

MÁSTER UNIVERSITARIO EN NÁUTICA Y TRANSPORTE MARÍTIMO

TRABAJO FIN DE MÁSTER

***CONTROL Y REDUCCIÓN DE LOS GASES DE EFECTO
INVERNADERO GENERADOS EN EL PUERTO DE
BILBAO APLICANDO LA TECNOLOGÍA DIGITAL***

Estudiante	<i>Calvache, Torres, Pedro</i>
Director	<i>Martínez, Lozares, Aitor Tomás</i>
Departamento	<i>Ciencias y Técnicas de la Navegación, Máquinas y Construcciones Navales</i>
Curso académico	<i>2020/2021</i>

Bilbao, 07 de junio de 2021

ÍNDICE

RESUMEN.....	5
LABURPENA.....	6
SUMMARY	7
LISTA DE FIGURAS	8
ACRÓNIMOS.....	10
MEMORIA	
INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO	13
BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO.....	13
ESTADO DEL ARTE.....	14
DESARROLLO DEL TRABAJO	
1. PUERTOS MARÍTIMOS	16
2. ACTIVIDADES PORTUARIAS CONTAMINANTES	17
2.1. OPERACIONES RELACIONADAS CON LA MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS.....	17
2.2. OPERACIONES LOGÍSTICAS	19
2.3. CRUCEROS	19
3. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LOS PUERTOS MARÍTIMOS.....	21
3.1. CONTAMINACIÓN DEL TRANSPORTE MARÍTIMO.....	22
3.2. REGULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS	23
3.3. CONTROL DE EMISIONES EN PUERTO PRODUCIDAS POR LOS BUQUES	28
4. PUERTO DE BILBAO.....	29
4.1. TRATAMIENTO DE RESIDUOS GENERADOS POR LOS BUQUES.....	31
4.2. CALIDAD DEL AIRE EN EL PUERTO DE BILBAO	32
4.3. RED DE ESTACIONES DE CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE	34
5. TECNOLOGÍA DIGITAL PARA EL CONTROL Y LA REDUCCIÓN DE LOS GASES.....	37
5.1. DRONES PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE.....	37
5.2. GEMELO DIGITAL	39

5.3. TRUCK PORTAL	41
5.4. DIGITAL PORT	42
5.5. RED DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE.....	44
6. CONCLUSIONES.....	48
7. BIBLIOGRAFÍA.....	51

RESUMEN

La presente investigación hace un recorrido por la temática de las emisiones de gases de efecto invernadero producidas en puerto, con el objetivo de reducir estas emisiones se realiza una búsqueda de proyectos que empleen la tecnología digital y que tengan como aplicación el control o reducción de estos gases.

Para el desarrollo de esta investigación, se ha realizado una recopilación de información de otros puertos que están beneficiándose del uso de esta tecnología digital.

Se realizará un estudio del puerto de Bilbao, centrándose en sus actividades portuarias y en su logística. Dentro de la amplia posibilidad de aplicaciones tecnológicas, se centrará en las aplicaciones que sean más adecuadas para su posible uso en el puerto de Bilbao, teniendo en cuenta sus características, sus carencias y la viabilidad del proyecto.

Con la realización de este trabajo, se busca obtener unos resultados favorables para la implantación de esta tecnología en el puerto. Por lo tanto, se tratará de llegar a la conclusión que con la implantación de esta tecnología se obtendrá un mayor control y en alguna de ellas la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en el puerto de Bilbao.

Palabras Clave: Gases de efecto invernadero - Tecnología digital - Contaminación - Emisiones

LABURPENA

Ikerketa hau portuetako berotegi efektuko gasen isurketetan oinarrituta dago. Helburua emisio horiek murriztea da, beraz, gas digitala kontrolatzeko edo murrizteko teknologia digitala erabiltzen duten proiektuak bilatuko dira.

Ikerketa hau garatzeko, ikerketa digital bat egin da teknologia digital honen erabilera aprobetxatzen ari diren beste portu batzuetan.

Bilboko portuaren azterketa egingo da, portuko jarduera eta logistika ardatz hartuta. Aplikazio teknologikoen eskaintza zabalaren barruan, Bilboko portuan erabiltzeko aplikazio egokienetan oinarrituko da, bere ezaugarriak, gabeziak eta proiektuaren bideragarritasuna kontuan hartuta. Lan honen helburua portuan teknologia hori ezartzearen aldeko emaitzak lortzea da. Hori dela eta, ondorioztatzen saiatuko da teknologia hori ezartzeak kontrol handiagoa lortuko duela eta, zenbait kasutan, berotegi efektuko gasen isurketak murriztuko dituela Bilboko portuan.

Hitz gakoak: Berotegi efektuko gasak - Teknologia digitala - Kutsadura - Isuriak

SUMMARY

The present research makes a round through the theme of the greenhouse gas emissions produced in port, with the objective of reducing these emissions a search will be carried out on projects that use the digital technology and whose application is the control or reduction of these gases.

For the development of this research, a collection of information has been carried out of the information from other ports who are benefiting from the use of this digital technology.

A study of Bilbao port will be carried out, focusing on its port activities and logistics. In the wide possibility of technological applications, will focus on the applications that are most suitable for possible use in the port of Bilbao, taking into account its characteristics, its shortcomings and the viability of the project.

With the realization of this investigation, it seeks to obtain favorable results for the implementation of this technology in the port. Therefore, it will be tried to reach the conclusion that the implementation of this technology will obtain greater control and in some of them the reduction of greenhouse gas emissions in the port of Bilbao.

Keywords: Greenhouse gases - Digital technology - Pollution - Emissions

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Principales Operaciones Portuarias mientras el buque permanece en el puerto.
Fuente: Operaciones y Servicios Portuarios Nivel 1
- Figura 2.** Certificado internacional de prevención de la contaminación atmosférica para motores (EIAPP). Fuente: Boletín Oficial del Estado
- Figura 3.** Zonas de Control de Emisiones y futuras zonas ECA. Fuente: Dávila, L
- Figura 4.** Conexiones marítimas del puerto de Bilbao. Fuente: Desarrollo y estrategia del Puerto de Bilbao
- Figura 5.** Conexión directa a la red de autopistas desde el Puerto de Bilbao. Fuente: Desarrollo y estrategia del Puerto de Bilbao
- Figura 6.** Servicios ferroviarios y red de puertos secos. Fuente: Desarrollo y estrategia del Puerto de Bilbao
- Figura 7.** Ubicación de las instalaciones receptoras de Tradebe (Limpiezas Nervión). Fuente: Bilbao Port
- Figura 8.** Estación Meteorológica Automática y tres cabinas fijas de medición. Fuente: Bilbao Port
- Figura 9.** Cabina ubicada en Las Arenas y en Santurtzi. Fuente: Bilbao Port
- Figura 10.** Cantidades en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medias diarias y horarias de PM10 y SO₂. Fuente: Bilbao Port
- Figura 11.** Dron Skeldar V-200. Fuente: EMSA
- Figura 12.** Ejemplo de gemelo digital. Fuente: Naucher Global
- Figura 13.** Plataforma Truck Portal. Fuente: Port Montreal
- Figura 14.** Digital Port Simulador OPE, evolución de la ocupación en los muelles. Fuente: Puerto de Algeciras
- Figura 15.** Kunak Air Pro, instalado. Fuente: Kunak
- Figura 16.** Huecos disponibles y Cartuchos (Tecnología GasPlug). Fuente: Kunak
- Figura 17.** Arquitectura de los datos. Fuente: Kunak
- Figura 18.** Panel de control de la plataforma web Kunak AIR Cloud. Fuente: Kunak

TABLAS

Tabla 1. Número de pasajeros por Autoridad Portuaria año 2019 y 2020. Fuente: Puertos del Estado

Tabla 2. Niveles de SO_x permitido dentro y fuera de una ECA. Fuente: IMO SO_x

GRÁFICAS

Gráfica 1. Emisiones estimadas de CO₂ en millones de toneladas por año. Fuente: Factor

ACRÓNIMOS

(APBA) Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras

(C.C.E.) El Centro de Control de Emergencias

(CDTI) Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial

(COV) Compuestos orgánicos volátiles

(ECA) Zonas de control de las emisiones

(EEDI) Índice de eficiencia energética de proyecto

(EEOI) Indicador operacional de la eficiencia energética

(EIAPP) Certificado internacional de prevención de la contaminación atmosférica para motores

(EMSA) Agencia Europea de Seguridad Marítima

(IAPP) Certificado Internacional para la prevención de la contaminación atmosférica

(IEE) Certificado Internacional de Eficiencia Energética

(NOX) Óxidos de Nitrógeno

(OMI) Organización Marítima Internacional

(PM1, PM2.5 y PM10) Partículas en suspensión por debajo de 1, 2.5 y 10 μm

(SEEMP) Plan de gestión de la eficiencia energética del buque

(SOx) Óxidos de azufre

MEMORIA

INTRODUCCIÓN

En la última década la demanda del transporte marítimo sigue en un continuo crecimiento. Más del 85% del comercio mundial se realiza por mar. Por desgracia, el sector marítimo genera una contaminación atmosférica importante. El transporte marítimo actualmente es responsable de aproximadamente 1000 millones de toneladas de CO₂ (2,5% de las emisiones globales). Además de emitir otros contaminantes atmosféricos, como los óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas en suspensión (PM₁, PM_{2.5} y PM₁₀). Estas emisiones contribuyen directamente al calentamiento global, que representa una de las mayores amenazas a la vida humana y la del resto de los seres que habitan el planeta. [1]

Como es sabido los puertos marítimos y fluviales son infraestructuras fundamentales para la economía de los países. Generan puestos de trabajo y dinamizan la economía a través del transporte de mercancías, las operaciones logísticas, la pesca y, en los últimos años, los viajes en crucero.

Pero esta actividad tiene una cara oculta, la contaminación del aire que generan los barcos. La medición de la calidad del aire en los puertos marítimos es, por tanto, un aspecto de interés. Y no solo por cuestiones de calidad ambiental. También por la mejora en la imagen pública que transmiten las autoridades portuarias que optan por buscar soluciones.

Estas soluciones han surgido en esta última década a través de los avances en la tecnología digital, que ha supuesto la aplicación de esta tecnología en los puertos. Es por ello que, en la búsqueda de mejorar la eficiencia portuaria y la competitividad de los puertos, son muchos los proyectos centrados en el uso de dichas tecnologías digitales. En este caso tecnología digital que tenga como objetivo el control y la reducción de los gases de efecto invernadero generados en puerto.

OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO

A lo largo del trabajo se quiere poner en conocimiento la situación actual en cuanto a la contaminación atmosférica. Principalmente, por la generada en el transporte marítimo en los puertos, específicamente en el puerto de Bilbao. Analizar este gran problema y conocer cuáles son las medidas que se pueden llevar a la práctica en el puerto.

El objetivo primordial es el de mostrar que existen actualmente herramientas útiles a través de la tecnología digital para controlar y reducir las emisiones en los puertos.

Se realizará un análisis de las medidas y aplicaciones detalladamente para explicar los beneficios que pueden ofrecer al puerto de Bilbao. Con el objetivo de buscar alternativas a este problema de contaminación y mejorar la imagen del mismo.

BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO

A lo largo de este trabajo se buscará aportar un conocimiento amplio sobre la contaminación atmosférica producida en las inmediaciones de los puertos, acercando de esta manera al lector a un tema interesante que cada vez tiene más importancia en la gestión de un puerto, ya sea por dar una buena imagen del puerto y resultar más llamativo para sus intereses o por que le importa y está comprometido con el medio ambiente de sus inmediaciones.

Además, se analiza las medidas que se están llevando a cabo en otros puertos considerados puertos 4.0 o puertos inteligentes, para el control y reducción de los gases de efecto invernadero producidos en el puerto.

Desde un punto de vista objetivo, se busca contribuir a las medidas ya tomadas por el Puerto de Bilbao para mitigar estos efectos, pero aplicando los beneficios que ofrece la tecnología digital en su uso para el control y reducción de estos gases.

