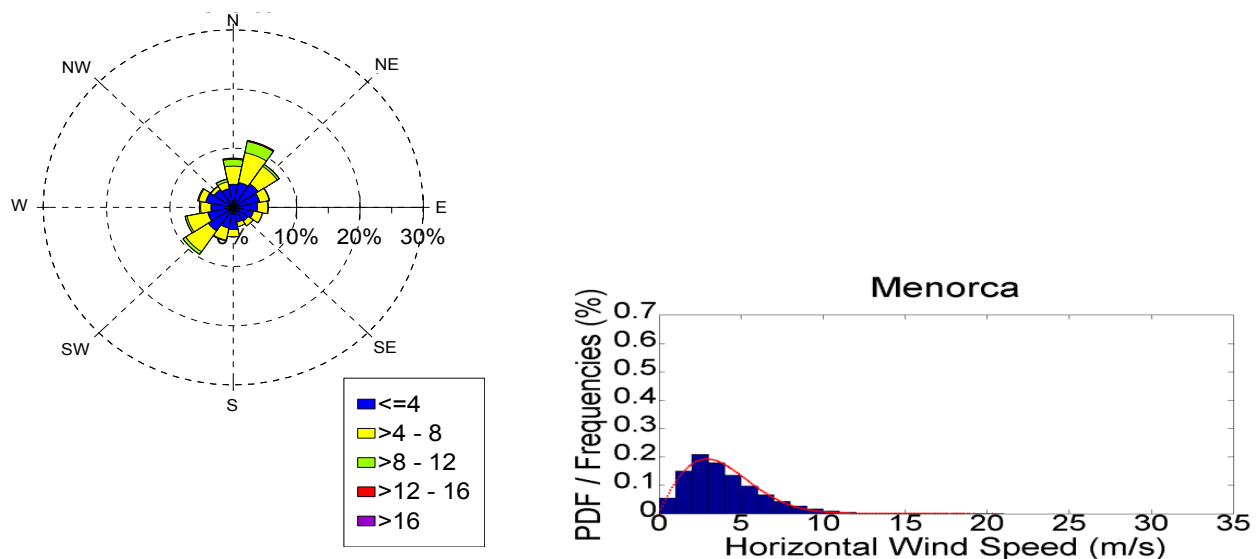


Figura 10. Rosa de vientos (Izda) y distribución de frecuencias de velocidad del viento (Dcha) para medidas 10 minutales tomadas en estación AEMET del Aeropuerto de Menora en el periodo 1989-2008.

Estas condiciones coinciden con las estimaciones de **viento reinante del Suroeste** indicado por *Autoritat Portuària de Balears* en su informe anual 2015 en Maó.

Una fuente adicional de información es la climatología de vientos simulados diariamente por el modelo mesoescalar de investigación MM5 operado por el Grupo de Meteorología de la UIB. Este modelo simula diariamente las condiciones meteorológicas sobre el archipiélago Balear a una resolución de 2.5 km. Se ha tomado el punto de simulación correspondiente al Puerto de Maó y se ha analizado la correspondiente rosa de los vientos simulada.

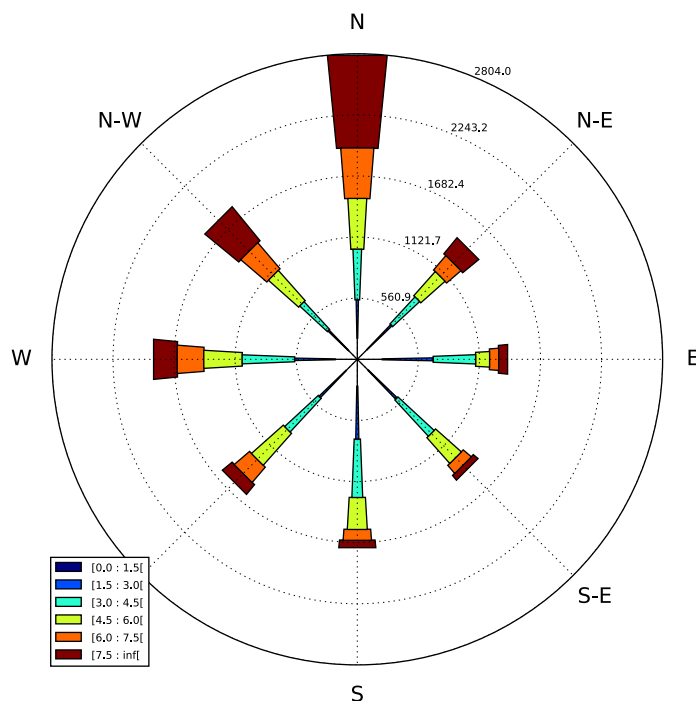


Figura 11. Rosa de los vientos extraída del modelo operacional de investigación MM5 sobre el punto de simulación del Port de Maó. La escala de colores indica categorías de velocidad del viento (en m/s). La extensión radial de las espas indica el número de registros en esa dirección y categoría de velocidad.

