

# PROYECTO FIN DE MÁSTER

Máster en Ingeniería de Caminos,  
Canales y Puertos

## TECNOLOGÍA OPS EN EL PUERTO DE SEVILLA

Autor: Pedro Jesús Gutiérrez Ballesteros

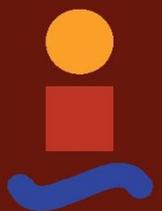
Tutor: Nils Peter Johan Ingemar Wideberg

Dep. de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del  
Transporte

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023





Trabajo Fin de Máster  
Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

# **TECNOLOGÍA OPS EN EL PUERTO DE SEVILLA**

Autor:

Pedro Jesús Gutiérrez Ballesteros

Tutor:

Nils Peter Johan Ingemar Wideberg

Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023



Trabajo Fin de Máster: Tecnología OPS en el Puerto de Sevilla

Autor: Pedro Jesús Gutiérrez Ballesteros

Tutor: Nils Peter Johan Ingemar Wideberg

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2023

El Secretario del Tribunal



## RESUMEN

---

La electrificación de puertos es un paso fundamental hacia un futuro más limpio, saludable y competitivo para los puertos. En este Trabajo de Fin de Máster se estudia la implementación de la tecnología OPS (*Onshore Power Supply*) y su aplicación en el Puerto de Sevilla, permitiendo a los buques conectarse a la red eléctrica del puerto una vez atraquen y no consumir combustible fósil durante su estancia.

Se trata la evolución desde sus inicios a lo largo de los años, proporcionándonos una base sólida para abordar el estudio en el Muelle del Centenario y su equipamiento móvil.

El impacto en el medio ambiente es un factor clave y es el motor principal de los proyectos que se han ejecutado en puertos de todo el mundo, incluyendo este trabajo. Además, es fundamental considerar los beneficios económicos y sociales que trae consigo esta tecnología, evitando que una ciudad como Sevilla se quede atrás en avances como éste.



## **ABSTRACT**

---

The electrification of ports is a fundamental step towards a cleaner, healthier, and more competitive future for ports. This Master's Thesis examines the OPS (Onshore Power Supply) technology's implementation and its application in the Port of Seville, allowing ships to connect to the port's electrical grid once they dock and not consume fossil fuels during their stay.

The evolution from its beginnings over the years is analysed, providing us a solid basis for approaching the study on the Muelle del Centenario and its mobile equipment.

The environmental impact is a key factor and it is the driving force behind projects executed in ports worldwide, including this work. Additionally, it's crucial to consider the economic and social benefits that this technology brings, getting Seville to continue advancing technologically.



# ÍNDICE

---

<b>1.INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>17</b>
1.1. CONTEXTO Y ANTECEDENTES DE LA ELECTRIFICACIÓN PORTUARIA	17
1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA ELECTRIFICACIÓN EN PUERTOS .....	19
1.3. OBJETIVOS DEL TRABAJO .....	20
<b>2.ESTADO ACTUAL DE LA ELECTRIFICACIÓN EN PUERTOS .....</b>	<b>21</b>
2.1. AVANCES Y TENDENCIAS EN LA ELECTRIFICACIÓN DE PUERTOS A NIVEL GLOBAL.....	21
2.2. BENEFICIOS Y DESAFIOS DE LA ELECTRIFICACIÓN PORTUARIA .....	22
2.3. CASOS DE ESTUDIO DE PUERTOS ELECTRIFICADOS.....	24
<b>3.PROPOSTA DE DISEÑO PARA LA ELECTRIFICACIÓN DEL PUERTO DE SEVILLA.....</b>	<b>28</b>
3.1. CARACTERÍSTICAS DEL PUERTO DE SEVILLA Y SU RELEVANCIA REGIONAL.....	28
3.2. ANÁLISIS DEL TRÁFICO DE MERCANCÍAS Y OPERACIONES PORTUARIAS .....	31
3.3. ESTUDIO OPS DEL PUERTO DE SEVILLA .....	44
3.3.1. DETALLES DEL BUQUE DE ESTUDIO .....	44
3.3.2. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN OPS.....	45
3.3.2.1. CONEXIÓN A LA RED ELÉCTRICA NACIONAL .....	46
3.3.2.2. SISTEMA DE TRATAMIENTO ELÉCTRICO EN TIERRA ...	46
3.3.2.3. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA .....	48
3.3.2.4. SISTEMA DE TRATAMIENTO ELÉCTRICO A BORDO.....	50
3.3.3. DETALLES DE LA SOLUCIÓN OPS .....	52
3.3.4. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA .....	56
<b>4.ASPECTOS TÉCNICOS Y TECNOLÓGICOS DE LA ELECTRIFICACIÓN.....</b>	<b>58</b>
4.1. TECNOLOGÍAS Y EQUIPOS PARA LA INFRAESTRUCTURA PORTUARIA	58
4.2. INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN EL SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN .....	63
4.3. SISTEMAS DE CONTROL Y MONITORIZACIÓN PARA UNA GESTIÓN EFICIENTE.....	64



4.4. CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO.....	65
<b>5. IMPACTO AMBIENTAL Y SOSTENIBILIDAD .....</b>	<b>66</b>
5.1. REDUCCIÓN DE EMISIONES Y MEJORA DE LA CALIDAD DEL AIRE.....	66
5.2. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA ELECTRIFICACIÓN ...	70
5.3. BENEFICIOS ECONÓMICOS Y SOCIALES DE LA SOSTENIBILIDAD.....	71
<b>6.PRESUPUESTO .....</b>	<b>72</b>
<b>7.PROMOCIÓN Y PARTICIPACIÓN DE LAS PARTES INTERESADAS .....</b>	<b>75</b>
7.1. ESTRATEGIAS DE COMUNICACIÓN Y DIVULGACIÓN.....	75
7.2. INVOLUCRAMIENTO DE ACTORES CLAVE Y PARTES INTERESADAS .	76
7.3. ASPECTOS REGULATORIOS Y MARCO LEGAL PARA LA ELECTRIFICACIÓN .....	76
<b>8.CONCLUSIONES.....</b>	<b>78</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>79</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Imagen 1. Muelles con tecnología OPS en el Puerto de Gotemburgo. [8]	25
Imagen 2. Tomas a tierra en el Puerto de Ámsterdam. [8]	26
Imagen 3. Principales vías navegables interiores de la UE. [12]	30
Imagen 4. Red Transeuropea de Transporte (TEN-T). [12]	31
Imagen 5. División en áreas del Puerto de Sevilla. [11]	33
Imagen 6. Área 1-Las Delicias. [11]	34
Imagen 7. Área 2-Muelle de Tablada. [11]	34
Imagen 8. Área 3-Polígono de Tablada. [11]	35
Imagen 9. Área 4-Cabecera del Puerto. [11]	36
Imagen 10. Área 5-Dársena del Batán. [11]	37
Imagen 11. Área 6-Mirador del batán. [11]	38
Imagen 12. Área 7-Dársena del Cuarto. [11]	39
Imagen 13. Usos área nº7-Dársena del Cuarto. [11]	39
Imagen 14. Área 8-Zona de Actividades Logísticas. [11]	39
Imagen 15. Área 9-Polígono Astilleros. [11]	40
Imagen 16. Área 10-Zona Franca. [11]	41
Imagen 17. Área 11-Esclusa Punta del Verde. [11]	42
Imagen 18. Área de Reserva Portuaria. [11]	43
Imagen 19 - Muelle Centenario	45
Imagen 20. Esquema OPS	46
Imagen 21. Conexión a la red nacional	46
Imagen 22. Ejemplo de OPS existentes	47
Imagen 23. Sistema de tratamiento eléctrico en tierra	47
Imagen 24. Sistema de distribución eléctrica hasta el buque	48
Imagen 25. Caja de conexión – Ejemplo	49
Imagen 26. Caja de Conexión CAVOTEC.	49
Imagen 27. Grúas fijas en el muelle – Ejemplo	50
Imagen 28. Esquema típico OPS, instalación a bordo	50
Imagen 29. Cuadro de conexión a bordo	51
Imagen 30. Transformador a bordo	51
Imagen 31. Sincronización a bordo	52
Imagen 32. Subestación de Tablada	52
Imagen 33. Tendido de Cables	53
Imagen 34. Cable Seleccionado	53
Imagen 35. ShoreBox spec. (Schneider)	54

Imagen 36. Arquitectura típica ShoreBox sin convertidor (Schneider)...	55
Imagen 37. Propuesta de ubicación - Centro de Transformación y Caja de Conexión.....	56
Imagen 38. Ventosas Amarre. [15] .....	58
Imagen 39. Sistema de conexión para buques Con/Ro. [15].....	59
Imagen 40. Shuttle Carriers Terminal BEST. [16].....	60
Imagen 41. Grúa STS Feeder Puerto de Sevilla.....	61
Imagen 42. Sistema de control eléctrico en grúa pórtico. ....	61
Imagen 43. Componentes del sistema. [15].....	62
Imagen 44. Sistema de protección de cables. [15] .....	62
Imagen 45. Mapa de irradiación España .....	63
Imagen 46. Emisiones GEI procedentes del transporte en relación con otros sectores. [17] .....	66
Imagen 47. Working with Nature-APS. [4] .....	69
Imagen 48. Sensores de partículas y acústico. [19] .....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Desafíos del Establecimiento del OPS. [7] .....	24
Tabla 2. Evolución de Tráfico de Mercancías en el Puerto de Sevilla. [13] .....	32
Tabla 3. Evolución del tráfico de mercancías en el Puerto de Sevilla. [13] .....	32
Tabla 4. Usos área nº1: Las Delicias. [11].....	34
Tabla 5. Usos área nº2: Muelle de Tablada. [11].....	35
Tabla 6. Usos área nº3-Polígono de Tablada. [11].....	36
Tabla 7. Usos área nº4: Cabecera del Puerto. [11].....	36
Tabla 8. Usos nºárea 5: Dársena del Batán. [11].....	37
Tabla 9. Usos área nº6: Mirador del Batán. [11].....	38
Tabla 10. Usos área nº8-Zonas de Actividades Logísticas. [11].....	40
Tabla 11. Usos área nº9-Polígono de Astilleros. [11].....	41
Tabla 12. Usos área nº10-Zona Franca. [11].....	41
Tabla 13. Usos área nº11-Esclusa Punta del Verde. [11].....	42
Tabla 14. Usos área nº12: Zona de Reserva. [11].....	43
Tabla 15. Usos área nº13-Instalaciones del Guadalquivir. [11] .....	44
Tabla 16. Con/Ro - Características Principales .....	44
Tabla 17. Demanda energética.....	57
Tabla 18. Irradiación media diaria en España.....	64
Tabla 19. Emisiones de GEI y sustancias contaminantes por modo de transporte. [17].....	67
Tabla 20. Factores de emisión g/kWh. [17].....	68
Tabla 21. Variables que determinan la calidad del aire. [18] .....	68
Tabla 22. Estimación CAPEX .....	73
Tabla 23. Estimación OPEX .....	74



# 1.INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. CONTEXTO Y ANTECEDENTES DE LA ELECTRIFICACIÓN PORTUARIA

Actualmente nos encontramos sumidos en una época de cambio, en la que cada vez más se observa una tendencia hacia un futuro sostenible como respuesta a los desafíos ambientales, sociales y económicos en los que nos encontramos. Muestra de ello son los numerosos planes de medidas desarrollados en los últimos años, como la Agenda 2030, plan de acción global adoptado por los 193 Estados miembros de las Naciones Unidas en Septiembre de 2015 en vista a alcanzar una serie de objetivos y metas para el año 2030.