ESTADO DEL ARTE

Para la realización de esta investigación, además de utilizar el buscador de Google, he utilizado la base de datos de la biblioteca de la universidad de la UPV/EHU, principalmente dos, Web of Science y Scopus.

En internet se han encontrado la mayoría de publicaciones sobre estudios que tratan sobre las emisiones en el sector portuario, además de tecnologías para el control y reducción de gases de efecto invernadero.

Cabe destacar que ha resultado de mucha utilidad la página web de la Organización Marítima Internacional, donde se encuentran los convenios y regulaciones sobre las emisiones de los buques.

DESARROLLO DEL TRABAJO

1. PUERTOS MARÍTIMOS

Los puertos marítimos y fluviales son infraestructuras fundamentales para la economía de los países.

En la Unión Europea, a través de la política de las autopistas marítimas o short sea shipping, ha incentivado desde hace muchos años el uso de este medio de transporte, pues entre otros factores, presenta unas mayores tasas de eficiencia económica y medioambiental, si se compara con la carretera.

El Sistema Portuario español de titularidad estatal está integrado por 46 puertos de interés general, gestionados por 28 Autoridades Portuarias, cuya coordinación y control de eficiencia corresponde al Organismo Público Puertos del Estado, órgano dependiente del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana y que tiene atribuida la ejecución de la política portuaria del Gobierno.

La importancia de los puertos como eslabones de las cadenas logísticas y de transporte viene avalada por las siguientes cifras: por ellos pasan cerca del 60% de las exportaciones y el 85% de las importaciones, lo que representa el 53% del comercio exterior español con la Unión Europea y el 96% con terceros países. [2]

Dada la importancia de los puertos marítimos en el desarrollo económico de un país, es indispensable que estén preparados ante los factores internos y externos que pueden afectar su funcionamiento a través de estrategias que les permitan tener una ventaja competitiva frente a los demás puertos. [3]

Los puertos comprenden un conjunto de instalaciones y servicios en donde se lleva a cabo el intercambio de mercancías de procedencia nacional e internacional. También son parte esencial de la cadena logística, ya que desempeña como nexo entre el transporte marítimo y el terrestre. [4]

La mayoría de los puertos realizan estudios acerca de cómo incrementar su productividad operativa y reducir su contaminación al medio ambiente.

2. ACTIVIDADES PORTUARIAS CONTAMINANTES

Las actividades portuarias abarcan todo un conjunto de comunicaciones, gestiones administrativas, autorizaciones, maniobras, servicios y actividades realizadas por y/o para un buque en el que influye la situación en que se encuentre el buque con respecto al puerto.

Las siguientes actividades portuarias generan contaminación en el puerto directamente o indirectamente.

2.1. OPERACIONES RELACIONADAS CON LA MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS

La manipulación de mercancías es la actividad más importante dentro de las que componen las operaciones portuarias y a la vez la que más contaminación genera, englobando desde el transporte marítimo al terrestre o viceversa, encuadrados en el concepto de maniobras o movimientos realizados por los medios de transporte. Las operaciones portuarias relacionadas con la manipulación de mercancías se dividen en tres etapas básicas: como son la llegada del buque a puerto, mientras el buque permanece en el puerto y el momento en que el buque abandona las aguas del puerto.

Llegada del buque al puerto

Cuando el buque llega a su correspondiente puerto se inician una serie de operaciones que dependerán de si se va a producir un atraque o un fondeo. Cuando el buque va a realizar un fondeo, las operaciones de llegada del buque a puerto finalizarían en el momento en el que el buque queda perfectamente anclado en las aguas de la Autoridad Portuaria.

Cuando el buque realiza la maniobra de atraque las operaciones necesarias serán la entrada del buque en puerto, atraque, amarre, recogida de residuos, y prestación de diversos servicios. En este caso intervendrán los prácticos para asesorar al capitán del buque en su maniobra de entrada a puerto, la empresa de remolque para ayudar al buque en las maniobras de atraque, la empresa de amarradores para dar los cabos del buque a los puntos de atraque (norais), la Autoridad Portuaria para controlar el atraque (hora de llegada, zona de atraque asignada, etc.), la empresa de recogida de residuos y la empresa consignataria. [5]

El buque permanece en el puerto

En este periodo cobran importancia las operaciones relacionadas con la manipulación de mercancías: Estiba/Desestiba y Carga/Descarga del buque.

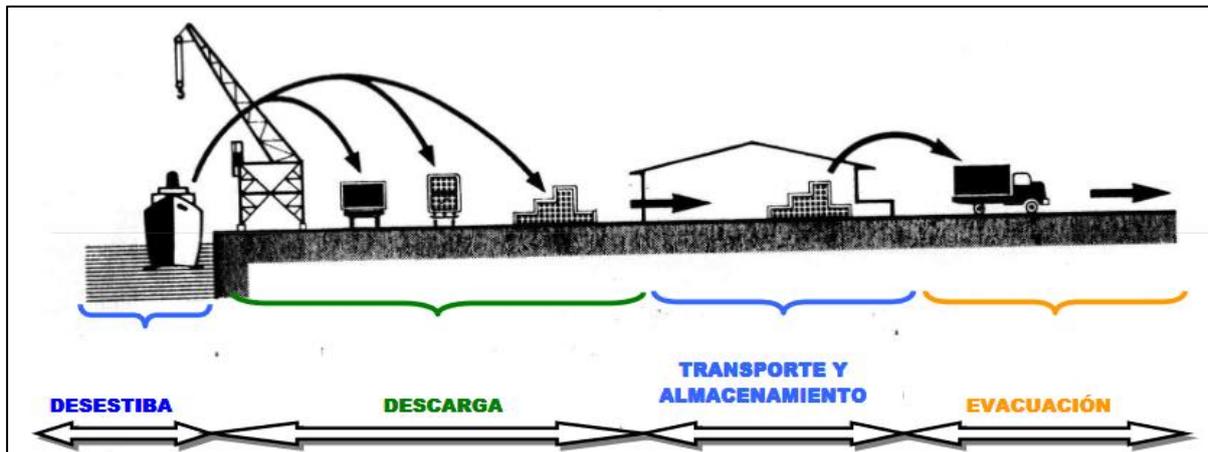


Figura 1. Principales operaciones portuarias mientras el buque permanece en el puerto. Fuente: Operaciones y Servicios Portuarios Nivel 1

Se desarrollan distintos tipos de operaciones portuarias de acuerdo con el punto donde se desarrolla la operación:

- A bordo del barco: Operación en bodegas y cubiertas.
- De barco a barco: Operación que se lleva a cabo entre dos barcos a flote, empleado para ello una maquinaria y utillaje que optimiza el proceso y evita la pérdida de mercancía.
- Entre barco y tierra: Operación de transferencia de la mercancía entre ambos puntos (también se incluye la operación directa sobre el vehículo).
- En tierra: Operaciones de transporte y almacenamiento entre el punto de descarga del barco, así como las operaciones que se realizan con la mercancía antes o después del transporte marítimo.
- Entre tierra y transporte terrestres: Operaciones de carga y descarga de vehículo terrestre.

El vehículo transportará la mercancía a su lugar de destino o al lugar designado para el almacenamiento. En este lugar de almacenamiento permanecerá la mercancía hasta que se proceda a su evacuación, bien fuera del puerto, o bien a otro barco dentro de las instalaciones de la Autoridad Portuaria. [5]

Antes de que el buque abandone el puerto.

Las operaciones desarrolladas antes de que el buque abandone el puerto, son exactamente iguales que las realizadas cuando llega a él, con la única particularidad de que se invierte la dirección de la mercancía, es decir, en este caso la mercancía va desde el almacén al barco. [5]

2.2. OPERACIONES LOGÍSTICAS

Una de las operaciones logísticas realizadas en puerto, son las ejecutadas en las terminales de contenedores al considerarse una parte que incluye operaciones de transporte terrestre. La interacción entre el transporte terrestre y las operaciones en la terminal de contenedor pueden afectar la productividad de las terminales marítimas. Debidas a las operaciones de carga y descarga, la interfase de transporte terrestre en la recepción y despacho de contenedores pueden traer congestión. [3]

Mar&Gracia comentan que los puertos tienen como principal reto mejorar su conectividad ferroviaria y carretera, ya que la falta de infraestructura genera "cuellos de botella" que conllevan una pérdida de competitividad y aumento de contaminación en sus inmediaciones.[6]

2.3. CRUCEROS

Una de las actividades con mayor crecimiento desde hace unos años es la relacionada con los cruceros vacacionales, no solo creciendo en número de operaciones. Tanto las rutas disponibles como el volumen de viajeros han experimentado un crecimiento muy notable. Tal es así que España superó los 10.000.000 de pasajeros en 2018, cifra que supuso un incremento interanual del 9,66 %. [7]

Este aumento de pasajeros se traduce en una mayor llegada de cruceros a los puertos, que bien aumenta la economía de los puertos marítimos. El lado negativo de este aumento es la contaminación atmosférica que generan los grandes buques turísticos, que equivale a millones de coches.

Faig Abbasov, gerente de políticas de transporte marítimo de Transport and Environment, dijo: "Los cruceros de lujo son ciudades flotantes impulsadas por algunos de los combustibles más sucios posibles. Las ciudades están prohibiendo con razón los automóviles diésel sucios, pero

están dando un pase gratuito a las compañías de cruceros que arrojan gases tóxicos que causan un daño inconmensurable tanto a los que están a bordo como en las costas cercanas. [8]

Actualmente en 2021, este incremento se ha visto notablemente reducido por la pandemia del COVID-19, el número de pasajeros descendió a cero en algunos puertos. En la siguiente tabla, se muestra la variación de un año a otro, del año 2019 (sin pandemia) al año 2020 (afectados por la pandemia).

Autoridad Portuaria		Mes diciembre		Acumulado desde enero		
		2019	2020	2019	2020	Var. (%)
A CORUÑA		0	0	160.256	6.586	-95,89
ALICANTE		0	0	63.088	2.413	-96,18
ALMERÍA		0	0	7.177	592	-91,75
AVILÉS		0	0	4.544	0	-100,00
BAHÍA DE ALGECIRAS		0	0	0	0	
BAHÍA DE CÁDIZ		25.182	0	477.392	40.690	-91,48
BALEARES		63.416	0	2.663.692	156.757	-94,12
BARCELONA		76.042	579	3.137.918	203.855	-93,50
BILBAO		0	0	55.448	0	-100,00
CARTAGENA		9.283	0	250.058	18.862	-92,46
CASTELLÓN		0	0	5.462	0	-100,00
CEUTA		0	0	9.374	0	-100,00
FERROL-SAN CIBRAO		0	0	14.928	3.040	-79,64
GIJÓN		0	0	15.434	0	-100,00
HUELVA		0	0	1.357	934	-31,17
LAS PALMAS		263.104	31.963	1.486.281	517.241	-65,20

Tabla 2. Número de pasajeros por Autoridad Portuaria año 2019 y 2020. Fuente: Puertos del Estado

3. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LOS PUERTOS MARÍTIMOS

Los puertos marítimos generan puestos de trabajo y dinamizan la economía a través del transporte de mercancías, las operaciones logísticas, la pesca y, en los últimos años, los viajes en crucero.

Pero esta frenética actividad tiene una cara oculta: la contaminación del aire que generan los barcos. La medición de la calidad del aire en los puertos marítimos es, por tanto, un aspecto de interés. Y no solo por cuestiones de calidad ambiental. También por la mejora en la imagen pública que transmiten las autoridades portuarias que optan por esta solución. [7]

La contaminación atmosférica es la presencia en la atmósfera de sustancias que son perjudiciales para el medio ambiente y los seres vivos. Está asociada a los procesos de la industria, el transporte terrestre, marítimo, aéreo, las calefacciones de las viviendas etc.