Los resultados numéricos derivados del modelo de predicción muestran una distribución con bastante isotropía, aunque claramente dominada por flujos del norte (Tramuntana) y en general oestes. Aunque los resultados derivados del modelo numérico adolecen de la incapacidad de simular explícitamente ciertos mecanismos locales de canalización del flujo debido a su resolución espacial de 2.5km, presentan un escenario de vientos en la zona portuaria compatible con las observaciones en el Aeropuerto de Menorca y las estimaciones de la Autoridad Portuaria de Balears en su informe anual 2015: componentes del oeste, especialmente suroeste, y componentes norte y noreste.

En cualquier caso, el contexto de ausencia de registros representativos *in-situ* hace necesaria la instalación de instrumental meteorológico en el Puerto de Maó. En cuanto a la selección de localizaciones de instrumental para la medida de niveles de contaminación originada de las actividades portuarias en Maó, se debe poner énfasis especial en las poblaciones al este del puerto: Son Vilar, Es Castell y Santa Ana; y la zona centro y casco antiguo de Maó. En este último caso, la fuerza superior de los vientos del norte, junto con su mayor grado de turbulencia, favorecen la dispersión más eficiente de contaminantes, reduciendo por tanto los niveles de concentración puntual bajo condiciones de Tramuntana.

3. Sobre las estaciones de medida

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

3.1. El sistema de instrumentación

Se propone disponer de estaciones de medición autosuficientes y conectadas al servidor central para el tratamiento de los datos. Cada estación debe ser 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 posterior 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 generados por buques. Las variables de contaminantes a medir se recomienda que sean:

- SO₂
- NO, NO₂
- CO
- O₃
- PM₁₀ , PM_{2,5} (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 y 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-MAO se propone que se integre teniendo en cuentas los recursos de comunicación del puerto de Maó. En este sentido, dentro de la zona portuaria no se dispone de ninguna red de datos existente. Así los autores del informe recomiendan implementar 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 12 muestra la propuesta de arquitectura de red que los autores del presente informe proponen para implementar el servicio SSP-M.

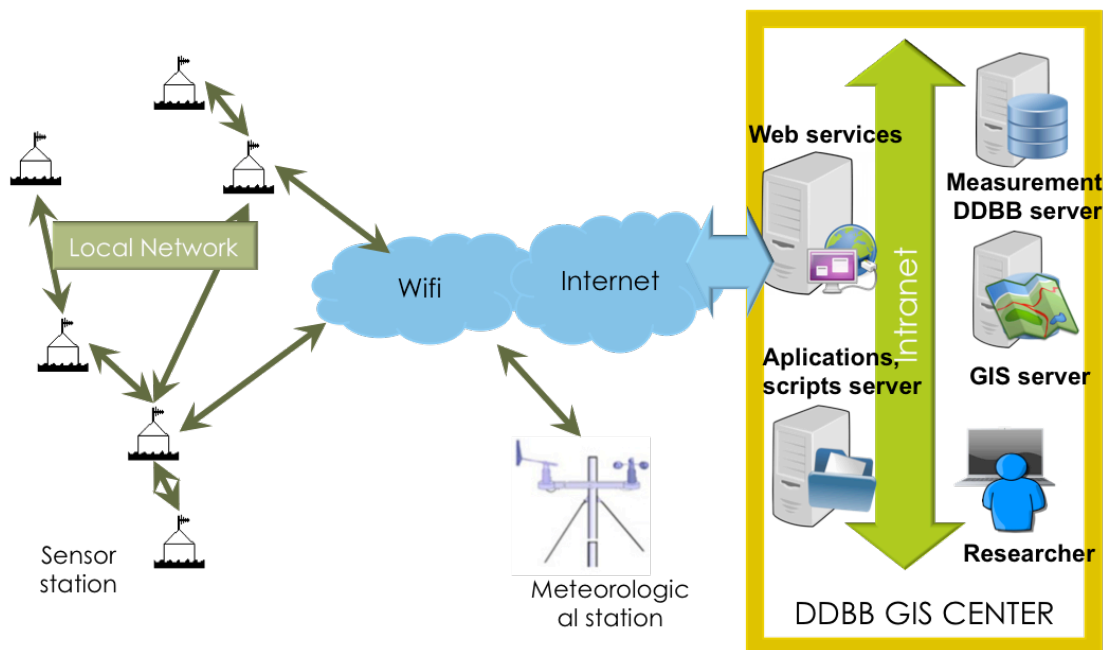


Figura 12. Arquitectura propuesta para la red SmartSensPort-MAO

La arquitectura propuesta está formada por la red de estaciones de monitorización que mediante la propuesta de infraestructura de red local, identificada como “Local Network” en la arquitectura propuesta, permitirá conectar cada estación al centro DDBB GIS situado en la Universidad de las Islas Baleares a través del Servicio 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 las estaciones que deberían incluirse en la propuesta SmartSensPORT-MAO se presenta sobre la Figura 13. Se detallan la necesidad de 4 estaciones que a criterio de los autores se han estimado teniendo en cuenta el modelado de población y de perfil arquitectónicos de la zona, así como los resultados de simulación atmosférica.