Con el notable aumento de la concienciación pública ante esta problemática, la industria marítima y portuaria ha enfrentado una creciente presión a adoptar prácticas más sostenibles, viéndose respaldada por los acuerdos internacionales que buscan impulsar la adopción de medidas más respetuosas con el medio ambiente.

Esta industria ha sido históricamente una fuente significativa de contaminación ambiental, a causa del uso de combustibles fósiles como principal fuente de energía en buques y equipos portuarios, llevando a la emisión de gases contaminantes y contribuyendo a la mala calidad del entorno. Además de las emisiones, el transporte marítimo ha sido responsable de numerosos derrames y liberaciones de sustancias tóxicas al mar, afectando negativamente a los ecosistemas costeros y la vida marítima.

Los principales compuestos de los gases de combustión son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y el óxido de azufre (SO<sub>x</sub>), que provocan daños en el ecosistema e inciden en problemas de salud como enfermedades pulmonares <sup>[1]</sup>.

Como solución a esta problemática, aparecen las instalaciones *Onshore Power Supply* (OPS), estrategia clave para la electrificación portuaria, que recibe otros nombres como *Cold Ironing*, *Shore Connection* o *Energía Marítima Alternativa*.

Esta tecnología permite proporcionar energía eléctrica a los buques mientras están atracados, en lugar de depender de sus motores o generadores auxiliares para mantener los sistemas en funcionamiento, además de reducir el nivel de ruido, facilitando la obtención de energía

necesaria para los buques, mediante sistemas de generación de energía renovables instalados en el propio puerto.

El puerto de Gotemburgo fue pionero en el uso de la tecnología *Cold Ironing*. En 1989, se instaló en uno de sus muelles una terminal de suministro eléctrico para dos buques de la naviera *Stena Lines*: el *Stena Scandinavica* y el *Stena Germanica*, que cubrían la ruta *Gotemburgo-Kiel*. Esta instalación suministraba electricidad a 400 V a 50 Hz y representó uno de los primeros casos de electrificación portuaria.

Luego, en el año 2000, el puerto de Gotemburgo dio un paso más hacia la electrificación con la inauguración de la primera instalación de alto voltaje del mundo para *Cold Ironing*. Esta nueva instalación operaba a una tensión de entre 6.6 y 10 kV a 50 Hz, con una capacidad de suministro de 1000 kW, lo que permitió una mayor eficiencia y capacidad para abastecer a los buques mientras estaban atracados.

En esa época, la conexión a los buques se realizaba mediante un único cable que descendía desde la nave para ser conectado manualmente en la caseta del transformador. Aunque esta forma de conexión requería intervención humana, sentó las bases para el desarrollo posterior de tecnologías OPS más automatizadas y avanzadas.

El puerto de Gotemburgo ha sido un referente en la implementación de la tecnología *Cold Ironing*, demostrando los beneficios de reducir las emisiones y mejorar la sostenibilidad en la industria marítima mediante el uso de sistemas de energía desde tierra mientras los buques están atracados. Su experiencia ha sido una inspiración para la adopción global de sistemas OPS en puertos de todo el mundo.

En la actualidad, la tecnología OPS ha empezado a utilizarse en diversos puertos de varios países, incluyendo España, como parte de su estrategia para convertirse en *Green Ports* o *Puertos Ecológicos*. Estos puertos están implementando alternativas medioambientales para reducir el impacto contaminante y adoptando certificaciones ambientales como el certificado PERS (Port Environmental Review System) de la UE o la norma ISO 14001, de certificación ambiental<sup>[1]</sup>.

En España, el proyecto “OPS Master Plan for Spanish Ports” ha conseguido la construcción de instalaciones en numerosos puertos como son el de Melilla, Santa Cruz de Tenerife, Palma de Mallorca y Las Palmas, siendo Canarias la comunidad que más ha invertido en esta tecnología y que ya ha demostrado una mejora en la calidad del aire y una rentabilidad en la actividad económica<sup>[2]</sup>.

En los puertos de Cádiz, Valencia, Alicante, Algeciras, Barcelona y prácticamente toda la construcción está en marcha o en fase de Estudio.

El objetivo del gobierno es conseguir una totalidad de puertos electrificados para el año 2030

## **1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA ELECTRIFICACIÓN EN PUERTOS**

La electrificación portuaria nace ante la necesidad de reducir el impacto negativo de los puertos en el medio ambiente, así como la huella de la industria marítima. Los puertos han sido puntos neurálgicos del comercio y transporte, que supone más del 80% del comercio internacional de mercancías, y su dimensión viene acompañada de problemas medioambientales, ocasionando esta industria el 13,4% de la cuota de las emisiones de gases de efecto invernadero por modo de transporte a nivel europeo, situándose en segunda posición tras el transporte por carretera.

Se calcula que el transporte marítimo emite alrededor de 1.056 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, por lo que el control de emisiones por transporte marítimo será de gran relevancia para lograr los objetivos globales de reducción de emisiones.

En este sentido, es de vital importancia establecer planes destinados a cumplir con los compromisos internacionales y es por ello que la Comisión Europea, a través del Pacto Verde Europeo, ha diseñado un plan para mejorar la sostenibilidad del transporte elaborando un paquete de medidas para descarbonizarlo, con el objetivo de convertirse en un continente climáticamente neutro en 2050<sup>[3]</sup>.

Las actividades portuarias afectan directamente a la calidad del aire en las cercanías de los puertos, por lo que la interacción puerto-ciudad se ha vuelto cada vez más relevante con el objetivo de evitar impactos en la salud humana.

El consumo de energía es uno de los principales contribuyentes a las emisiones generadas en los puertos, éstos albergan muchas empresas y grandes actividades logísticas de demanda energética, dificultando la reducción de emisiones. Como iniciativa se ha propuesto la electrificación de los complejos portuarios europeos. Actualmente más de la mitad son muelles electrificados, los cuales han sido adaptados para proporcionar energía eléctrica a los buques y equipos que operan en el puerto, alejándose de la energía convencional como eran los derivados del petróleo.

Es importante valorar el riesgo de esta inversión, ya que generar la electricidad suficiente para este tipo de infraestructuras es complejo y de alto

coste económico. La electrificación de los muelles no garantiza su uso, ya que solo es posible si los buques también están equipados, pudiendo convertir estos avances en activos en desuso.

Ventajas de la electrificación portuaria:

- Disminuir las emisiones directas de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>, siendo más relevantes en puertos cercanos a zonas urbanas
- Satisfacer la creciente demanda social de reducir emisiones, enfrentar el cambio climático y abordar los efectos negativos de las partículas en la salud humana
- Promover el aumento del consumo de energía renovable en el sector del transporte, en línea con los objetivos establecidos por la comisión europea para impulsar prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente
- Reducir el ruido y vibraciones producidas por los motores auxiliares, mejorando el entorno acústico en el área portuaria y sus alrededores
- Incentivar al uso de barcos eléctricos, especialmente en trayectos de corta distancia, con el fin de acercarnos a un transporte menos contaminante.

Para poder llevar a cabo estas ventajas es vital superar la exigencia de la elevada demanda energética existente en los puertos de buques, siendo necesaria la construcción de un Centro de Transformación hasta que lleguen las líneas de tensión necesarias. Es fundamental garantizar el suministro requerido a los buques atracados y conectados.

El puerto de Sevilla ya ha comenzado a trabajar en la conversión hacia un puerto más verde, muestra de ello es el protocolo firmado junto a Endesa en marzo de 2023 para diseñar una hoja de ruta que favorezca la transición energética. Comenzaran por renovar la luminaria de muelles y viarios LED e instalará un parque solar fotovoltaico en las cubiertas de la esclusa para autoconsumo [4].

### **1.3. OBJETIVOS DEL TRABAJO**

El presente trabajo académico tiene como objetivo elaborar una propuesta de diseño para la electrificación del Puerto de Sevilla, tomando como referencia los citados anteriormente y permaneciendo a la vanguardia de este avance tecnológico y social, que fortalecería la competitividad y reputación demostrando un compromiso sólido con la sostenibilidad y protección del medio, considerando el papel fundamental en la descarbonización de la ciudad y facilitando el crecimiento económico entre regiones y países.

## 2. ESTADO ACTUAL DE LA ELECTRIFICACIÓN EN PUERTOS

---

### 2.1. AVANCES Y TENDENCIAS EN LA ELECTRIFICACIÓN DE PUERTOS A NIVEL GLOBAL

En un inicio, esta tecnología contaba con una instalación de bajo voltaje, suministrando a una potencia de 400 voltios a una frecuencia de 50 hercios, teniendo lugar en Gotemburgo que fue pionero en el empleo de esta tecnología.

Años más tarde, en el año 2000, volvieron a innovar con la primera instalación de alto voltaje suministrando entre 6.6 y 10 kV a una frecuencia de 50 Hz.

En el comienzo, los buques se conectaban manualmente a través de un cable de alimentación que descendía del buque para conectarlo directamente al transformador. Con el avance del tiempo, la conexión de suministro de alta tensión se ha convertido en una opción favorable, con un fácil manejo de 1 o 2 cables de alta tensión, proporcionando flexibilidad en el suministro eléctrico a diferentes barcos con distintos niveles de voltaje, incluyendo los de baja tensión, sin embargo, es necesario un transformador para ajustar el nivel <sup>[5]</sup>.

La electrificación de puertos se ha convertido en una tendencia en alza, a causa de la concienciación ciudadana y, en algunos casos, impositiva, dados los acuerdos que se están ejecutando en importantes organizaciones internacionales como la Unión Europea, muestra de ello la *Agenda 2030*, que premia el uso de esta tecnología.

Las fuentes renovables impulsan este medio contribuyendo a la descarbonización de los puertos. Combinando ambas tecnologías, las emisiones pueden ser prácticamente nulas, fortaleciendo las políticas ambientales. El sistema es “tan verde” como lo sea el mix de producción energética.

Con el objetivo de promover el desarrollo OPS el grupo Power2Ship, liderado por la Autoridad Portuaria de Barcelona, perteneciente a la World Ports Climate Association Program (WPCAP), desarrolló en 2021 una herramienta que sistematiza la información sobre las instalaciones OPS para los armadores internacionales. Abarca un total de 68 puertos y trabaja para

inspirar a otros puertos a reducir sus emisiones a través de acciones colaborativas conjuntas [6].

La Unión Europea está incentivando la instalación de esta tecnología mediante tarifas especiales o cero impuestos a buques preparados para el suministro, como ocurre en países como Suecia o Países Bajos, donde se observa una tendencia creciente al asentamiento de estaciones CI.

## **2.2. BENEFICIOS Y DESAFIOS DE LA ELECTRIFICACIÓN PORTUARIA**

Los principales beneficios de esta tecnología son, como ya se ha ido comentando, la disminución del ruido y vibraciones producidas por los motores auxiliares y la reducción de emisiones emitidas a la atmósfera, que nos permite acercarnos a un futuro más sostenible.

A pesar de las ventajas, surgen problemáticas que impiden o ralentizan la instalación del sistema. Los buques, en su mayoría, no están adaptados para ser conectados durante el atraque. Los de nueva construcción están equipados con un transformador y una toma de corriente, pero los existentes necesitan de una modernización que conlleva una inversión por parte de los armadores

En cuanto a tierra, uno de los desafíos más relevantes es que la mayor parte de puertos no tienen capacidad y la red instalada no suele llegar hasta el punto de conexión a pie de muelle, además del costo de operación y mantenimiento que esto conlleva.