A continuación, veremos cuáles son las principales emisiones procedentes de los buques y que afectan a las personas y al medioambiente:

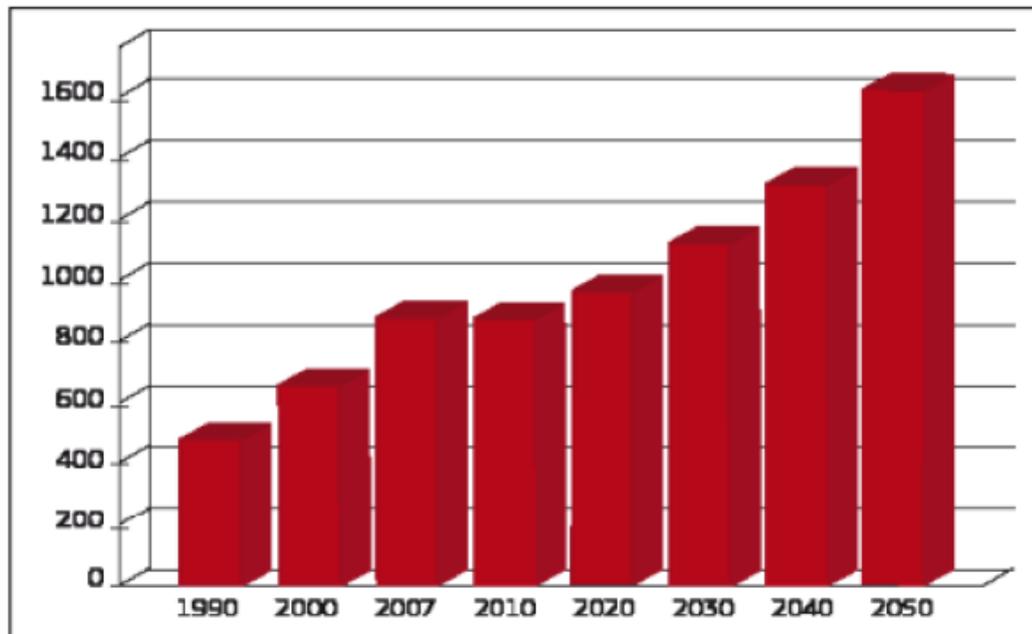
- Dióxido de azufre (SO₂), que se origina por la quema de combustibles fósiles. Su inhalación en concentraciones elevadas puede provocar problemas en el sistema respiratorio. Al mezclarse con agua, pueden generar lluvia ácida.
- Óxidos de nitrógeno (NO_x) que también se generan a partir de combustibles fósiles. Además de sus afecciones sobre la salud (irritación de vías aéreas, insuficiencia pulmonar, etc.), tiene una especial incidencia sobre la eutrofización (exceso de nutrientes) del agua.
- Partículas en suspensión (PM₁, PM_{2.5} y PM₁₀), compuestas por hollín, ceniza y otros materiales particulados. Su peligrosidad consiste en su diminuto tamaño, que hace posible que lleguen, por ejemplo, hasta las áreas más profundas del sistema respiratorio y, de ahí, al torrente sanguíneo. [7]

3.1. CONTAMINACIÓN DEL TRANSPORTE MARÍTIMO

El transporte marítimo es el modo que menos contamina en términos de milla transportada, pero tiene un impacto notable sobre el medio ambiente que incide directamente en la calidad del aire de los puertos, con frecuencia integrados en ciudades densamente pobladas. [10]

La emisión de estos gases por parte del sector marítimo empezó a ser notable a finales del siglo pasado. Entre 1990 y 2007, debido a la globalización del comercio, las emisiones se incrementaron en el sector en un 48%. Se cree que podrían aumentar entre un 50 y un 250% para el año 2050.

Según la OMI, el transporte marítimo es responsable de aproximadamente 1.000 millones de toneladas de CO₂ que corresponde al 2,5% de las emisiones globales. Si no se adoptan medidas eficaces podrían representar en el año 2050 el 17% del total de las emisiones mundiales de dióxido de carbono. Esta contaminación ambiental es un riesgo potencial para la salud humana y para la calidad de vida de las personas que viven o trabajan en entornos portuarios. [11]



Gráfica 1. Emisiones estimadas de CO₂ en millones de toneladas por año. Fuente: Factor

3.2. REGULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

A finales de los años 90, la Organización Marítima Internacional (OMI) inició la tarea para prevenir la contaminación atmosférica producida por los buques. Esta labor se realizó a partir de investigaciones científicas sobre los efectos que causaban en los ecosistemas y en la salud de las personas. Esto supuso un aumento de responsabilidades dado que, anteriormente, la Organización se había centrado en fuentes de combustibles más visibles como el vertido de hidrocarburos por los buques ya que los efectos perjudiciales a largo plazo de los contenidos en los gases de escape de los buques no eran tan perceptibles y, por tanto, no habían sido reconocidos anteriormente.

Con la creación del Convenio MARPOL 73/78 en donde se recogen una serie de normas aplicadas a los desechos generados por los buques como consecuencia de su actividad.

Concretamente, en el Anexo VI del Convenio MARPOL, adoptado en 1997, se restringen los principales contaminantes atmosféricos contenidos en los gases de escape de los buques, en particular los óxidos de azufre (SO_x) y los óxidos de nitrógeno (NO_x), y se prohíben las emisiones deliberadas de sustancias que agotan la capa de ozono. En dicho Anexo también se regula la incineración a bordo, así como las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) procedentes de los buques tanque.

Tras las revisiones realizadas al Anexo VI, los principales cambios son la reducción progresiva de las emisiones de SO_x, NO_x y materia particulada a nivel mundial y la creación de las zonas de control de las emisiones (ECA) con el fin de reducir aún más las emisiones de contaminantes atmosféricos en las zonas marítimas designadas.

En el marco del Anexo VI, revisado, del Convenio MARPOL, el límite máximo del contenido de azufre a nivel mundial se redujo de 3,50% al 0,50%, a partir del 1 de enero de 2020.

En resumen, en el Anexo VI se establecen los límites de las emisiones de óxidos de azufre y de óxidos de nitrógeno de los escapes de los buques y se prohíben las emisiones deliberadas de sustancias que agotan el ozono; para las zonas de control de emisiones designadas se establecen normas más estrictas en relación con la emisión de SO_x, NO_x y de materias particuladas. En un capítulo adoptado en 2011 se establecen medidas técnicas y operacionales obligatorias de

eficiencia energética encaminadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de los buques.

Se espera que las disposiciones revisadas produzcan un notable beneficio para el medio atmosférico y la salud humana, especialmente para aquellas personas que viven en ciudades portuarias y comunidades costeras. [12]

Regulación MARPOL sobre Emisiones NO_x

El control de las emisiones de NO_x de los motores diésel se lleva a cabo mediante el cumplimiento de las prescripciones de reconocimiento y certificación que conducen a la expedición del Certificado internacional de prevención de la contaminación atmosférica para motores (EIAPP) y a la posterior demostración de cumplimiento durante el servicio, del Código Técnico sobre los NO_x 2008 (resolución MEPC.177(58), enmendado por la resolución MEPC.251. (66)).

Fabricante del motor	Número del modelo	Número de serie	Ciclo(s) de ensayo	Potencia nominal (kW) y régimen nominal (rpm)	Número de homologación del motor

SE CERTIFICA:

1. que el motor diésel marino antes mencionado ha sido objeto de reconocimiento para su certificación previa, de conformidad con lo dispuesto en el Código técnico relativo a las emisiones de óxidos de nitrógeno de los motores diésel marinos revisado de 2008, cuyo cumplimiento es obligatorio en virtud del Anexo VI del Convenio; y

2. que el reconocimiento para la certificación previa ha puesto de manifiesto que, con anterioridad a su instalación o puesta en servicio a bordo del buque, el motor, sus elementos, características regulables y expediente técnico cumplen plenamente las prescripciones aplicables de la regla 13 del Anexo VI del Convenio.

El presente certificado es válido durante toda la vida útil del motor, a reserva de que se efectúen los reconocimientos prescritos en la regla 5 del Anexo VI del Convenio, instalado en los buques con la autoridad conferida por este Gobierno.

Expedido en
(lugar de expedición del certificado)

(dd/mm/aaaa)
(fecha de expedición)

.....
(firma del funcionario debidamente autorizado que expide el certificado)

.....
(sello o estampilla de la autoridad)

Figura 2. Certificado internacional de prevención de la contaminación atmosférica para motores (EIAPP).

Fuente: Boletín Oficial del Estado

Este certificado es un documento aceptado a nivel internacional en que se especifica que el motor cumple con los límites de emisiones NO_x establecidos por el MARPOL. El certificado deberá ser aprobado por el Estado de abanderamiento del buque o, en nombre de este, por las Sociedades de Clasificación. [14]

Regulación MARPOL sobre Emisiones SO_x

El principal tipo de hidrocarburos usado como combustible en los buques es el fueloil pesado, derivado del residuo de la destilación del petróleo crudo. El petróleo crudo contiene azufre que, tras la combustión en el motor, es liberado en la atmósfera junto con el resto de emisiones del buque.

Los buques pasan parte de su tiempo cerca de las costas realizando operaciones en los puertos, las emisiones producidas por estos buques pueden llegar a alcanzar cientos de kilómetros hacia el interior de la costa, afectando a la población cercana. Las emisiones contaminantes son transportadas a través del viento y pueden cambiar en función de las condiciones meteorológicas.

Son importantes los valores límites de emisiones de azufre para los buques que se encuentran tanto fuera, como dentro de puerto. Hay valores globales y especiales para las zonas de control de emisiones (ECA), establecidos por la OMI.

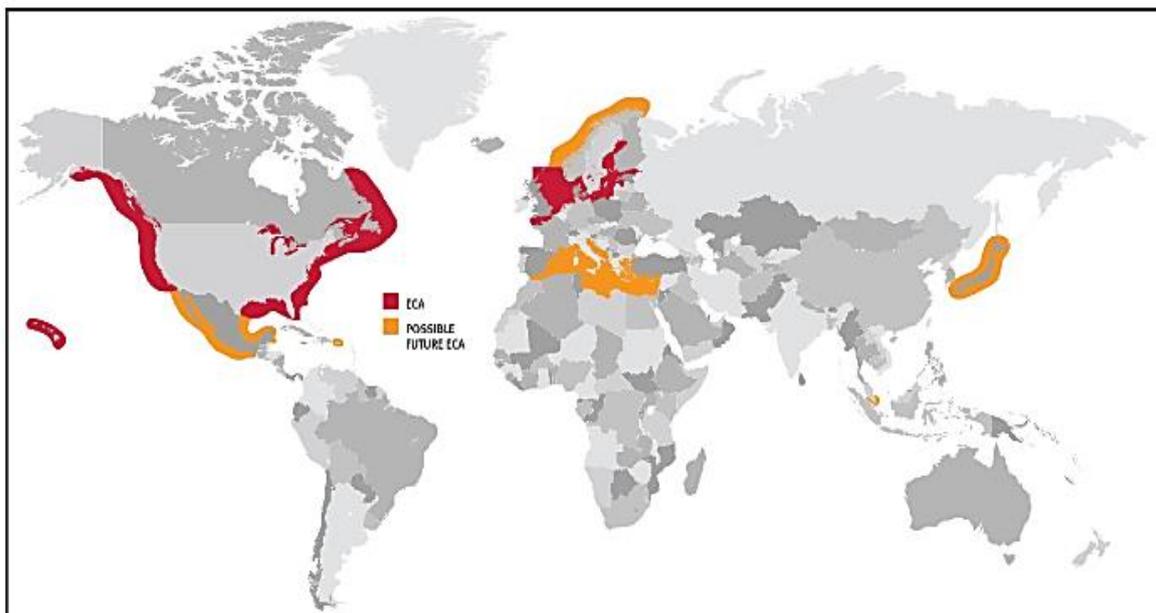


Figura 3. Zonas de Control de Emisiones y futuras zonas ECA. Fuente: Dávila, L.