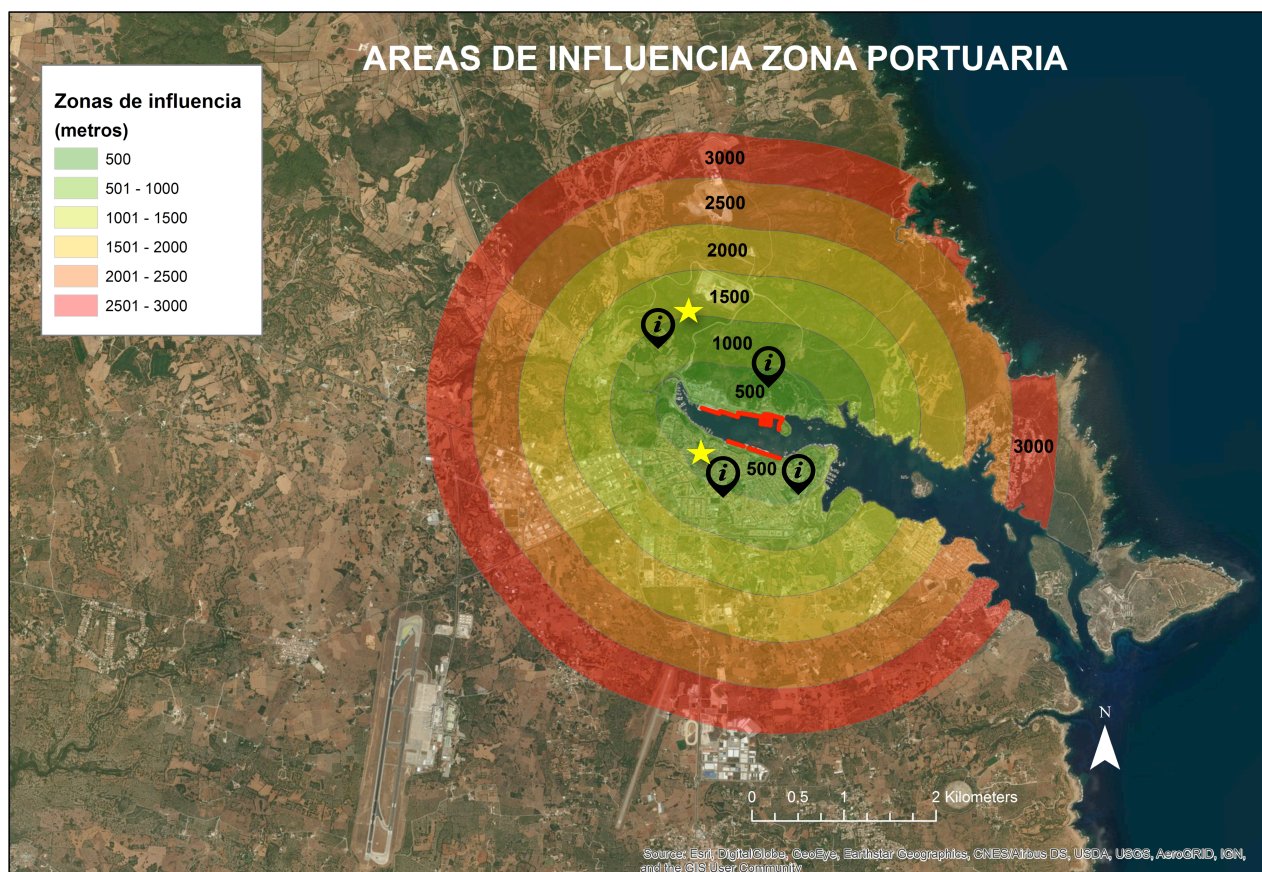


Figura 13. Localización aproximada de las estaciones de la red SmartSensPort-MAO

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 4 estaciones deben ser capaces de medir las variables de contaminación y de niveles de ruido. Además se propone que las variables meteorológicas sean monitorizadas a partir de una distribución de estaciones diferente aprovechando las estaciones de medida de contaminación. Así:

- Todas las estaciones medirán las variables de temperatura, humedad y presión atmosférica.
- Solo 2 estaciones medirán la fuerza y dirección de viento. Estas se proponen que sean las señaladas en la Figura 13 con una estrella.

5. Sobre el dato generado

Los datos generados por la red SmartSensPORT-MAO se registrarán de forma continua e interactiva en la base de datos ubicada en un servidor de la Universitat de les Illes Balears. 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 pDM.

Este centro recolector de datos ha sido presentado en la propuesta de arquitectura de la red esquematizada en la Figura 12.

5.1. La integración con el servidor GIS-UIB

La integración de la red SSP-M requerirá la colaboración entre el equipo del Servicio de 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 medidas 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 (~ 5 s) 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 periodos T_i serian una alternativa aceptable.

Los componentes dominantes del viento, y los resultados esquemáticos de la aplicación del modelo gaussiano en condiciones atmosféricas prototípicas del puerto de Maó sugieren poner especial atención en una zona cónica centrada sobre las zonas de amarre de las embarcaciones y 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.

Referencias

- 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.