Los costos iniciales pueden considerarse dentro de 2 categorías:

- Gastos de desarrollo para la construcción de instalaciones OPS en el puerto
- Gastos de coordinación con la red eléctrica (actualización de la existente en caso necesario)

Estos costos de inversión en tierra, tomando como referencia los ya actualizados en puertos existentes, pueden variar en el entorno de 280.000 y 4 millones de euros por atraque. A lo que se le suma una media del 12% de la inversión en gastos de mantenimiento y operación.

Por parte de los clientes, las inversiones a ejecutar en buques pueden oscilar entre 300.000 y 2 millones de euros por barco.

Tras varios estudios, se elaboró la siguiente tabla donde se incluyen los principales desafíos a los que se ve enfrentada la tecnología CI

Aspectos	Barreras	Descripciones
Económico	Alto gasto en infraestructura de CI y su costo operativo	Es vital garantizar que la demanda de CI de las líneas navieras sea lo suficientemente alta como para cubrir los costos.
	Alto coste de modernización de los buques	El enorme coste de inversión para la modificación de barcos da como resultado una baja demanda de soluciones en tierra por parte de las líneas navieras.
	Largo retorno de la inversión (ROI)	Los bajos ingresos y los altos costos de inversión provocan un largo periodo de recuperación. Por tanto, los inversores tienden a no integrar la IC.
	Costo e impuestos de la electricidad.	Al optar por estaciones de carga de CI, los barcos deben pagar los costos de electricidad, impuestos incluidos, mientras que el combustible diésel está libre de impuestos.
Técnico	Sistema de sincronización de frecuencia y voltaje.	El uso de convertidores de frecuencia en tierra es necesario para proporcionar flexibilidad a varios tipos de barcos, lo que aumenta aún más los costos de infraestructura.
	Sistema de gestión de cables	Largo tiempo de manipulación de cables durante el proceso de conexión/desconexión. El uso auxiliar en este periodo liberará emisiones.
	Gerencia de riesgos de electrocución	El personal o cuadrilla que manipula los cables de alta tensión está expuesto a un alto riesgo de electrocución.
	Toma de decisiones complejas para la asignación de atraques	La decisión sobre qué terminal de atraque y cuántos atraques se deben considerar para la instalación de instalaciones de CI es difícil. La llegada de los barcos estocásticos debe pronosticarse adecuadamente utilizando algoritmos avanzados.
Ambiental	El nivel de efectividad de la eliminación total de emisiones.	El nivel de efectividad del tratamiento de emisiones depende de la fuente de generación local.
	La reducción de emisiones no es aplicable en todos los modos de operación del buque.	Las emisiones sólo se reducen cuando los barcos están en operación de atraque, y no durante los cruceros.
	Emisiones de la caldera	Las calderas auxiliares que se necesitan para mantener el vapor generado durante el atraque implican otro tipo de emisiones.
Gestión	Fracaso de coordinación y dilema para la implementación	Los puertos se muestran reacios a invertir en redes eléctricas costeras hasta que se pueda demostrar de manera convincente la demanda. Por otro lado, si la infraestructura costera no está ampliamente disponible en los puertos, los operadores de buques no están interesados en invertir en modernización de buques.
	Presencia de múltiples partes interesadas	Tomar una decisión entre varias partes interesadas con diferentes roles y objetivos es un proceso complejo. Entre los socios involucrados en el proyecto de implementación de CI se encuentran formuladores de políticas, autoridades portuarias, operadores de terminales, líneas navieras, institutos de investigación, autoridades públicas,

Aspectos	Barreras	Descripciones
		empresas intergubernamentales, públicas y de ingeniería, así como empresas de transporte privadas.
	Datos disponibles limitados	Es muy difícil obtener el análisis de datos de los puertos con instalaciones de CI y líneas navieras para realizar la evaluación requerida.
	Falta de retroalimentación del mercado	Debido al alto costo inicial, se necesita evidencia de los beneficios a largo plazo del establecimiento de CI en los puertos existentes con esta tecnología para un análisis profundo de si la inversión vale la pena a largo plazo.
Regulador	Sin presión sobre el uso de CI	Sin un mandato global para el uso obligatorio de la CI, es probable que se desmotive tanto a los puertos como a los barcos para acelerar el empleo de la CI.

**Tabla 1. Desafíos del Establecimiento del OPS. [7]**

El mayor inconveniente es la inversión financiera que requiere junto con la lenta recuperación, por lo que es primordial elaborar un exhaustivo estudio de factibilidad para un buen marco financiero para el regulador, el gobierno, el puerto y el operador naviero.

### 2.3. CASOS DE ESTUDIO DE PUERTOS ELECTRIFICADOS

Cada vez son más los puertos que han implementado esta tecnología y, en muchos casos, los países han desarrollado ya planes de actuación y previsión para instalarla.

La Unión Europea está incentivando la instalación de este sistema en los puertos, consiguiendo que el 80% de las instalaciones OPS se encuentren en Europa, con el objetivo de que en 2030 se ofrezcan más de 24.000 puntos de conexión. Destacan países como Países Bajos, Suecia, Alemania, Italia, Francia y Reino Unido.

Entre los puertos más señalados a nivel internacional encontramos algunos como los citados a continuación:

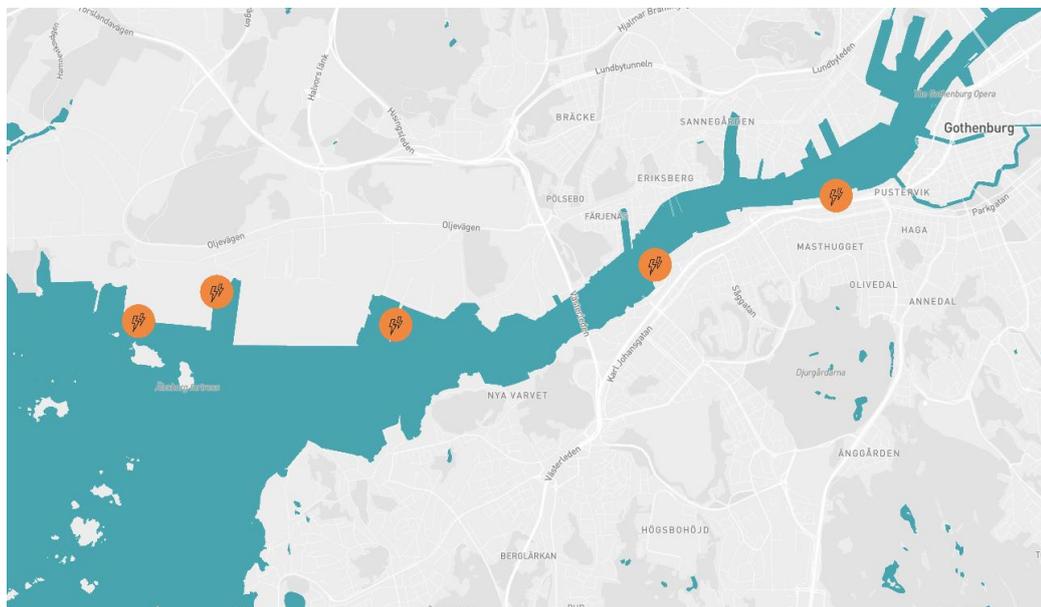
- Puerto de Gotemburgo:

Primer puerto electrificado, innovadores en la tecnología OPS. Actualmente, consta de 5 muelles con esta tecnología y 11 buques equipados con la instalación de recepción, con un total de 7 puntos de suministro para alto y bajo voltaje a distinta frecuencia.

En el año 2000 los atracaderos 700 y 712 comenzaron a suministrar energía terrestre, calculando un ahorro de unas 500 toneladas de dióxido de carbono al año.

Desde 2011, todos los ferries de Stena Line apagan sus motores y utilizan el Onshore Power Supply para suministrar electricidad a los buques en el muelle.

Para conectar la energía a un camión cisterna en el muelle del Energy Port, la Autoridad Portuaria de Gotemburgo ha desarrollado un concepto totalmente nuevo y único en el mundo que lo hace seguro, respetuoso con el medio ambiente y, al mismo tiempo, rentable. Este proyecto, denominado Cable Verde, se ha trabajado en estrecha colaboración con varias compañías navieras de Donsö, puertos nacionales y europeos, empresas clasificadoras, compañías petroleras del puerto y la Agencia Sueca de Transporte. El beneficio ambiental del suministro de energía a los buques cisterna es una reducción de 1.800 toneladas de dióxido de carbono al año cuando los buques utilizan electricidad verde en lugar de diésel marino.



**Imagen 1. Muelles con tecnología OPS en el Puerto de Gotemburgo. [8]**

El objetivo es conseguir ser el puerto más sostenible del mundo, reduciendo sus emisiones en un 70% hasta 2030. Para ello se han realizado inversiones en soluciones energéticas verdes y se ha motivado la cooperando con socios y clientes [8].

- Puerto de Los Ángeles:

Consta de un programa, llamado Alternative Maritime Power (AMP), enfocado en la tecnología CI. Cuenta con 79 bóvedas OPS, colocándose en el ranking de puertos con mayor número de conexiones.

En 2004, el Puerto de LA y China Shipping Container Line anunciaron la apertura de la Terminal de Contenedores de West Basin en el Muelle 100,

la primera terminal de contenedores del mundo que utilizaba energía marítima alternativa.

En 2007, la *Junta de Recursos del Aire de California (CARB)* adoptó una regulación para disminuir las emisiones de los motores auxiliares diésel en los buques atracados para buques portacontenedores, cruceros y de carga refrigerada.

En 2014, los operadores de embarcaciones que dependían de la energía costera debían apagar sus motores auxiliares en el muelle durante el 50% de la estancia y reducir la generación de energía de sus motores auxiliares a bordo en un mismo porcentaje. Estos porcentajes, aumentaron al 70% en 2017 y al 80% en 2020.

En agosto de 2020, CARB adoptó una nueva regulación, que reemplazará a la existente en 2023, teniendo los buques portacontenedores, cruceros y frigoríficos que utilizar energía basada en la red u otra tecnología de control de emisiones aprobada por la junta mientras estén atracados [9].

- Puerto de Ámsterdam:

Este Puerto consta con 43 instalaciones eléctricas en tierra tanto para el transporte marítimo como para los cruceros fluviales, siendo los que se muestran en la imagen siguiente

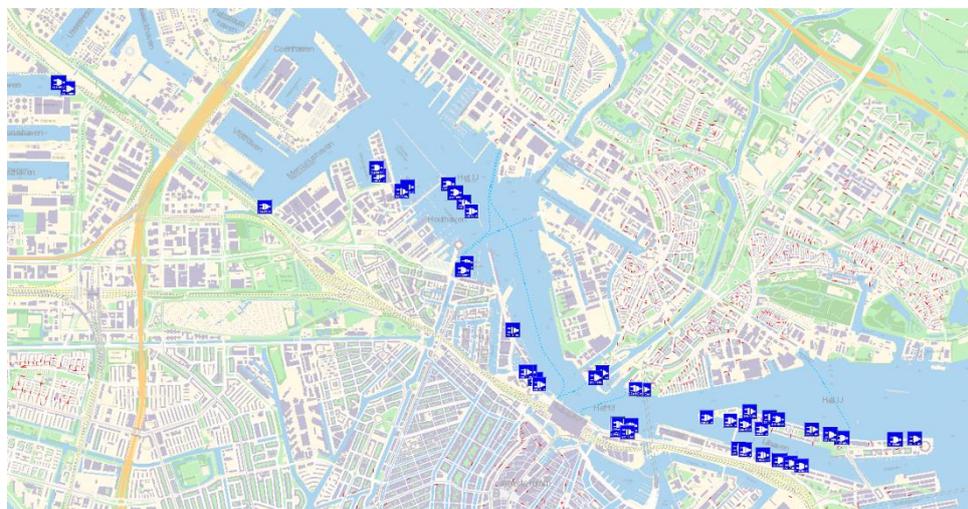


Imagen 2. Tomas a tierra en el Puerto de Ámsterdam. [8]

El Puerto de Ámsterdam ha recibido una subvención Europea en el marco del programa *Connecting Europe Facility (CEF)* para un mayor desarrollo de la energía terrestre en el puerto de Ámsterdam. Este programa se centra en la investigación para el desarrollo de una red Europea de alto rendimiento, sostenible y eficiente en el campo del transporte, la energía y las telecomunicaciones, centrándose en el caso de Ámsterdam en los 3 temas siguientes:

- Desarrollo de una estrategia a largo plazo y una visión de área para un mayor desarrollo de la electricidad en tierra, en estrecha

cooperación con las terminales en la zona portuaria de Ámsterdam y las principales compañías navieras que navegan hacia Ámsterdam.