Los controles de las emisiones de SOx y materia particulada se aplicarán a los equipos de combustión interna que trabajen con todo tipo de combustible fósil instalados a bordo, tales como, motores principales, motores auxiliares y calderas. Estos controles se realizan tanto a los buques que naveguen dentro de las ECA, como fuera de ellas, por lo que tienen que utilizar combustibles con el contenido de azufre correspondiente para cumplir con la normativa.

El primer nivel de control está relacionado con el contenido real de azufre declarado por el proveedor del combustible en el documento de composición del mismo, el cual se vincula directamente con las prescripciones de calidad del combustible.

Los buques antes de entrar a una ECA deben de cambiar el consumo de combustible para cumplir con el 0,1% de contenido máximo de azufre, al tiempo que se plasmará por escrito todo el procedimiento realizado a bordo para el cambio de combustible en el libro de registro de hidrocarburos (se registrarán las cantidades de combustible reglamentario de la ECA de que se trate, así como: fecha, hora y situación del buque). [14]

Fuera de una ECA establecida para limitar las emisiones de SOx y de materia particulada	En un ECA establecida para limitar las emisiones de SOx y de materia particulada
4,5% masa/masa antes del 1 de enero de 2012	1,5% masa/masa antes del 1 de julio de 2010
3,5% masa/masa a partir del 1 de enero de 2012	1% masa/masa a partir del 1 de julio de 2010
0,5% masa/masa a partir del 1 de enero de 2020*	0,1% masa/masa a partir del 1 de enero de 2015

Tabla 3. Niveles de SOx permitido dentro y fuera de una ECA. Fuente: IMO SOx

Medidas de eficiencia energética

En 2011 la OMI adoptó una serie de medidas técnicas y operacionales obligatorias en materia de eficiencia energética, que entraron en vigor el 1 de enero de 2013, las cuales se espera que reduzcan significativamente las emisiones de CO₂ procedentes del transporte marítimo internacional. Estas medidas de carácter obligatorio son, el índice de eficiencia energética de proyecto (EEDI) que pasó a ser obligatorio para los buques nuevos, y el Plan de gestión de la eficiencia energética del buque (SEEMP) para todos los buques. Las Partes en el Anexo VI del Convenio MARPOL adoptaron las enmiendas al Anexo VI de dicho convenio mediante la resolución MEPC.203(62).

El EEDI para los buques nuevos es la medida técnica más importante y tiene como finalidad promover el uso de equipos y maquinaria de mayor eficiencia energética (menos contaminantes). El EEDI es un mecanismo de carácter no prescriptivo, basado en criterios de rendimiento que deja en manos del sector la elección de las tecnologías que habrán de utilizarse en el proyecto de un buque concreto. En tanto se alcance el nivel reglamentario de eficiencia energética, los proyectistas y constructores de buques son libres de elegir las soluciones más eficientes para que los buques cumplan las normas. El EEDI ofrece una cifra concreta para un determinado proyecto de buque, expresada en gramos de dióxido de carbono por milla de capacidad del buque (cuanto menor sea el EEDI mayor será la eficiencia energética de los parámetros del proyecto técnico del buque de que se trate).

El Plan de gestión de la eficiencia energética del buque (SEEMP) es una medida operativa que establece un mecanismo que permite mejorar la eficiencia energética de un buque de una manera rentable. El SEEMP también proporciona un método para que las compañías navieras puedan llevar un seguimiento, a lo largo del tiempo, de la eficiencia de los buques y de la flota por medio de, por ejemplo, el Indicador operacional de la eficiencia energética (EEOI), como instrumento voluntario de seguimiento. Las orientaciones sobre la elaboración del SEEMP para buques nuevos y existentes incorporan las mejores prácticas para la explotación de los buques de manera eficiente por lo que respecta al consumo de combustible, así como las directrices sobre la utilización voluntaria del EEOI para buques nuevos y existentes (MEPC.1/Circ.684).

[16]

3.3. CONTROL DE EMISIONES EN PUERTO PRODUCIDAS POR LOS BUQUES

Todo buque de pabellón extranjero que se encuentre en puerto nacional, debe ser inspeccionado por el Estado rector del puerto cada cierto tiempo. Las inspecciones tienen la finalidad de asegurarse de que el estado del buque y sus equipos se encuentran en cumplimiento con los reglamentos internacionales. Cuando el inspector sube a bordo, solicita los certificados del buque, dos de ellos son el Certificado Internacional para la prevención de la contaminación atmosférica (IAPP) y el Certificado Internacional de Eficiencia Energética (IEE).

Estos certificados se los tiene que proporcionar al barco una Sociedad de Clasificación que esté autorizada para inspeccionar buques y emitir certificados en nombre del estado bajo cuya bandera este registrado dicho buque. [17]

4. PUERTO DE BILBAO

El puerto de Bilbao está administrado por la Autoridad Portuaria de Bilbao, una de las 28 Autoridades Portuarias pertenecientes al organismo estatal dependiente del Ministerio de Fomento, Puertos del Estado.

La Autoridad Portuaria es la que planifica y ejecuta las obras de infraestructura necesarias para la realización de las actividades relacionadas con el tráfico marítimo de mercancías y el intercambio entre modos de transporte.

Ordena, asimismo, los usos de la zona de servicio del puerto y gestiona el dominio público portuario mediante el otorgamiento de concesiones y autorizaciones, con criterios de rentabilidad y eficiencia. [18]

El puerto está situado en el extremo oriental del Golfo de Bizkaia, se enmarca en el denominado Arco Atlántico Europeo. Su situación geográfica es idónea como puerto de enlace con el continente americano, Norte de Europa, África y Oriente, especialmente preparado para el comercio con la zona Atlántica de Europa, las Islas Británicas y el Mar Báltico.

El puerto, con sus empresas, conforma un centro de distribución de mercancías de interés continental, localizado en un entorno metropolitano de un millón de habitantes y 16 millones de habitantes en un radio de 400 Km. Constituye, además, una vía de aproximación indiscutible hacia el mercado europeo del Arco Atlántico. [19]



Figura 4. Conexiones marítimas del puerto de Bilbao. Fuente: Desarrollo y estrategia del Puerto de Bilbao

Además de sus buenos enlaces marítimos, tiene conexión directa a la red de autopistas, servicios ferroviarios y red de puertos secos.



Figura 5. Conexión directa a la red de autopistas desde el Puerto de Bilbao. Fuente: Desarrollo y estrategia del Puerto de Bilbao



Figura 6. Servicios ferroviarios y red de puertos secos. Fuente: Desarrollo y estrategia del Puerto de Bilbao

4.1. TRATAMIENTO DE RESIDUOS GENERADOS POR LOS BUQUES

La Autoridad Portuaria de Bilbao en cumplimiento de la normativa vigente (Real Decreto 1381/2002, de 20 de diciembre, sobre instalaciones portuarias de recepción de desechos generados por los buques y residuos de carga, modificado por la Orden FOM/1392/2004, de 13 de mayo y por el R.D. 1084/2009) ejerce la gestión de los residuos MARPOL a través de la adjudicación a una empresa gestora y autorizada por la administración que dispone de sus instalaciones de recepción y tratamiento en el Puerto de Bilbao.

Todos los desechos generados, son recogidos en el propio buque por las empresas autorizadas o contratadas mediante embarcación o camión. La entidad autorizada para efectuar la recogida de los desechos pertenecientes a los Anexos I (Tipo B y C), IV, V y VI es Limpiezas Nervión, S.A. [21]

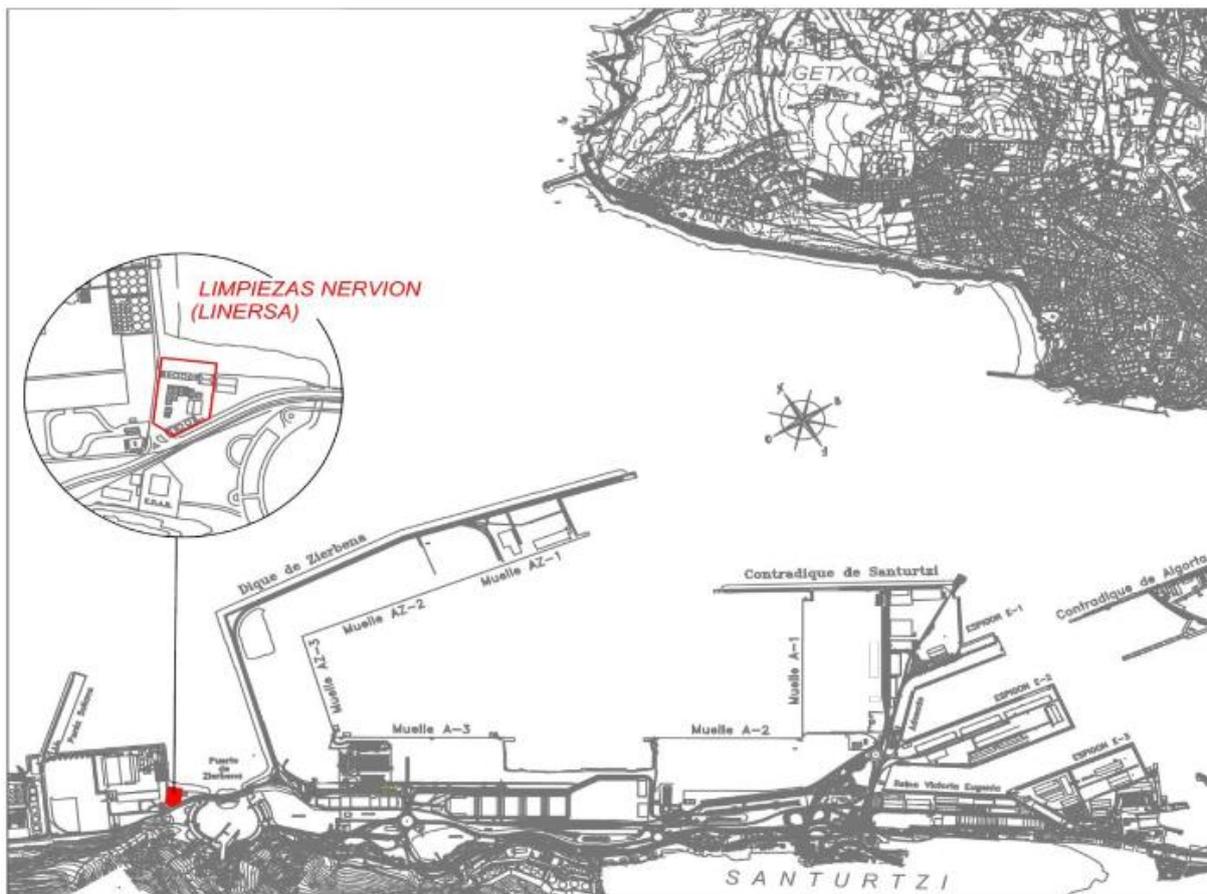


Figura 7. Ubicación de las instalaciones receptoras de Tradebe (Limpiezas Nervión). Fuente: Bilbao Port

4.2. CALIDAD DEL AIRE EN EL PUERTO DE BILBAO

EL Puerto de Bilbao cumpliendo con el Real Decreto Legislativo 2/2011, de 5 de septiembre, conforme al Proyecto Anual de Plan de Empresa va acompañado por una Memoria de Sostenibilidad. En esta memoria de sostenibilidad refleja el cumplimiento de la política portuaria en los cuatro aspectos de sostenibilidad: institucional, económica, social y ambiental. La última memoria de sostenibilidad es de 2019, en ella, se habla de un sistema para conocer los niveles de contaminación atmosférica en el Puerto de Bilbao.

La política ambiental de la Unión Europea ha establecido una legislación básica orientada a la precaución, la prevención y la responsabilidad ambiental promoviendo iniciativas que contribuyen de forma eficaz a su aplicación y actualización. Una de estas iniciativas fue el Instrumento Financiero para el Medio Ambiente LIFE. Dentro del Programa LIFE estaba el proyecto HADA.

Actualmente, las instalaciones pertenecientes al Proyecto HADA ubicadas en el Puerto de Bilbao han pasado a formar parte del patrimonio, forman el sistema de monitorización que controla y permite dar respuesta en tiempo real tanto a los problemas de contaminación sonora como de contaminación atmosférica.

Los principales focos de emisión del puerto son los referidos al almacenamiento de materiales pulverulentos al aire libre, chimeneas de calefacción y chimeneas de las empresas situadas en la zona industrial entre el Puerto de Santurce y Punta Lucero. Pero también tienen en cuenta las emisiones procedentes de buques y cruceros atracados.

Medidas implantadas por la Autoridad Portuaria para controlar las emisiones relacionadas con la actividad del puerto:

- Seguimiento a operadores portuarios de autorizaciones y notificaciones reglamentarias en materia de emisiones a la atmósfera.
- Guías de buenas prácticas y códigos ambientales voluntarios.
- Supervisión directa en muelle por técnicos de la Autoridad Portuaria.
- Se dispone de sistemas de medida de parámetros de calidad del aire o campañas periódicas.

- Se han realizado estudios de caracterización del efecto de la actividad del puerto sobre la calidad del aire.
- Reordenación de la actividad en planta del puerto para alejar focos de emisión de zonas sensible.
- Firmas de convenios de buenas prácticas.
- Medidas técnicas específicas ligadas al control de emisiones de polvo como sistemas de riego de acopios de gránulos y viales.

La Autoridad Portuaria viene desarrollando numerosos estudios e informes para el control y seguimiento de las emisiones al aire ligadas a la actividad del conjunto del puerto y entre otras las siguientes:

- Programa de vigilancia ambiental del Puerto de Bilbao: Calidad del aire y acústica, Tecnalia, Informe Anual 2019.
- Declaración Ambiental anual.
- Declaración Ambiental de Producto basado en el Análisis de Ciclo de vida de las operaciones portuarias de todo el Puerto de Bilbao. [22]

4.3. RED DE ESTACIONES DE CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE

La Autoridad Portuaria de Bilbao está compuesta por una Estación Meteorológica Automática y tres cabinas fijas de medición (Las Arenas, Santurtzi, Contradique).

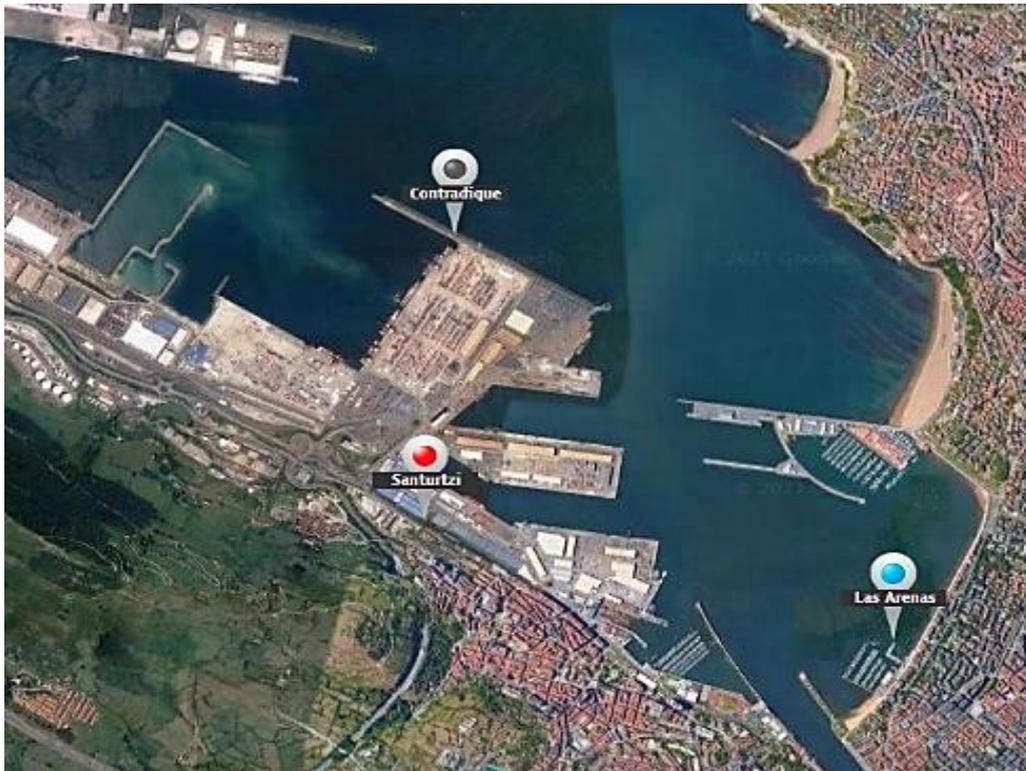


Figura 8. Estación Meteorológica Automática y tres cabinas fijas de medición. Fuente: Bilbao Port



Figura 9. Cabina ubicada en Las Arenas y en Santurtzi. Fuente: Bilbao Port

La red proporciona la información necesaria para conocer las condiciones climatológicas existentes en el recinto portuario, así como la concentración de partículas (partículas sedimentables, PM10, PM 2,5, y SO2) en tiempo real.

Se puede consultar estos datos actualizados y de manera gratuita en la página web del Puerto de Bilbao. [22]

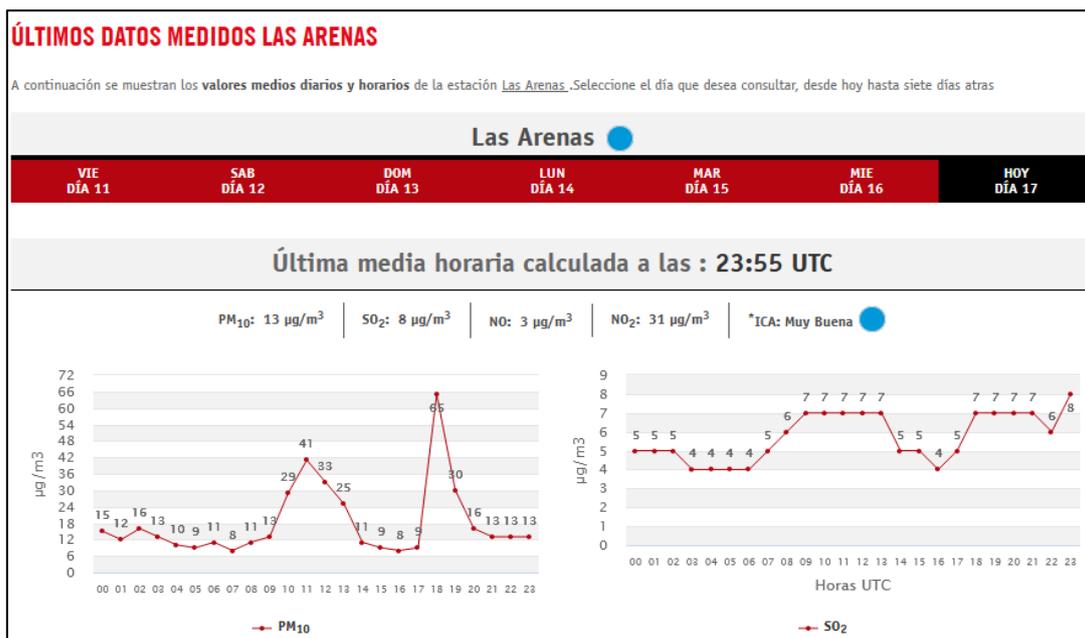


Figura 10. Cantidades en µg/m³ medias diarias y horarias de PM10 y SO2. Fuente: Bilbao Port

El Centro de Control de Emergencias (C.C.E.) de la Autoridad Portuaria de Bilbao realiza un seguimiento de todas las operaciones que se efectúan con mercancías pulverulentas en el Puerto de Bilbao y elabora informes diarios que reflejan todas las operaciones de acarreo, tanto horizontal como vertical de mercancías susceptibles de originar una contaminación pulverulenta en los distintos muelles.

Se hace uso también de los datos que proporciona la red de vigilancia de la calidad del aire perteneciente al Gobierno Vasco, en concreto los correspondientes a las estaciones de Santurtzi, Zierbana (contradique) y Náutica (Las Arenas), por estar situadas en la zona de previsible impacto de las actividades del Puerto de Bilbao.

Una vez recogida la información que proporciona la Estación Meteorológica, la de los Analizadores y la resultante de los informes del C.C.E., se efectúa una intercomparación de los

datos de manera que se pueda llevar un seguimiento de la evolución de la dispersión de partículas en tiempo real.

De la misma forma, mediante una aplicación informática se pueden simular y prever posibles episodios de contaminación por partículas, lo que permite disponer en cada momento de la información necesaria para la toma de decisiones acorde con las situaciones de contaminación planteadas. [22]

5. TECNOLOGÍA DIGITAL PARA EL CONTROL Y LA REDUCCIÓN DE LOS GASES

La tecnología digital es toda aplicación que establece métodos para desarrollar sistemas que emplean números o datos y que permiten automatizar ciertos procesos. De esta manera, el ser humano ha pasado de emplear objetos análogos, a implementar dispositivos digitales con funciones automáticas y programadas.

En la última década, la tecnología digital se ha aplicado para funciones como: el procesamiento de grandes cantidades de datos, la automatización de procesos, las comunicaciones colectivas, el desarrollo de sistemas que emulan el funcionamiento de la mente humana, cálculos complejos, etc.

Su amplia funcionalidad permite realizar un gran número de tareas en un tiempo menor, para simplificar y agilizar las labores del día a día en todos los ámbitos del trabajo.

Su aplicación se realiza mediante la optimización de los sistemas y la aportación de soluciones concretas a los problemas. [24]

Por consecuencia, en el ámbito privado muchos puertos buscan un cambio, apostando por la digitalización y sostenibilidad, para buscar soluciones inteligentes a sus actividades portuarias.

A continuación, se comentan algunas de las más importantes tecnologías desarrolladas y que cuya aplicación y funcionamiento en el Puerto de Bilbao podría permitir aportar un cambio significativo en la reducción o detección de los gases de efecto invernadero.

5.1. DRONES PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE

La siguiente tecnología, cumple con la sostenibilidad y viene marcada por una nueva regulación promulgada por la OMI, que entró en vigor el 1 de enero de 2020, obligando a reducir las emisiones de óxido de azufre.

Con el fin de controlar las emisiones contaminantes que genera el transporte marítimo, la Agencia Europea de Seguridad Marítima (EMSA) ha desarrollado una serie de drones equipados con sensores para medir los gases que emite un buque y comprobar si las emisiones

cumplen los requisitos legales. Estos equipos analizan el contenido de azufre del combustible de los buques y están equipados con sensores para facilitar la identificación de cada buque. Obviamente el control de la calidad del aire mediante el uso de drones, consiste en la capacidad de instalar en un dron los instrumentos de medida de la contaminación atmosférica que sean requeridos para la observación que se pretenda llevar a cabo.

La Autoridad Marítima Danesa ha comenzado a utilizar un dron, llamado Skeldar V-200, equipado con sensores aéreos (sniffers) para medir las emisiones de azufre de los buques que naveguen por sus aguas y controlar el cumplimiento de las nuevas normas.

La aeronave no tripulada, propiedad de la Agencia Europea de Seguridad Marítima (EMSA), puede medir la cantidad de óxidos de azufre que emite un buque sobrevolando la pluma de su chimenea. Los datos pueden ser enviados en tiempo real a un centro de control de las autoridades danesas, que pueden determinar rápidamente si dicho buque cumple o no la norma establecida.

Además, es capaz de moverse a más de 16 km de la costa para detectar las emisiones de los barcos que están en la mar. [25]



Figura 11. Dron Skeldar V-200. Fuente: EMSA

5.2. GEMELO DIGITAL

Un gemelo digital o digital twin, es una réplica virtual realizada a imagen y semejanza de una infraestructura, como el puerto, al que se le incorporan datos en tiempo real que pueden ser captados a través de sensores o de tecnologías relacionadas con el Big Data. Una vez recolectada dicha información, esta es procesada con Inteligencia Artificial, Cloud Computing y Machine Learning para alumbrar una representación viva que siente, piensa y actúa.