- Investigación técnica, diseño y decisión de inversión para la realización de energía en tierra para cruceros marítimos en la Terminal de Pasajeros de Ámsterdam
- Un estudio de factibilidad, diseño técnico y análisis de costo-beneficio social para varias nuevas ubicaciones en el área portuaria; los llamados atracaderos públicos para la navegación interior y los buques costeros, que aún no están equipados con energía desde tierra <sup>[10]</sup>.

## 3. PROPUESTA DE DISEÑO PARA LA ELECTRIFICACIÓN DEL PUERTO DE SEVILLA

---

### 3.1. CARACTERÍSTICAS DEL PUERTO DE SEVILLA Y SU RELEVANCIA REGIONAL

El Puerto de Sevilla se distingue por ser el único puerto marítimo de interior de España. Es un enclave estratégico para la Unión Europea y se caracteriza por ser completamente multimodal con conexiones marítima, ferroviaria y por carretera.

Dispone de 4.454 hectáreas de superficie de flotación, y en tierra firme 850 hectáreas destinadas al desarrollo logístico e industrial. Se destaca en tráfico de productos agroalimentarios, siderúrgicos y contenedores, dotado con las infraestructuras e instalaciones necesarias para el intercambio tierra-mar, en los muelles públicos (MP) y terminales portuarias (TP).

El puerto dispone de 5.343 metros lineales de muelles, 6 terminales polivalentes, superficie de almacenaje de 1,15 km<sup>2</sup>, 66.120 m<sup>3</sup> frigoríficos y 11 grúas.

Cuenta con una Zona Franca con un gran potencial de desarrollo para impulsar nuevas industrias que puedan generar sinergias con la actividad, una terminal de cruceros en el centro de la ciudad y la primera Zona de Actividad Logística (ZAL) de Andalucía, su situación, junto a la Terminal de Contenedores y a la Ferroviaria, lo posiciona como una plataforma logística de referencia con excelentes conexiones.

La esclusa conforma el punto de conexión entre la Eurovía del Guadalquivir y el recinto portuario. Su objetivo principal es servir de elevador de barcos desde el canal a la Dársena Comercial en Sevilla y viceversa, permitiendo la entrada de barcos de hasta 292 m de eslora. Tiene una segunda función como protección de la ciudad y cierre del muro de defensa ante grandes avenidas e inundaciones.

Está especializado en una amplia variedad de tráfico, siendo notables los productos agroalimentarios, siderúrgicos y el contenedor. Funciona como un importante punto logístico que conecta la península a las Islas Canarias con salidas marítimas semanales que conectan Sevilla con el archipiélago. A su vez, también destaca el tráfico ferroviario con trenes

regulares que vinculan Sevilla con Madrid, Bilbao, Extremadura, Córdoba, Valencia y Sines (Portugal).

Ofrece un entorno propicio para establecer y expandir sectores estratégicos para la economía de Andalucía. En el Polígono de Astilleros, sectores como la industria metalmeccánica y la relacionada con las energías renovables tienen una presencia sólida. En este área se fabrican componentes como torres eólicas marinas, piezas para puentes, pasarelas y acueductos, así como grandes estructuras metálicas.

En el año 2000 se aprobó el Plan Director del Puerto de Sevilla, que se configuró como la guía de desarrollo del puerto. La UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) elaboró el European Agreement on Main Inland Waterways of International Importance (AGN). Esto consigue facilitar el desarrollo internacional del transporte de mercancías a través de vías navegables europeas, teniendo en cuenta las expectativas de crecimiento del transporte internacional como consecuencia del crecimiento del comercio y recalando el importante papel de las vías navegables, en comparación con otros modos de transporte terrestre, en cuanto a las ventajas ecológicas y económicas que ofrecen, además de disminuir los costes sociales e impactos negativos en el medio ambiente del transporte terrestre en general.

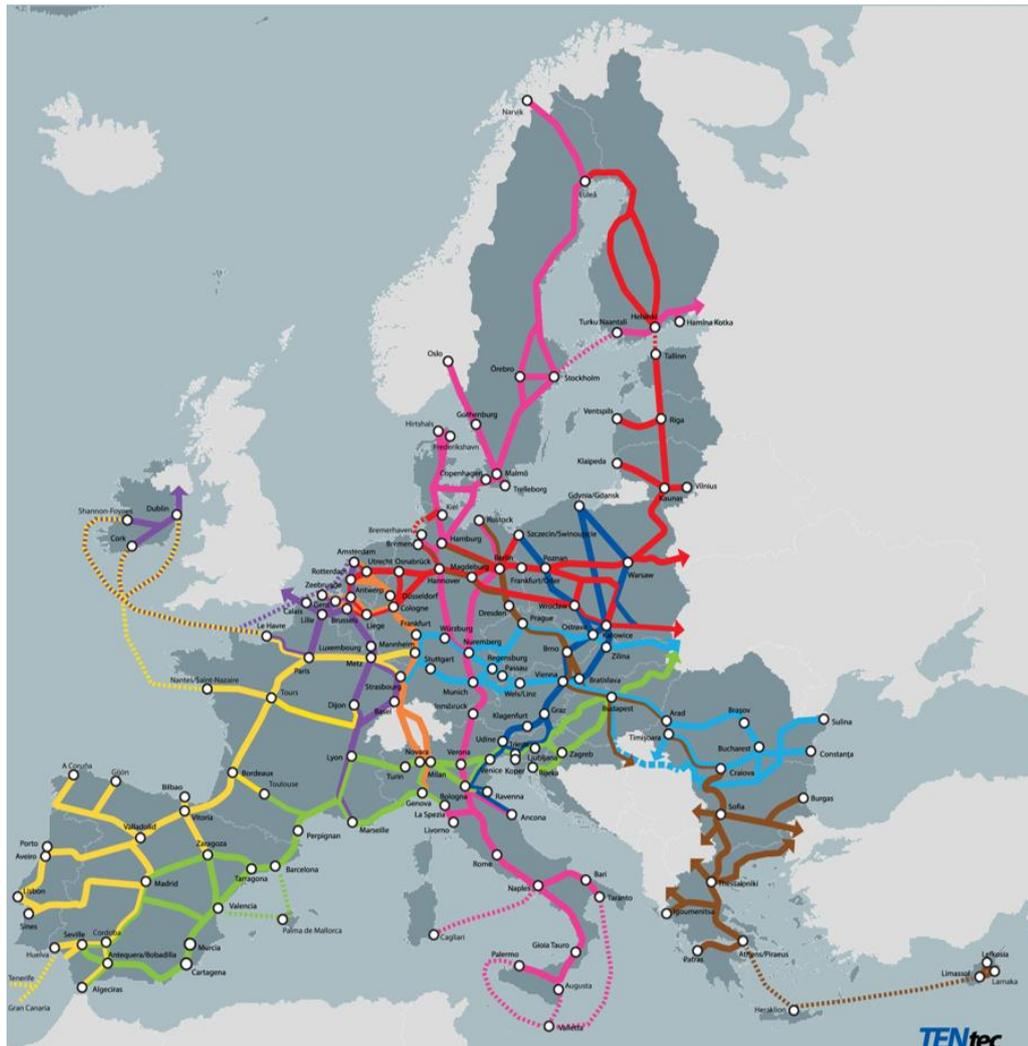
En el acuerdo se adopta como un plan coordinado para el desarrollo y construcción de una red de vías navegables, denominado "network of inland waterways of international importance", y manifiestan la intención de asumirlo dentro de la estructura de otros programas relevantes. Así, se incluye el Guadalquivir como vía navegable de importancia internacional, incluida en la ruta costera E-60, desde Gibraltar hasta el norte de Europa (Finlandia) [11].

El canal cuenta con una longitud de 89,156 km desde su desembocadura hasta Sevilla, con un ancho variable entre 60-100 m.



Imagen 3. Principales vías navegables interiores de la UE. [12]

Se ha declarado como un proyecto de transporte prioritario para el futuro de la Unión Europea. Esta designación se suma al Corredor Mediterráneo y al Corredor Central, que tienen un punto de partida en Sevilla. La ciudad se convierte en el epicentro del desarrollo de infraestructuras de transporte y servicios logísticos respaldados por financiamiento de la UE. Esto tiene como resultado la reducción de los costos logísticos y la consolidación de un polo de atracción para inversiones industriales y de transformación, con el consiguiente crecimiento económico.



**Imagen 4. Red Transeuropea de Transporte (TEN-T). [12]**

Es un gran referente en la ciudad, siendo un importante motor para el desarrollo económico y social de Andalucía. En su área de influencia, un total de 200 empresas contribuyen a la creación de más de 23.000 empleos. Esta industria tiene un impacto significativo en la economía, sobrepasando los 1.100 millones de euros.

### **3.2. ANÁLISIS DEL TRÁFICO DE MERCANCÍAS Y OPERACIONES PORTUARIAS**

El Puerto de Sevilla consta con una amplia variedad de tráfico de mercancías, relacionados con los principales sectores productivos de Andalucía, sirviendo como puerta logística de la península a las Islas Canarias, la cual ejerce de puerto hub o “puerto pivote” del de Sevilla para importantes destinos como los que se citan a continuación:

- América: Sudamérica y EE.UU.

- África: Argelia, Egipto y Marruecos
- Asia: China, Turquía e Israel
- Europa: Portugal, Alemania, Gran Bretaña, Holanda, Italia, Bélgica, Suecia y Ucrania

Los principales sectores son el agroalimentario, el siderúrgico y el contenedor, abriendo nuevos horizontes en tráficos como la biomasa o cargas especiales dentro del plan estratégico 2025.

Los últimos datos oficiales obtenidos en 2021 muestran un leve descenso del 0.6 % frente al 2020, movilizando un total de 4,2 millones de toneladas y alcanzando los 135.734 TEUs.

<b>Evolución tráficos (Tn)</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>
Graneles líquidos	422.753	269.016	293.337	346.907	360.075
Graneles sólidos	2.201.621	2.169.819	2.294.028	2.215.156	2.159.223
Mercancía general	1.901.287	1.969.515	1.769.104	1.640.294	1.659.298
<b>TOTAL Tn</b>	<b>4.525.661</b>	<b>4.408.351</b>	<b>4.356.469</b>	<b>4.202.357</b>	<b>4.178.597</b>
Nº TEUs	105.566	137.849	136.626	126.326	135.734

**Tabla 2. Evolución de Tráfico de Mercancías en el Puerto de Sevilla. [13]**

En el último registro, las chatarras de hierro crecieron en un 24,2%, que abastecen como materia prima las 2 plantas siderúrgicas del hinterland del puerto, ubicadas en los municipios de Jerez de los Caballeros y Alcalá de Guadaíra. Otra materia que vio un fuerte incremento fue el Clinker, con un 18% por encima de las cifras de la anualidad anterior. Los graneles líquidos también tuvieron un despunte, lejos de las cifras anteriores, con un incremento del 4% alcanzando las 360.075 Tn, ocupando el mayor porcentaje de estos los aceites y grasas, los productos químicos y abonos naturales y artificiales.

La mercancía movilizada en contenedor en el distrito logístico del batán creció en un 11,20%, en gran parte gracias a los 4 buques semanales que de forma regular conectaban con las Islas Canarias.

En el polo opuesto se encuentran los graneles sólidos, los cuales suponen el mayor porcentaje de tonelaje movilizado en el puerto, que ha visto reducida su producción en un 2,53%, siendo su segunda caída consecutiva en los últimos años.

<b>Evolución tráficos (% S/Total)</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>
Graneles líquidos	84,07	-36,37	9,04	0,18	3,80
Graneles sólidos	-2,16	-1,44	5,65	-0,03	-2,53
Mercancía general	-17,71	3,59	-10,34	-0,07	1,16
Mercancía contenerizada	-24,39	11,69	0,49	-0,09	11,26

**Tabla 3. Evolución del tráfico de mercancías en el Puerto de Sevilla. [13]**

En el año 2022, aunque a día de hoy no se dispone de los datos oficiales en cuanto a las toneladas movilizadas por el puerto, se recibieron 15 buques de grandes dimensiones, el mayor de ellos de 188 m (Lima Strait), frente a los 3 de 2021, aportando un total de 15.600 toneladas de trigo. Esta aportación abastece a dos de los grandes grupos harineros del sur de España instalados en el puerto de Sevilla.

Las mercancías se distribuyen a lo largo de la zona de servicio, la cual está distribuida en 14 áreas, que son las que a continuación se indican. Esta asignación por zona fue elaborada en la memoria de Delimitación de Espacios y Usos Portuarios (DEUP) en 2021 que marcó los usos previstos para cada área atendiendo a criterios objetivos con la debida justificación de su necesidad y conveniencia



Imagen 5. División en áreas del Puerto de Sevilla. [11]

- Área 0: Dársena urbana.

Abarca desde el puente de San Telmo hacia el Norte.

- Área 1: Las Delicias

Ubicada entre los puentes de San Telmo y Las Delicias, donde se localiza el grueso de la actividad portuaria en los comienzos de su historia.

Cuenta con dos muelles para atraque de cruceros y embarcaciones turísticas y dos zonas donde se realizan las actividades nauticodeportivas.



**Imagen 6. Área 1-Las Delicias. [11]**

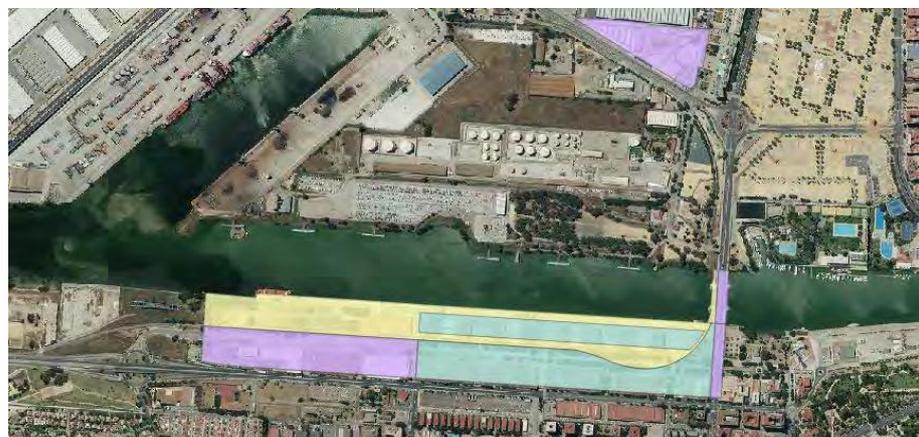
La asignación elaborada en la DEUP es la siguiente:

USOS EN EL ÁREA N.º 1 LAS DELICIAS		
Usos	Superficie (m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Usos Portuarios	35.266	15,57%
Comerciales	12.945	5,72%
Náutico-deportivos	20.941	9,24%
Complementarios de los anteriores	1.380	0,61%
Usos vinculados a la interacción puerto-ciudad	191.144	84,43%
<b>Total superficie</b>	<b>226.410</b>	<b>100,00%</b>

**Tabla 4. Usos área nº1: Las Delicias. [11]**

- Área 2: Muelle de Tablada

Incluye la superficie situada en el margen Este del Canal Alfonso XIII, acotada entre el Puente de las Delicias y una perpendicular ficticia a la ribera a la altura del puesto de control del Puerto por la avenida Guadalhorce.



**Imagen 7. Área 2-Muelle de Tablada. [11]**

En este muelle predominan los graneles sólidos y mercancía general, acompañado de un menor porcentaje de graneles líquidos.

La distribución y desglose de usos elaborada en la memoria de la DEUP es la siguiente:

USOS EN EL ÁREA N.º 2 MUELLE DE TABLADA		
Usos	Superficie (m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Usos Portuarios	141.727	57,92%
Comerciales	82.277	33,63%
Náutico-deportivos	0	0,00%
Complementarios de los anteriores	59.450	24,30%
Usos vinculados a la interacción puerto-ciudad	102.949	42,08%
Total superficie	244.676	100,00%

**Tabla 5. Usos área nº2: Muelle de Tablada. [11]**

- Área 3: Polígono de Tablada

Limitado al oeste por la carretera de la esclusa y al este por la Cabecera del Puerto y la Dársena del Batán, su uso es completamente logístico y operativo directamente relacionado con la actividad portuaria, y en la carretera de la Exclusa con actividades vinculadas a la interacción puerto-ciudad. Se trata de un área que no dispone de conexión directa al río.



**Imagen 8. Área 3-Polígono de Tablada. [11]**

La distribución de esta área diseñado en la memoria DEUP es:

USOS EN EL ÁREA N.º 3 POLÍGONO DE TABLADA		
Usos	Superficie (m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Usos Portuarios	172.276	72,41%
Comerciales	0	0,00%
Náutico-deportivos	0	0,00%

USOS EN EL ÁREA N.º 3 POLÍGONO DE TABLADA		
Usos	Superficie (m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Complementarios de los anteriores	172.276	72,41%
Usos vinculados a la interacción puerto-ciudad	65.644	27,59%
Total superficie	237.920	100,00%

**Tabla 6. Usos área nº3-Polígono de Tablada. [11]**

- Área 4: Cabecera del Puerto

Se ubica en la parte Este de Tablada, limitando con la carretera de la esclusa y extendiéndose por el Canal de Alfonso XIII.

La mayor parte se encuentra libre de edificaciones y construcciones y, al ser un área situada entre la trama urbana de la ciudad y en una zona de transición puerto-ciudad, ha provocado el descenso de la actividad productiva en la misma.



**Imagen 9. Área 4-Cabecera del Puerto. [11]**

La propuesta de asignación que se realizó en la memoria de Delimitación y Usos del Espacio Portuario, estructuró la zona en lo siguiente:

USOS EN EL ÁREA N.º 4 CABECERA DEL PUERTO		
Usos	Superficie (m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Usos Portuarios	56.787	24,79%
Comerciales	13.898	6,07%
Náutico-deportivos	18.659	8,15%
Complementarios de los anteriores	24.230	10,58%
Usos vinculados a la interacción puerto-ciudad	172.245	75,21%
Total superficie	229.032	100,00%

**Tabla 7. Usos área nº4: Cabecera del Puerto. [11]**

- Área 5: Dársena del Batán

A este pertenecen los muelles con mayor producción del puerto, el muelle del centenario y del Batán Norte. Esta formada por el terreno en el entorno de la dársena del Batán y la zona Este del Canal de Alfonso XIII.



Imagen 10. Área 5-Dársena del Batán. [11]

Su función principal es el embarque y desembarque de mercancías. La conforman la terminal de contenedores y la terminal ferroviaria con una superficie ocupada por explanadas que permiten el libre movimiento de mercancías.

La distribución y uso recogida en la DEUP se muestra en la tabla 8:

USOS EN EL ÁREA N.º 5 DÁRSENA DEL BATÁN		
Usos	Superficie (m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Usos Portuarios	606.537	100,00%
Comerciales	358.144	59,05%
Náutico-deportivos	0	0,00%
Complementarios de los anteriores	248.393	40,95%
Usos vinculados a la interacción puerto-ciudad	0	0,00%
Total superficie	606.537	100,00%

Tabla 8. Usos nºárea 5: Dársena del Batán. [11]

- Área 6: Mirador del Batán

Colinda con el área nº2 al Norte, al Sur con el puente del Centenario y al Oeste con el canal Alfonso XIII.



**Imagen 11. Área 6-Mirador del batán. [11]**

Tiene una baja ocupación debido a que en la actualidad solo permanecen vigentes las concesiones de Agencia Marítima Portillo, dedicada al tráfico de graneles sólidos y la concesión de Acciona.

USOS EN EL ÁREA N.º 6 MIRADOR DEL BATÁN		
Usos	Superficie (m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Usos Portuarios	109.598	56,11%
Comerciales	20.060	10,27%
Náutico-deportivos	0	0,00%
Complementarios de los anteriores	89.538	45,84%
Usos vinculados a la interacción puerto-ciudad	85.740	43,89%
<b>Total superficie</b>	<b>195.338</b>	<b>100,00%</b>

**Tabla 9. Usos área nº6: Mirador del Batán. [11]**

- **Área 7: Dársena del Cuarto**

Tiene sus límites marcados por el Mirador del Batán en el Norte y el viario de conexión con la esclusa al sur.

Cuenta con más de 7km de línea de agua, y actualmente está en desarrollo, con un total de 195 has que puede abastecer las satisfacer las capacidades futuras que requiera

La distribución y usos extraído de la memoria del DEUP se muestra en la tabla 10:



**Imagen 12. Área 7-Dársena del Cuarto. [11]**

USOS EN EL ÁREA N.º 7 DÁRSENA DEL CUARTO		
Usos	Superficie (m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Usos Portuarios	1.949.892	100,00%
Comerciales	310.784	15,94%
Náutico-deportivos	0	0,00%
Complementarios de los anteriores	1.639.108	84,06%
Usos vinculados a la interacción puerto-ciudad	0	0,00%
Total superficie	1.949.892	100,00%

**Imagen 13. Usos área nº7-Dársena del Cuarto. [11]**

- Área 8: Zonas de Actividades Logísticas

Superficie contigua a la terminal ferroviaria y al área de la Dársena del Batán.

Su uso se limita principalmente al desarrollo de actividades logísticas vinculadas a la actividad del puerto.



**Imagen 14. Área 8-Zona de Actividades Logísticas. [11]**

Su distribución y desglose definido en la memoria del DEUP es la siguiente:

USOS EN EL ÁREA N.º 8 ZONAS DE ACTIVIDADES LOGÍSTICAS		
Usos	Superficie (m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Usos Portuarios	654.035	100,00%
Comerciales	11.764	1,80%
Náutico-deportivos	0	0,00%
Complementarios de los anteriores	642.271	98,20%
Usos vinculados a la interacción puerto-ciudad	0	0,00%
Total superficie	654.035	100,00%

**Tabla 10. Usos área nº8-Zonas de Actividades Logísticas. [11]**

- Área 9: Polígono de Astilleros

Limita con la Zona Franca con la zona sur de Astilleros hasta alcanzar la ZAL.