Una de las principales ventajas, es que permitirán a los puertos detectar problemas con antelación y resolverlos más rápidamente. Pueden avisar de cualquier futura avería, incidencia o anomalía en su funcionamiento interactuando directamente con los humanos. Incluso pueden trabajar de forma autónoma al ser capaces de analizar una situación, proponer soluciones optimizadas y ponerlas en marcha.

Los gemelos digitales son una tecnología disruptiva que promete revolucionar la industria y será fundamental para los puertos. Otra de las ventajas es la consecución de procesos más eficientes que se traducirá en una reducción considerable de las emisiones contaminantes, y el análisis de los datos y la simulación posterior permitirá crear comportamientos predictivos que optimizarán los resultados. [26]

El puerto de Amberes, gracias a su gran volumen de datos procedentes de múltiples sistemas portuarios, buscó obtener un mayor beneficio de ello. Por lo cual llevaron a cabo la creación de APICA, un gemelo digital que aplica una capa de realidad aumentada a una foto, mostrando al usuario toda la información necesaria para conocer el estado de las operaciones portuarias en cualquier momento.

Al tratarse de uno de los puertos con mayor superficie del mundo, un gemelo digital de este tipo proporciona al usuario una visión amplia del puerto que antes era imposible de conseguir. Con una perspectiva 8D que combina 12 bases de datos, los usuarios pueden obtener al instante el número de buques que se encuentran en el puerto o incluso ver el rendimiento de las turbinas eólicas en tiempo real.

El modelo de simulación proporciona los siguientes elementos:

- Servicios o mediciones de calidad del aire

- Trayectorias de vuelo de drones
- Vías navegables (más de 500 cámaras de vigilancia)
- Capaz de localizar embarcaciones ilegales y enviar alertas cuando sea necesario. [27]

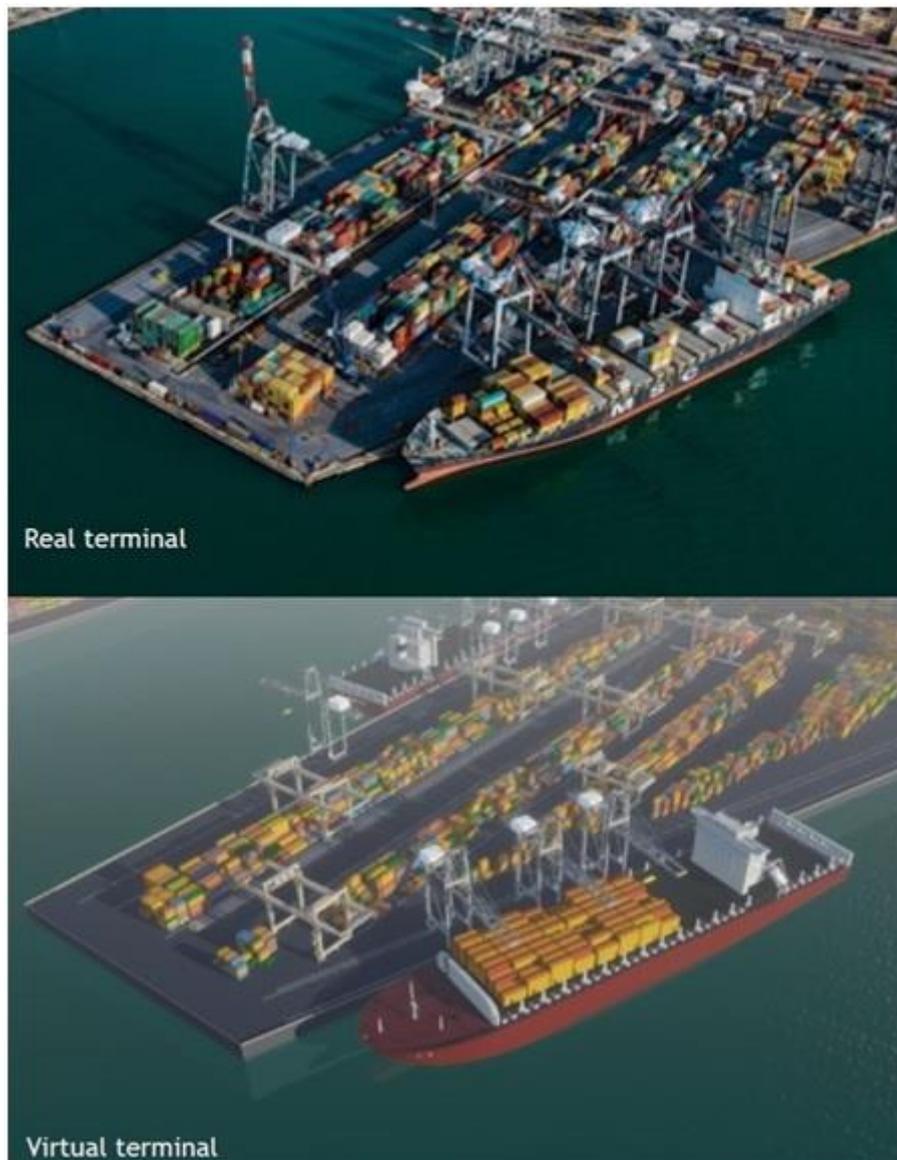


Figura 12. Ejemplo de gemelo digital. Fuente: Naucher Global

5.3. TRUCK PORTAL

Se trata de una aplicación que ayuda a los camioneros a saber en tiempo real la situación del tráfico en el puerto, por lo que aumenta la fluidez y se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero. Esta mejora realiza análisis predictivos basados en IA que ofrecen previsiones de cola con horas de antelación.

La publicación de los tiempos de espera en las terminales permite a la industria del transporte por carretera y a los conductores de camiones planificar mejor sus rutas a las puertas de las terminales y reducir la congestión en la entrada del puerto.

En Truck Portal, el conductor puede crear un perfil y alertas que le notifiquen cuando el tiempo de espera alcance el nivel que estableció para las terminales. También puede ver el historial de sus tiempos de espera en las terminales durante sus últimos viajes en camión al puerto. [29]

El puerto de Montreal cuenta con este sistema de organización de entrada del transporte terrestre.

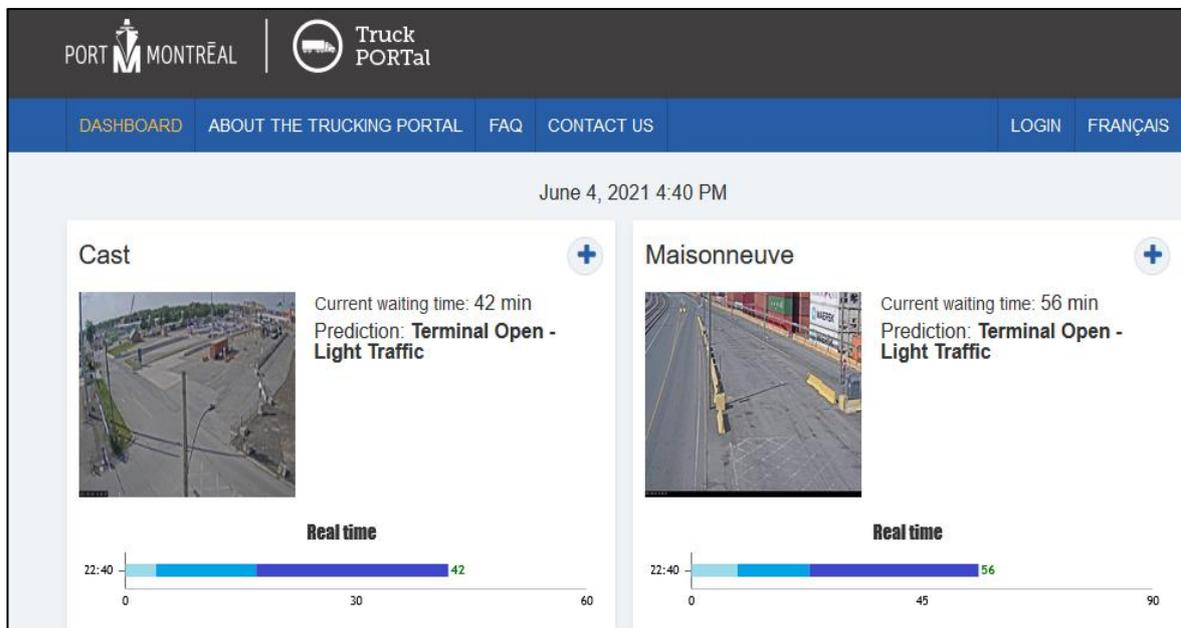


Figura 13. Plataforma Truck Portal. Fuente: Port Montreal

5.4. DIGITAL PORT

Digital Port es una innovadora plataforma modular, que visualiza los puertos del futuro como puertos conectados, inteligentes y sostenibles. Es el nuevo proyecto de I+D de Secmotic, que está englobado dentro del programa Interconecta 2018 y está financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI). Asimismo, este centro es dependiente del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

Digital Port es la plataforma del futuro. Se basa en la optimización de las interfaces (mar-puerto-ciudad), para dar solución y mejorar la eficiencia entre todos los actores involucrados en el entorno portuario. Para tal fin, se están empleando tecnologías digitales, tales como Big Data, IoT, Inteligencia Artificial, GIS 3D, Blockchain, Open Data y Cloud.

El objetivo es el diseño y desarrollo enfocado en la gestión y optimización de procesos logísticos portuarios. [30]

A lo largo del desarrollo de este proyecto, se llevan a cabo numerosas soluciones tecnológicas:

- Un sistema de información geográfica 3D
- La integración de información a partir de sensores IoT y de técnicas de Machine Learning para la predicción de eventos. Con los sensores y un software que ayude a valorar los costes y gastos, resultará sencillo obtener modelos predictivos basados en el Big Data.
- La obtención de patrones y tendencias
- La implantación de BlockChain en la cadena de valor de la logística portuaria.

La Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras (APBA) ha colaborado en el desarrollo de este proyecto, ofreciendo al puerto de Algeciras una solución integral para la digitalización, colaboración en la cadena logístico portuaria y dotación de inteligencia a los servicios, protege y minimiza el impacto de los factores externos, ofreciendo mayor control sobre el volumen de negocio y una reducción de los tiempos de integración de los grandes actores de la logística y transporte con el puerto, reduciendo así los costes en la cadena logística.

Además, se mejora la productividad en el puerto Bahía de Algeciras, la integración de Digital Port abre la posibilidad de nuevos modelos de negocios, siendo el más importante la exportación de los datos provenientes de los mismos puertos a sus cadenas logísticas. La plataforma facilita la explotación de los datos (tiempos de llegada, tiempos de recolección e instrucciones de transporte, entre otros), así como la posibilidad de realizar estimaciones y predicciones que permitirán a los actores, mejorar significativamente su eficiencia, además de ofrecer nuevos servicios a sus clientes y abordar nuevos mercados globalizados. [31]

Una de las acciones llevadas a cabo en el puerto Bahía de Algeciras es el desarrollo de una herramienta de simulación para la Operación Paso del Estrecho (OPE) y, concretamente, para los periodos de intercambiabilidad de billetes que tienen lugar en aquellos días de mayor afluencia de salida de pasajeros por el Puerto Bahía de Algeciras.



Figura 14. Digital Port Simulador OPE, evolución de la ocupación en los muelles. Fuente: Puerto de Algeciras

La herramienta de simulación permitirá a la APBA estimar los tiempos de estancia y espera para embarque de los vehículos de pasaje y, por otra parte, reajustar el plan de flota o dimensionar el número de puntos de verificación de billetes o control fronterizo para así

aumentar la capacidad de evacuación del Puerto. También permite anticiparse a la toma de decisiones sobre la apertura de parcelas de espera o bien la modificación de los circuitos internos por el propio Puerto de Algeciras. [32]

5.5. RED DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE

Los sistemas KUNAK SMART ENVIRONMENT monitorizan la calidad del aire, las emisiones y otros factores medioambientales.