**Imagen 15. Área 9-Polígono Astilleros. [11]**

Su uso se restringe meramente al comercial, aprovechando el acondicionamiento de la línea de agua para el embarque y desembarque de mercancías mediante muelles de atraque.

La memoria del DEUP definió los usos como se muestra a continuación:

USOS EN EL ÁREA N.º 9 POLÍGONO DE ASTILLEROS		
Usos	Superficie (m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Usos Portuarios	573.946	100,00%
Comerciales	41.005	7,14%
Náutico-deportivos	0	0,00%
Complementarios de los anteriores	532.941	92,86%

USOS EN EL ÁREA N.º 9 POLÍGONO DE ASTILLEROS		
Usos	Superficie (m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Usos vinculados a la interacción puerto-ciudad	0	0,00%
Total superficie	573.946	100,00%

Tabla 11. Usos área nº9-Polígono de Astilleros. [11]

- Área 10: Zona Franca

Abarca la zona Sur del recinto portuario al Este del canal de Alfonso XIII. En el Norte queda definido en el perímetro de los antiguos Astilleros de Sevilla y la Terminal Portuaria Esclusa. Al Sur se extiende hasta el propio canal.



Imagen 16. Área 10-Zona Franca. [11]

Su uso es comercial, ya que la línea de agua está concebida para que a través de los muelles de atraque conecte con la lámina de agua y permita el intercambio entre modos de transporte.

La distribución y desglose propuesta en el DEUP se muestra en la siguiente tabla:

USOS EN EL ÁREA N.º 10 ZONA FRANCA		
Usos	Superficie (m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Usos Portuarios	771.133	100,00%
Comerciales	36.538	4,74%
Náutico-deportivos	0	0,00%
Complementarios de los anteriores	734.595	95,26%
Usos vinculados a la interacción puerto-ciudad	0	0,00%
Total superficie	771.133	100,00%

Tabla 12. Usos área nº10-Zona Franca. [11]

- Área 11: Esclusa-Punta del Verde

El área está conformada por los terrenos situados al sur de la zona de servicio terrestre del puerto, en la margen derecha del canal Alfonso XIII. Al Norte colinda con la Zona Franca, al Sur con La Punta de El Verde y la ampliación de la Esclusa. La zona de servicio y el Canal acotan el área de Oeste a Este

Su uso se limita al comercial, con un total de 124 has se espera que en un futuro tenga la capacidad de abordar el crecimiento del puerto a medida que avance el crecimiento hacia la zona Sur.



Imagen 17. Área 11-Esclusa Punta del Verde. [11]

La distribución y desglose propuesta en el DEUP se muestra en la siguiente tabla:

USOS EN EL ÁREA N.º 11 ESCLUSA-PUNTA DEL VERDE		
Usos	Superficie (m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Usos Portuarios	1.240.770	100,00%
Comerciales	44.332	3,57%
Náutico-deportivos	0	0,00%
Complementarios de los anteriores	1.196.438	96,43%
Usos vinculados a la interacción puerto-ciudad	0	0,00%
Total superficie	1.240.770	100,00%

Tabla 13. Usos área nº11-Esclusa Punta del Verde. [11]

- Área 12: Zona de Reserva

La componen los terrenos ubicados al Sur, correspondientes al término municipal de Dos Hermanas.

Siguiendo el principio de la zona anterior, esta se destina principalmente a abordar la capacidad del puerto, garantía del desarrollo futuro del mismo.



**Imagen 18. Área de Reserva Portuaria. [11]**

La distribución y desglose propuesta en el DEUP se muestra en la siguiente tabla:

USOS EN EL ÁREA N.º 12 ZONA DE RESERVA		
Usos	Superficie (m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Reserva portuaria	1.852.944	100,00%
Total superficie	1.852.944	100,00%

**Tabla 14. Usos área nº12: Zona de Reserva. [11]**

- **Área 13: Instalaciones en el Guadalquivir**

Se compone de diversos terrenos con usos agrícolas e instalaciones de apoyo, tanto al tráfico como al mantenimiento y dragado.

La distribución y desglose propuesta en el DEUP se muestra en la siguiente tabla:

USOS EN EL ÁREA N.º 13 INSTALACIONES EN EL GUADALQUIVIR		
Usos	Superficie (m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Usos Portuarios	593.634	22,85%
Comerciales	475	0,02%
Náutico-deportivos	0	0,00%
Complementarios de los anteriores	593.159	22,83%

USOS EN EL ÁREA N.º 13 INSTALACIONES EN EL GUADALQUIVIR		
Usos	Superficie (m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Usos vinculados a la interacción puerto-ciudad	808	0,03%
Reserva portuaria	2.003.883	77,12%
Total superficie	2.598.325	100,00%

Tabla 15. Usos área nº13-Instalaciones del Guadalquivir. [11]

### 3.3. ESTUDIO OPS DEL PUERTO DE SEVILLA

En el año 2021, un grupo de empresas consultoras formado por: Ghenova, InovaLabs, Seaplace y PPE, elaboraron un estudio para el Puerto de Sevilla sobre la implementación de la tecnología OPS en el Muelle del Centenario<sup>[14]</sup>. Este estudio cumplía con el alcance descrito en la *actividad 4 del Modelo General de Acuerdo de Subvención de la Unión Europea*.

El presente apartado del trabajo recoge dicho estudio, en el que se elabora un diseño de la instalación OPS junto con un estudio análisis económico-financiero, el cual será comentado en el punto 6.

#### 3.3.1. DETALLES DEL BUQUE DE ESTUDIO

Los buques de estudio son dos buques "hermanos" tipo Con/Ro, es decir, con carga rodada y contenedores en la cubierta principal del armador OPDR, y sus características principales son:

Eslora	145 m
Manga	22 m
Calado	6,0 m
Capacidad vehículos	1550 metros lineares
Capacidad de Contenedores	500 TEU
Velocidad	16,4 nudos

Tabla 16. Con/Ro - Características Principales



Imagen 19 - Muelle Centenario

Los buques tienen líneas regulares de transporte, y las estancias programadas son semanales. El primer buque llega el jueves a las 18:00 h (aprox.) y zarpa el viernes a las 16:00 h (aprox.), mientras que el segundo llega el lunes a las 22:00 h (aprox.) y zarpa el martes a las 16:00 h. En otras palabras, cada uno de ellos permanece en puerto durante alrededor de 22 horas.

Durante su estancia en puerto en la condición "en puerto carga y descarga", estos buques consumen una potencia de aproximadamente 2,400 kW. Estos 2,400 kW se consideran la potencia pico en puerto y se asume que el buque la consume durante el 20% del tiempo que permanece en puerto. El 80% restante del tiempo en puerto, el consumo eléctrico se limita a los consumidores "hotel", con una potencia aproximada de 1,000 kW.

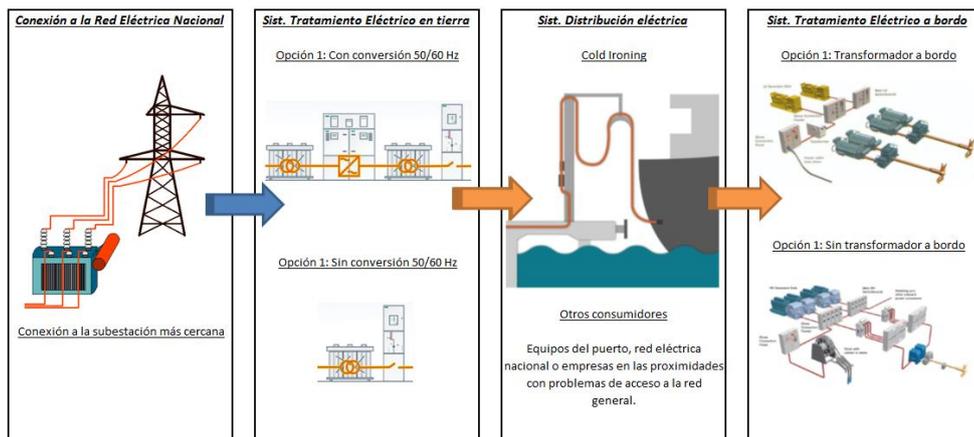
El consumo eléctrico durante la estancia del buque en puerto se distribuye de la siguiente manera:

- 4.4 horas a un consumo de 2.400 kW.
- 17.6 horas a un consumo de 1.000 kW.

La tensión eléctrica del buque es de 440 V a una frecuencia de 60 Hz.

### 3.3.2. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN OPS

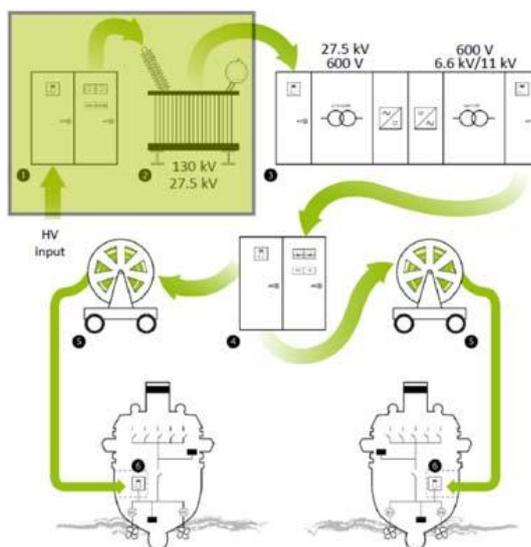
A continuación, se presenta el esquema típico de una instalación OPS:



**Imagen 20. Esquema OPS**

### 3.3.2.1. CONEXIÓN A LA RED ELÉCTRICA NACIONAL

Para la conexión a la red eléctrica nacional, es necesario elegir la subestación más cercana al muelle y observar si está adaptada y con capacidad suficiente para atender la demanda "cold-ironing" de los buques del muelle en estudio.



**Imagen 21. Conexión a la red nacional**

En este punto, será considerada la necesidad de adaptación de los equipos de la subestación (en caso de no tener capacidad suficiente), la obra civil y el tendido de cables necesario para llevar la energía hasta el punto de conexión en el puerto.

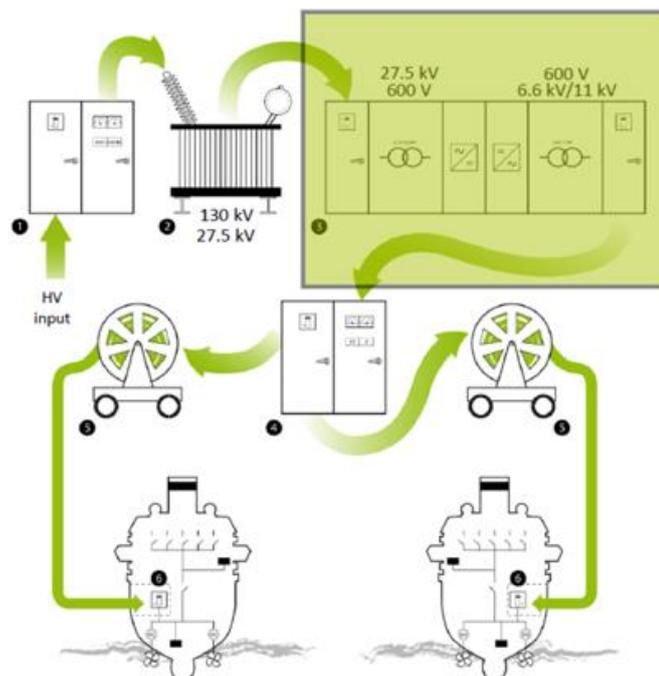
### 3.3.2.2. SISTEMA DE TRATAMIENTO ELÉCTRICO EN TIERRA

La configuración del sistema de tratamiento eléctrico en tierra va a depender de los parámetros eléctricos de salida de la subestación (tensión,

frecuencia, etc.) y de los parámetros eléctricos de la demanda de los buques. Así, puede estar compuesta por uno o varios transformadores, convertidores de frecuencia (si fueran necesarios), cuadros eléctricos, etc.

Port	Country	Connection voltage	Frequency
Port of Göteborg	Sweden	400 V / 6.6 kV / 10 kV	50 Hz
Port of Stockholm	Sweden	400 V / 690 V	50 Hz
Port of Helsingborg	Sweden	400 V / 440 V	50 Hz
Port of Piteå	Sweden	6 kV	50 Hz
Port of Antwerp	Belgium	6.6 kV	50 Hz / 60 Hz
Port of Zeebrugge	Belgium	6.6 kV	50 Hz
Port of Lübeck	Germany	6 kV	50 Hz
Port of Kotka	Finland	6.6	50 Hz
Port of Oulu	Finland	6.6 kV	50 Hz
Port of Kemi	Finland	6.6 kV	50 Hz
Port of Los Angeles	USA	440 V / 6.6 kV	60 Hz
Port of Long Beach	USA	6.6 kV	60 Hz

**Imagen 22. Ejemplo de OPS existentes**



**Imagen 23. Sistema de tratamiento eléctrico en tierra**

Hay dos tipos básicos de configuración que dependen del voltaje de salida, es decir, si el buque va a recibir la electricidad en alta o bajo voltaje:

### Alternativa Low Voltage (LV)

La configuración de baja tensión (LV) es una opción que ha sido instalada en puertos europeos, como los de Gotemburgo y Helsinki, pero se considera en desuso en comparación con la configuración de alta tensión. Su principal desventaja radica en que requiere un mayor número de cables

para alimentar el buque, lo que complica y encarece el sistema de distribución de potencia hasta el buque. Sin embargo, dependiendo del tamaño y tipo de la potencia demandada, puede ser una opción mejor que la de alta tensión. Las configuraciones LV están recomendadas para una demanda de potencia inferior a 1 MW y para una flota operada en baja tensión (350-450V), lo que evita la necesidad de instalar un transformador a bordo del buque. La instalación debe ser diseñada según la norma "IEC / ISO / IEEE 80005-3, Low Voltage Shore Connection".

### Alternativa High Voltage (HV)

Las últimas instalaciones de OPS en puertos europeos han sido diseñadas con una configuración en alta tensión, ya que la mayoría de ellas se han construido para suministrar energía a buques de crucero con una alta demanda de potencia, que comúnmente utilizan alta tensión (6,6 - 11 kV). Esta configuración simplifica el sistema de distribución de potencia hasta el buque, pero requiere que los buques operados en baja tensión instalen un transformador adicional para poder conectarse en puerto. La instalación debe ser diseñada según la norma "IEC / ISO / IEEE 80005-1, High Voltage Shore Connection". En el caso en estudio, se ha considerado la solución en alta voltaje.

#### 3.3.2.3. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

El sistema de distribución de energía eléctrica hasta el buque debe adaptarse a la realidad del puerto, evitando al máximo las interferencias en la operación normal del muelle. En el mercado existen varias alternativas que se describirán en los próximos apartados y suelen incluir una caja de conexión y un sistema de maniobra de cables.

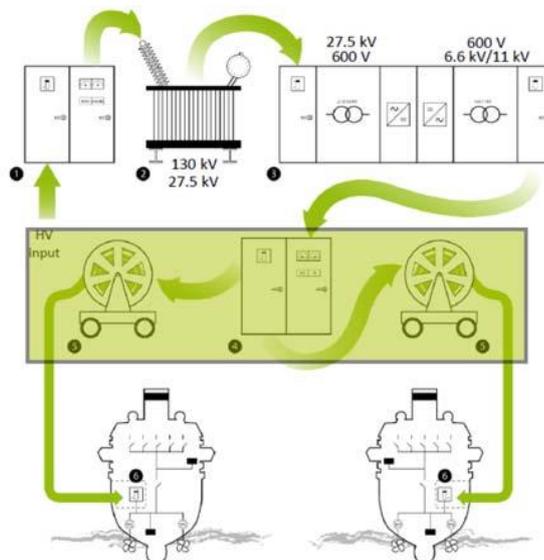


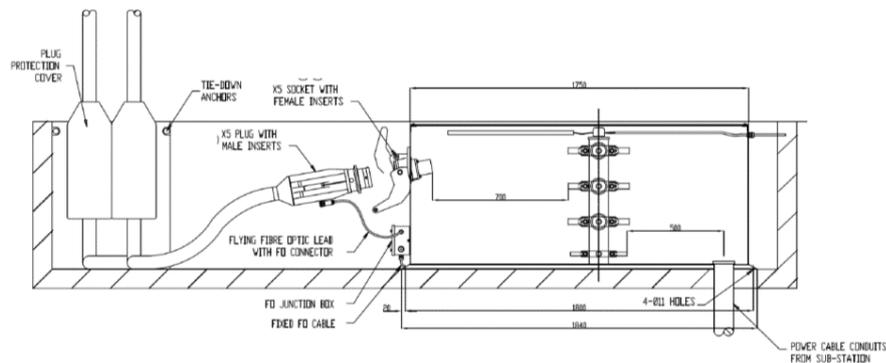
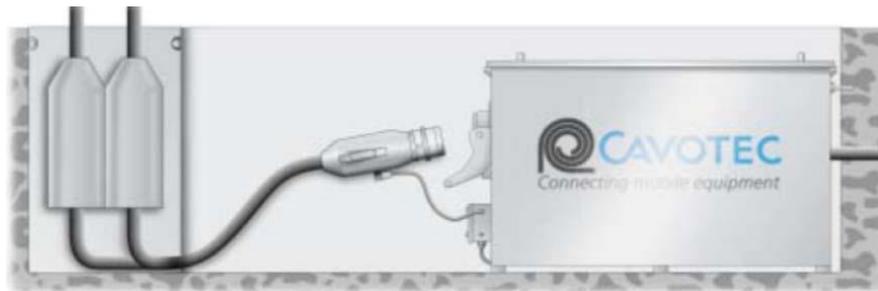
Imagen 24. Sistema de distribución eléctrica hasta el buque

Dependiendo del tipo de buques que deben ser conectados y del sistema de maniobra de cables hasta el buque, será necesario instalar un mayor o menor número de cajas de conexión en el muelle. Estas cajas de conexión también deben contener los puntos de comunicación entre el buque y tierra, por lo que un conector de fibra óptica debe estar integrado en la caja.

En el mercado existen varios proveedores de este tipo de cajas de conexión en el muelle, como por ejemplo "Cavotec" o "Schneider".



**Imagen 25. Caja de conexión – Ejemplo**



**Imagen 26. Caja de Conexión CAVOTEC.**

Las cajas de conexión pueden ser soterradas para evitar al máximo interferencias en el muelle con los sistemas de operación habituales allí instalados, o instaladas directamente en el muelle con una solución más sencilla y más económica. En este último caso, se opta por la solución externa que será descrita posteriormente.

Además de las cajas de conexión, es necesario un sistema de maniobra de cables que lleve los cables desde la caja de conexión en el muelle hasta el cuadro de conexión del buque, o viceversa. En el mercado existen varias soluciones para este sistema, que pueden ser móviles o fijas, y también pueden ser integradas en el propio buque o en el muelle.

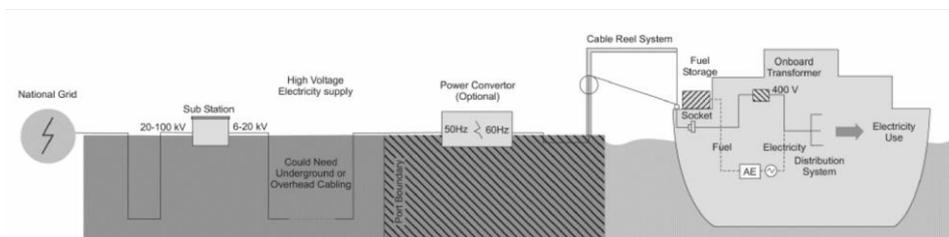


**Imagen 27. Grúas fijas en el muelle – Ejemplo**

#### 3.3.2.4. SISTEMA DE TRATAMIENTO ELÉCTRICO A BORDO

El tratamiento eléctrico a bordo es necesario para facilitar una conexión segura y rápida con el puerto. Este sistema está compuesto por un cuadro de conexión para los cables que provienen del puerto y, dependiendo de la instalación en el muelle, también puede incluir un transformador que adecua la tensión del puerto a la del buque. Las tensiones del puerto pueden variar, ya sea en baja tensión (LV) con valores como 380V, 400V, 440V, 690V, o en alta tensión (HV) con valores como 6,6 kV o 11 kV, y la frecuencia puede ser de 50 Hz o 60 Hz.

En el mercado, proveedores como "Schneider," "Siemens," y "ABB" ofrecen paquetes diseñados para adaptar los buques a una conexión OPS. A continuación, se describen con más detalle los principales componentes necesarios:



**Imagen 28. Esquema típico OPS, instalación a bordo**

### Cuadros de Conexión

Los cuadros de conexión están típicamente formados por:

- Bases de conexión
- Toma de tierra
- Interruptor
- Indicador secuencia fases
- Central de medida en puerta



Imagen 29. Cuadro de conexión a bordo

### Transformador

Cuando la tensión suministrada en el puerto no coincide con la tensión de alimentación del buque, es necesario instalar un transformador a bordo, por ejemplo, con una relación de 1,1 kV a 440 V.



Imagen 30. Transformador a bordo

### Cuadro de Sincronización

La transición entre la alimentación proporcionada por los generadores de la embarcación y la conexión eléctrica del puerto debe ser ininterrumpida. Esta transición puede llevarse a cabo de manera manual, automática o semiautomática, y la elección de la solución debe adaptarse a las especificaciones de cada buque de forma personalizada.



**Imagen 31. Sincronización a bordo**

En el mercado, se encuentran disponibles soluciones modularizadas que integran los componentes mencionados y que pueden ser instaladas temporalmente en la cubierta exterior del buque durante la conexión, retirándose cuando la embarcación abandona el puerto. Un caso ilustrativo de esto es el Wartsila SAMCon.

### **3.3.3. DETALLES DE LA SOLUCIÓN OPS**

#### **Subestación de Conexión – Subestación Tablada**

La subestación más cercana a la Dársena de Batán en el puerto de Sevilla es la de Tablada. Según el estudio y tras haber interactuado con Endesa, la empresa distribuidora de electricidad en la ciudad, y sin disponer de anteproyecto, se ha seleccionado la subestación de "Tablada" como la más adecuada para el proyecto en cuestión, a pesar de que será necesario realizar algunas obras de refuerzo.



**Imagen 32. Subestación de Tablada**

La distancia desde la subestación hasta el punto en el muelle donde se propone instalar el centro de transformación es de aproximadamente 1 kilómetro.

### Obra Civil y Cableado hasta el Centro de Conexión

El tramo de un kilómetro entre la subestación y el punto de transformación más cercano al muelle seguirá la ruta de tendido eléctrico tal como se muestra en la figura siguiente. Todo el cableado se realizará utilizando doble línea de cable HEPRZ1 3x1x240 Al H16 12/20 kV.