Desplegando estaciones de monitorización de la calidad del aire para profesionales (Kunak AIR Pro), las autoridades portuarias obtienen información procesable en tiempo real sobre los niveles de contaminación, las tendencias, umbrales y distribución de las fuentes. Basándose en datos amplios y precisos, los puertos mejorarán las operaciones, generarán pruebas de valor y protegerán la fuerza de trabajo puerto-ciudad.

La estación de monitorización de la calidad del aire para profesionales (Kunak AIR Pro) incluye sensores medioambientales, así como conectores para sensores o sondas externas, y junto con su funcionamiento con paneles solares y la transmisión inalámbrica de datos en tiempo real, hacen del Kunak AIR Pro la estación de monitorización de la calidad del aire más avanzada del mercado. [33]



Figura 15. Kunak Air Pro, instalado. Fuente: Kunak

El despliegue de medidores de calidad del aire permite a las autoridades portuarias:

- Detectar la presencia de puntos calientes o hot spots.
- Establecer alertas de niveles de contaminación elevados.
- Adoptar medidas basadas en información de la contaminación real.

Parámetros que mide:

Monóxido de carbón (CO), dióxido de carbón (CO₂), monóxido nitrógeno (NO), dióxido nitrógeno (NO₂), ozono (O₃), dióxido de azufre (SO₂), ácido sulfhídrico (H₂S), amoniac (NH₃), compuestos orgánicos volátiles (COVs), partículas en suspensión de diámetro menor 1,0µm (PM₁), PM_{2.5}, PM₁₀, temperatura, humedad, presión atmosférica y punto de rocío.

Sus beneficios son:

1. Fácil instalación, en menos de 10 minutos con diagnóstico visual en pantalla.
2. La calibración es sencilla, ajuste en remoto.
3. Es totalmente autónomo, su funcionamiento es con batería, recargada a través del panel solar o un cargador.
4. Tiene un sistema de cartuchos, con el que se puede reemplazar y combinar los cartuchos con un sistema plug & play.
5. El acceso a los datos y alarmas son en tiempo real.
6. La precisión de las medidas está probadas, homologadas y certificadas.
7. Permite medir múltiples contaminantes hasta 5 gases y partículas a la vez.
8. Se pueden conectar sensores adicionales como: sensores de viento, lluvia, ruido, etc.
9. Tiene una plataforma para visualizar, analizar y gestionar sus datos en la nube.

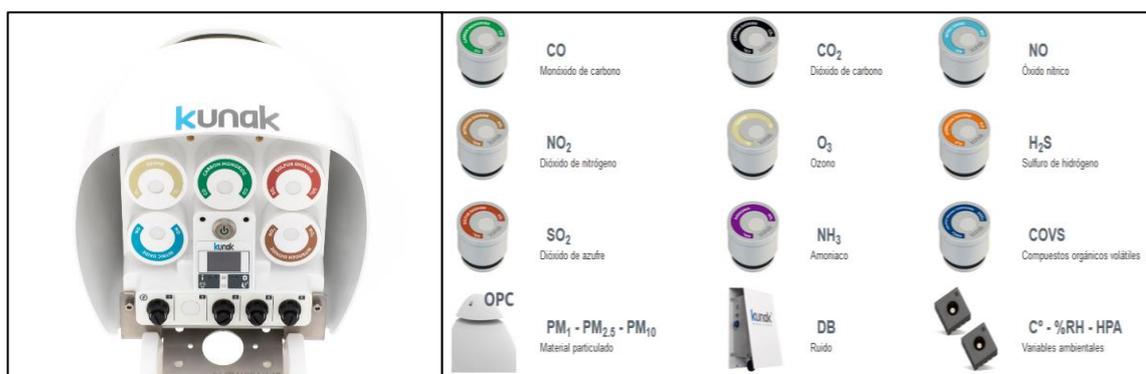


Figura 16. Huecos disponibles y Cartuchos (Tecnología GasPlug). Fuente: Kunak

En cuanto al sistema empleado este se encuentra encriptado y los protocolos de comunicación son directos permitiendo comunicaciones biderreccionales, facilitando la configuración remota, las actualizaciones de firmware, y la calibración de los sensores de los dispositivos. Además, los protocolos de comunicación están diseñados para un bajo consumo de energía. [33]

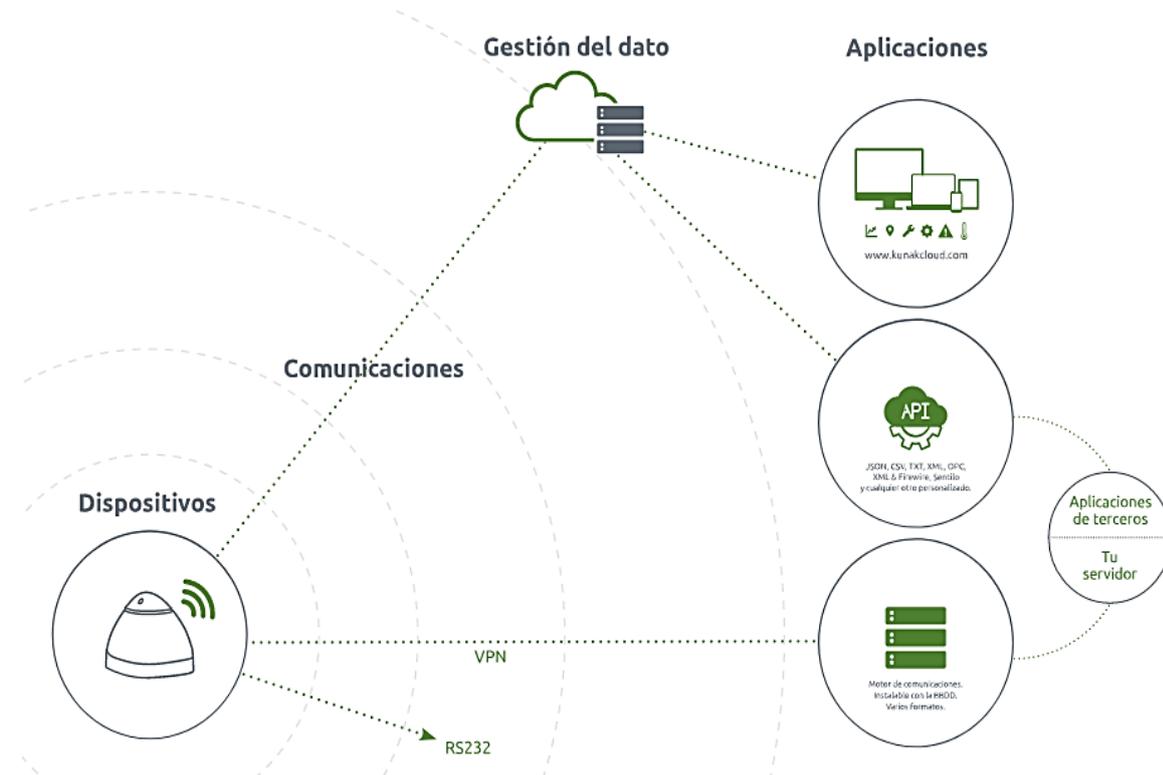


Figura 17. Arquitectura de los datos. Fuente: Kunak

Además, cuenta con una plataforma web en la nube para el análisis avanzado de datos de calidad de aire, ruido y otros factores medioambientales y la configuración y gestión remota de los dispositivos. Permite almacenar, procesar, analizar y exportar los datos recogidos por cualquier dispositivo o sensor, ofreciendo información detallada y procesamiento avanzado, autonomía, movilidad, escalabilidad y una sencilla herramienta de calibración en remoto. A través de Kunak API, permite integrar la información recogida en otras webs o plataformas para, por ejemplo, mostrar los datos en una web distinta. [34]

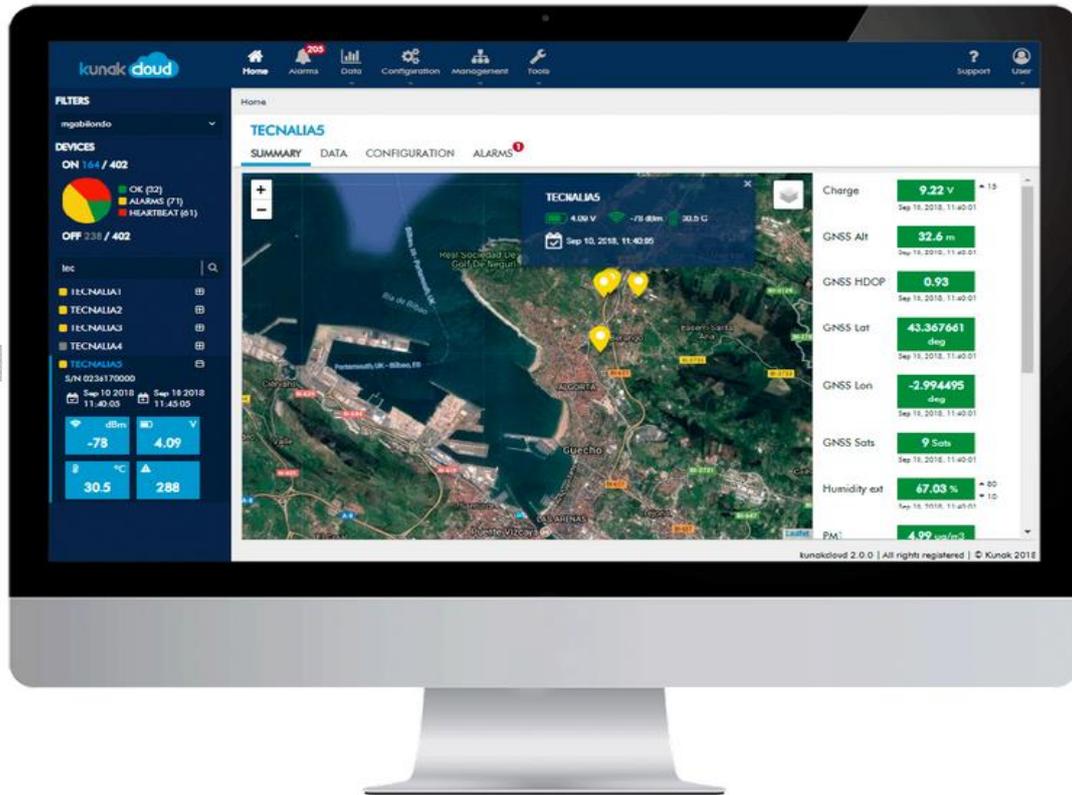


Figura 18. Panel de control de la plataforma web Kunak AIR Cloud. Fuente: Kunak

6. CONCLUSIONES

La intención del trabajo ha sido aportar nuevas herramientas, para el desarrollo de un proyecto que controle, reduzca y mejore el estado de la calidad del aire en puerto.

Este trabajo se ha desarrollado en base a tres puntos principales. En primer lugar, las actividades portuarias contaminantes y los sistemas utilizados en el puerto marítimo para el control y reducción de las emisiones de los gases contaminantes producidos por los buques, en particular las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx) y partículas en suspensión (PM1, PM2.5 y PM10); en segundo, el análisis de la regulación actual sobre contaminación atmosférica en el sector marítimo; y por último, la propuesta de proyectos que empleen la tecnología digital para el control, el análisis y reducción de los gases emitidos en el puerto de Bilbao, proyectos viables en su desarrollo e implantación real.

Tras haber estudiado la contaminación portuaria al medioambiente, la conclusión principal a la que se puede llegar, es que la aplicación de la tecnología digital en los puertos es fundamental si el puerto quiere reducir sus emisiones y ser un puerto sustentable. Los puertos que no aplican esta tecnología en sus actividades, se están quedando atrás al no ofrecer ciertos servicios que otros puertos si ofrecen. Muchos profesionales hoy en día activos, dejan entrever que además la tecnología digital es el futuro del sector portuario y del comercio marítimo.

Por lo que los puertos buscan una transformación tecnológica en sus funciones, convirtiéndose en una prioridad para los puertos, tanto para los que cuentan con una economía fuerte como para los que se encuentran en vías de desarrollo y que comienzan a invertir en este tipo de tecnología.

La tecnología digital ha llegado para quedarse y por lo tanto los puertos deben asumir esta realidad y entenderlo como una oportunidad para actualizarse en este proceso de transformación digital que deberán abordar para impulsar el crecimiento de su economía, teniendo en cuenta el medioambiente.

En el que caso del puerto de Bilbao, que se encuentra en transición en la aplicación de esta tecnología en sus actividades portuarias, lo primero que debe hacer es elegir qué tecnologías

digitales se adaptan mejor a las prestaciones que quiere ofrecer y cómo hacerlo, esto le permitirá ser más competitivo dentro del mercado actual, además que marcará la diferencia dentro de su sector, garantizándole el éxito.

El puerto de Bilbao está comprometido con la reducción de la contaminación medioambiental. Por lo cual, el objetivo de este trabajo es aportar nuevas herramientas para tal fin.

Es por ello que se ha seleccionado cinco proyectos que tienen la finalidad de controlar y ayudar a reducir las emisiones.

Como es el caso de los drones, un dron que controle las emisiones de los buques que llegan a puerto, pudiendo negarles la entrada la Autoridad Portuaria o multarlos si superan los límites de emisiones permitidas.

Asimismo, un gemelo digital del puerto de Bilbao ayudaría a tener un control y el análisis de los datos y la simulación posterior permitirá crear comportamientos predictivos que optimizarán los resultados de sus operaciones, realizando procesos más eficientes, en el cual se obtendrá una reducción considerable de las emisiones contaminantes.

Por otro lado, se encuentra la aplicación Truck Portal para reducir las esperas de los camiones y evitar esperas en las que se produzcan más gases contaminantes.

En cuanto a la plataforma Digital Port, el resultado es la mejora del entorno portuario y una logística más sostenible. La plataforma hará del puerto más eficiente, seguro y avanzado. Logrando reducir notablemente las emisiones de CO₂ en más de una de sus actividades.

Finalmente, la red de vigilancia de la calidad del aire de la empresa Kunak, se podría sustituir por la red de estaciones ya existente del proyecto HADA y su plataforma actual, por una nueva red más avanzada, donde se podría ampliar los puntos de medición al tratarse de estaciones fáciles de montar y que incluye sensores medioambientales, así como conectores para sensores o sondas externas, y junto con su funcionamiento con paneles solares y la transmisión

inalámbrica de datos en tiempo real que no requieren un mantenimiento constante. Hacen de estas estaciones de monitorización de la calidad del aire una de las más avanzadas del mercado.

En conclusión, todas estas aplicaciones pueden beneficiar al puerto de Bilbao para su gestión, su desarrollo y en lo más importante, en el control y reducción de sus emisiones. Cualquiera de los cinco proyectos mencionados anteriormente, pueden llevarse a cabo, dadas las características y tráfico portuario que tiene el puerto.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] George R. *Noventa por ciento de todo. La industria invisible que te viste, te llena el depósito de gasolina y pone comida en tu plato.* (2014). Capitan Swing (Páginas: 294).
- [2] Toledo Lobo F. (2021). *Puertos del Estado.* Disponible en: <http://www.puertos.es/es-es/nosotrospuertos/Paginas/Nosotros.aspx>. Consultado en: 2021/05/31.
- [3] Nombela G. (2005). *Infraestructuras de transporte y productividad.* Presupuesto y Gasto Público. ISSN: 0210-5977.
- [4] Díaz A. (2008). *Los Puertos en México y la Política Económica Portuaria Internacional.* Observatorio de la Economía Latinoamericana. Málaga.
- [5] PUERTO ESTADO. (2017). *Operaciones y servicios portuarios nivel 1.* Ministerio de fomento.201723-3423-34. Disponible en: <https://www.puertogijon.es/wp-content/uploads/2017/03/Operaciones-y-servicios-portuarios-N1.pdf>. Consultado en: 2021/05/31.
- [6] Mar J, Gracia M. *Un análisis de los factores que afectan la productividad de los sitios de atraque en una terminal de contenedores.* Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología. (2016). Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología (Páginas: 169-181).
- [7] KUNAK. (2020) *Calidad del aire, un factor que mejora la gestión y la imagen de un puerto marítimo.* Disponible en: <https://www.kunak.es/blog/calidad-aire-puertos-maritimos/>. Consultado en: 2021/06/01.
- [8] Bowers C. (2019) *Pollution and damage from 'floating cities' are creating conflict.* TRANSPORT AND ENVIRONMENT. Disponible en: <https://www.transportenvironment.org/news/pollution-and-damage-%E2%80%98floating-cities%E2%80%99-are-creating-conflict>. Consultado en: 2021/06/01.
- [9] Dirección de Planificación y Desarrollo. Departamento de Estadística. *Resumen general del tráfico portuario.* PUERTOS DEL ESTADO, MINISTERIO DE TRANSPORTE, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA. (2021). Disponible en: <http://www.puertos.es/es-es/estadisticas/EstadisticaMensual/12%20Diciembre%202020.pdf>. Consultado en: 2021/06/01.

- [10] R.Ventosa J. (2018) *Puertos Limpios*. Revista del Ministerio de Fomento mayo 2018. (Páginas:1-10), Disponible en: https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/my02_10.pdf. Consultado en: 2021/06/02.
- [11] Larrea I, Flavia Peñalva I. (2017) *Nuevas obligaciones para el sector marítimo asociadas al seguimiento, notificación y verificación de sus emisiones de CO2*. Disponible en: <https://www.wearefactor.com/es/nuevas-obligaciones-para-el-sector-maritimo-asociadas-al-seguimiento-notificacion-y-verificacion-de-sus-emisiones-de-co2/noticia/187>. Consultado en: 2020/12/15.
- [12] Organización Marítima Internacional. *Prevención de la contaminación atmosférica ocasionada por los buques*. OMI. Disponible en: <https://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Paginas/Air-Pollution.aspx>. Consultado en: 2021/06/01.
- [13] Comité de Protección del Medio Marino. (2011). *Resolución MEPC.177(58), adoptada el 10 de octubre de 2008, Enmiendas al código técnico relativo al control de las emisiones de óxidos de nitrógeno de los motores diésel marinos*. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-6228> . Consultado en: 2021/06/03
- [14] García Coterillo A, (2018). *ESTUDIO SOBRE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES NOx Y SOx*. Escuela técnica superior de náutica Universidad de Cantabria. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/15456/Garc%C3%ADa%20Coterillo%2C%20A%C3%ADa.pdf>. Consultado en: 2021/06/02
- [15] Organización Marítima Internacional. (2020). *Azufre 2020: reduciendo las emisiones de óxidos de azufre*. Disponible en: <https://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Paginas/Sulphur-2020.aspx>. Consultado en: 2021/06/02.
- [16] Organización Marítima Internacional. (2020) *Medidas de eficiencia energética*. Disponible en: <https://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Paginas/Technical-and-Operational-Measures.aspx>. Consultado en: 2021/06/02.
- [17] Organización Marítima Internacional. *Resolución MEPC.203(62), del Comité de Protección del Medio Marino de la Organización Marítima Internacional, del 15 de julio de 2011. Por la que se establecen las enmiendas al anexo del protocolo de 1997 que enmienda el convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el protocolo de 1978*. OMI.2011. Disponible en: <http://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/GHG/Documents/MEPC%20203%2062.pdf>. Consultado en: 2020/12/15.

- [18] Bilbao Port. *La Autoridad Portuaria*. Bilbao Port. Disponible en: <https://www.bilbaoport.eus/la-autoridad-portuaria/>. Consultado en: 2021/06/03.
- [19] UniPort Bilbao. *Bilbao y su puerto*. UniPort Bilbao. Disponible en: <https://www.uniportbilbao.es/es/bilbao-puerto>. Consultado en: 2021/06/03.
- [20] Bilbao Port. *Desarrollo y estrategia del Puerto de Bilbao*. Bilbao Port. (Páginas: 24-32), Disponible en: <https://docplayer.es/39770328-Desarrollo-y-estrategia-del-puerto-de-bilbao.html>. Consultado en: 2021/06/03.
- [21] Bilbao Port. *Residuos Marpol 73/78*. Bilbao Port. Disponible en: <https://www.bilbaoport.eus/responsabilidad-social-corporativa-rsc/compromiso-verde/residuos-marpol-7378/>. Consultado en: 2021/06/03.
- [22] Autoridad Portuaria De Bilbao. (2019) *Memoria Sostenibilidad 2019*. Disponible en: https://www.bilbaoport.eus/wp-content/uploads/2020/10/Memoria_sostenibilidad_2019.pdf. Consultado en: 2021/06/03.
- [23] Bilbao Port. (2021) *Cuadro de mando ambiental*. Disponible en: <https://www.bilbaoport.eus/responsabilidad-social-corporativa-rsc/compromiso-verde/cuadro-de-mando-ambiental/>. Consultado en: 2021/06/04.
- [24] Enzyme Advising Group, (2019), Para qué sirve la tecnología. Disponible en: <https://blog.enzymeadvisinggroup.com/para-que-sirve-la-tecnologia> . Consultado en: 2020/12/15
- [25] Cadena de Suministro. (2019) *Dinamarca controlará con drones las emisiones de azufre de los buques en sus aguas*. Disponible en: <https://www.cadenadesuministro.es/noticias/dinamarca-controlara-con-drones-las-emisiones-de-azufre-de-los-buques-en-sus-aguas/>. Consultado en: 2021/06/03.
- [26] Iberdrola. (2018) *Gemelos digitales, claves en la Cuarta Revolución Industrial*. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/innovacion/gemelos-digitales>. Consultado en: 2021/06/03.
- [27] PierNext. (2020) *Gemelos digitales para tomar decisiones más seguras y eficientes en los puertos*. Disponible en: <https://piernext.portdebarcelona.cat/tecnologia/puertos-gemelos-digitales/>. Consultado en: 2020/12/16.
- [28] Velasquez S. (2019) *El Puerto de Algeciras cuenta con un gemelo digital desarrollado por Virtualware*. Disponible en: <https://www.naucher.com/actualidad/tecnologia/los-gemelos-digitales-y-la-tecnologia-bim-al-servicio-de-la-logistica/>. Consultado en: 2021/06/03.

- [29] Port Montreal. (2016) *About the Trucking PORTal*. Disponible en: <https://www.portmtlcamions.com/en/about-us/>. Consultado en: 2021/06/03.
- [30] Cárdenas A. (2019) *Digital Port es el nuevo proyecto de I+D de Secmotic*. Disponible en: <https://secmotic.com/digital-port-es-el-nuevo-proyecto-de-id-de-secmotic/#gref>. Consultado en: 2021/06/05.
- [31] FIWOO. (2021) *Los puertos del futuro: Algeciras Puerto Inteligente*. Disponible en: <https://www.fiwoo.eu/los-puertos-del-futuro-algeciras-puerto-inteligente/>. Consultado en: 2021/06/06.
- [32] Puerto de Algeciras. (2020) *DIGITAL PORT – Plataforma Digital de Servicios de Logística Portuaria*. Disponible en: <https://innovacion.apba.es/digital-port-plataforma-digital-de-servicios-de-logistica-portuaria/>. Consultado en: 2021/06/05.
- [33] KUNAK. (2020) *Kunak AIR Pro, Monitor de Calidad del Aire para exteriores*. Disponible en: <https://www.kunak.es/productos/monitorizacion-ambiental/kunak-air-pro/>. Consultado en: 2021/06/06.
- [34] KUNAK. (2020) *Kunak AIR Cloud Software Calidad de Aire y Ruido*. Disponible en: <https://www.kunak.es/productos/monitorizacion-ambiental/software-calidad-aire-y-ruido/>. Consultado en: 2021/06/06.