Imagen 33. Tendido de Cables



Imagen 34. Cable Seleccionado

### Centro de Tratamiento Eléctrico Próximo al Muelle

Como se mencionó anteriormente, la configuración del Centro de Tratamiento Eléctrico o Sistema de Tratamiento Eléctrico en tierra dependerá de los parámetros eléctricos de salida de la subestación (tensión, frecuencia, potencia, etc.), los parámetros eléctricos de la demanda de "cold-ironing," su ubicación en el puerto y si es de naturaleza móvil o fija. En el mercado, hay proveedores como "Schneider," "Siemens," y "ABB" que ofrecen modelos de subestaciones adaptados para operaciones OPS.

Se recomienda el uso de su solución estándar "Shore Box" con conversión de frecuencia, ya que la frecuencia del buque es de 60 Hz, mientras que la de la red nacional es de 50 Hz.



Feature	Value	Comment	
Dimensions	Length : 13,4m (44ft) Height : 3,25m (10,6ft) Width : 3,4m (11.1ft)		
Weight	38T		
Input voltage	[5,5 – 24] KV	Customized at manufacture	
Rated short-time withstand current	[0 – 16] KA	Customized at manufacture	
Short-time withstand current duration	[0 – 1000] ms	Customized at manufacture	
Output voltage	11 KV	IEC/ISO/IEEE 80005-1	
Number of output cables	1	IEC/ISO/IEEE 80005-1	
Cooling	Air Forced (fans)		
Temperature withstand	-10 to 35°C (14 to 95°F)		
Humidity level withstand	95°		
Wind withstand	50m/s		
Earthquake eurozone	Eurocode 8 Category 3 Zone 4		
Sound pressure	80dBA at 1m		
Water resistant	IP44		
Snow load	4700N/m <sup>2</sup> max		

		Standard	Option
Frequency conversion	50Hz → 50Hz 50Hz → 60Hz	✓	Adjustable
Ship to shore interface	1 1 additional for 2 interfaces 1 additional for 3 interfaces	✓	Interlock system included Interlock system included
Human Machine Interface	Magelis touch screen	✓	
HMI language	English Local language	✓	✓
Visual monitoring	Light indicator on shelter	✓	
Sound monitoring	Siren on shelter	✓	
Auxiliary power supply	Supply peripheral device such as ship interface (crane, outlet box)	✓	
Connection management	Automatic / Manual	✓	Adjustable
User rights management	User mode Standard maintenance Expert maintenance	✓	Adjustable Protected by key + password
GPRS remote monitoring	Fault reporting on mobile & mail		✓
Data transmission with ship	Ethernet optical fiber Messaging		✓ Conformant to future IEC/ISO/IEEE 80005-2
External interface for SCADA	Ethernet optical fiber Documented Input Output table	✓	Modbus TCP protocol IEC61850 (Sepam)
External Interface for HMI	Ethernet optical fiber Plug and play. Replaces ShoreBoX internal Magelis screen.	✓	

**Imagen 35. ShoreBox spec. (Sneider)**

Se está considerando un solo punto de conexión en el estudio, ya que se está contemplando únicamente una línea regular de dos buques sin atracar simultáneamente, por lo que no serían necesarias conexiones adicionales.

Los principales equipos eléctricos del Shore Box son:

- Cuadro de distribución de media tensión de entrada (Upstream MV switchboard - MVEDI)

- Transformadores de entrada (Upstream Transformers - TRAI).
- Transformador de salida (Downstream Transformer - TRAO).
- Grupo de resistencia de tierra del neutro (Neutral resistor grounding - NRG).
- Cuadro de distribución de media tensión de salida (Downstream MV switchboard - MVEDo).

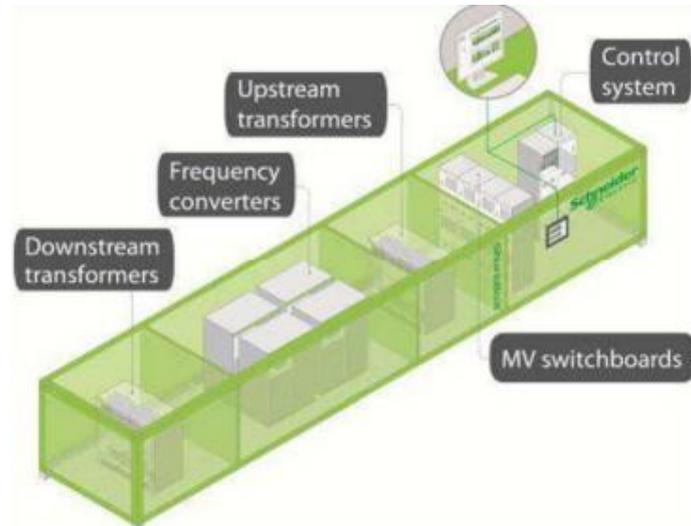


Figura 23 – ShoreBox components (Schneider)

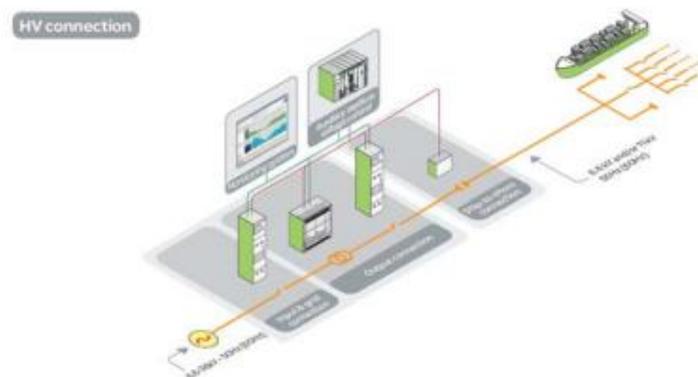


Imagen 36. Arquitectura típica ShoreBox sin convertidor (Schneider)

### Caja de Conexión

Dado que el Centro de Tratamiento Eléctrico ("Shore Box") estará ubicado en el propio muelle, se requerirá un tendido de cables de no más de 100 metros desde el Shore Box hasta la caja de conexión/grúa en el Muelle Sur.



**Imagen 37. Propuesta de ubicación - Centro de Transformación y Caja de Conexión**

En el caso en estudio, el buque transporta tanto carga rodada como contenedores que se cargan y descargan mediante las grúas del muelle. Por esta razón, es posible que existan interferencias entre los equipos del muelle y una caja de conexión en su ubicación actual. En etapas posteriores del proyecto, se debe analizar la conveniencia de instalar una caja de conexión subterránea para abordar estas posibles interferencias y mejorar la operatividad del puerto.

**Sistema de Maniobra de Cables (CMS-“Cable Management System”)**

La disposición del buque, la orientación del muelle y su organización permiten que la opción de una grúa fija sea factible sin afectar negativamente la operación normal del muelle, y además, con un costo considerablemente más bajo que otras alternativas de mayor complejidad técnica.

UPM-CAR ha especificado una grúa robotizada de tipo mástil con una altura de 5 metros y un alcance horizontal telescópico de 3 metros. Esta grúa está equipada con un almacén de cables automatizado que puede controlar más de 12 metros de cable, lo que la hace una solución eficiente y versátil para las necesidades de carga y descarga en el muelle.

**3.3.4. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA**

Como ya se mencionó, los buques en estudio pertenecen al tipo Con/Ro y tienen atraques semanales con una estancia de aproximadamente 22 horas cada uno. Para estimar la demanda, se han tenido en cuenta las siguientes hipótesis:

- El consumo eléctrico pico es de aproximadamente 2,400 kW durante las operaciones de carga y descarga, que representan el 20% del tiempo de estancia en el puerto.
- El consumo eléctrico medio es de aproximadamente 1,000 kW cuando el buque consume solo para operaciones de hotelería, lo que ocurre durante el 80% del tiempo de estancia en el puerto

Calculo Mensual y Anual de Demanda (MWh)	
Total de potencia consumida en un mes (4 semanas)	225,3
Total de potencia consumida en un año (52 semanas)	2.928,6

Tabla 17. Demanda energética

## 4. ASPECTOS TÉCNICOS Y TECNOLÓGICOS DE LA ELECTRIFICACIÓN

---

### 4.1. TECNOLOGÍAS Y EQUIPOS PARA LA INFRAESTRUCTURA PORTUARIA

Para llevar a cabo el proyecto es necesario electrificar y automatizar desde el atraque hasta el envío.

Empresas punteras en el mercado innovan y desarrollan tecnologías para garantizar los niveles de rendimiento exigidos por las autoridades portuarias, con la automatización de amarres, que disminuye el tiempo de ejecución aprovechando la estancia en el puerto, energía en tierra, electrificación de grúas, conexión y cargas.

#### Automatización de sistemas de atraque

Las nuevas tecnologías automatizadas de atraque basadas en vacío eliminan la necesidad de líneas de amarre mejorando la seguridad y eficiencia operativa, optimizando la interfaz barco-costa y permitiendo ahorrar en infraestructura a los puertos, así como tiempo y combustible a los buques.

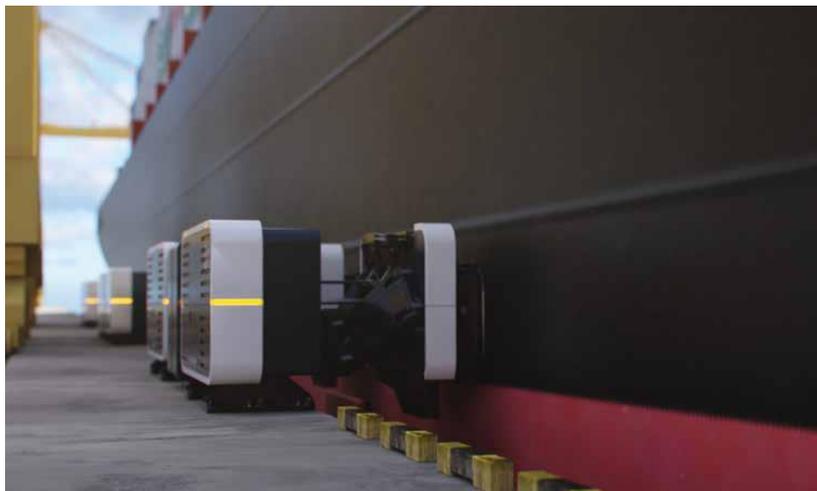


Imagen 38. Ventosas Amarre. [15]

Consta de unas ventosas adherentes a cualquier superficie plana, que conectan al aparador paralelo de la embarcación, lo que conlleva una nula inversión en cuanto a infraestructuras, una reducción del consumo de energía y una reducción de más del 90% en las emisiones durante el atraque permitiendo una conexión rápida y sencilla a la red eléctrica. Además,

reduciendo el tiempo de respuesta y más escalas de barcos, dan como resultado una mayor productividad.

Respecto a los sistemas de alimentación para Con/Ro:

El estándar internacional de conexión a tierra establece que los cables de alimentación de tierra para buques con transporte de cargamento rodado (RoRo) y pasajeros deben conectarse desde la costa al barco, impidiendo el uso de sistemas a bordo.

En estos casos, sistemas móviles con tracción eléctrica o que permitan remolcarse a través de un vehículo son las soluciones óptimas para conectar fácilmente embarcaciones de alto voltaje a la red costera.

Estos sistemas están compuestos por un remolque robusto y una grúa con brazo articulado/telescópico que contiene el cable de alimentación y enchufes de alta tensión, los cuales, a través de sistemas de accionamiento electrónicos regulan la tensión del cable con dos enrolladores de cable auxiliares para la alimentación de baja tensión y conexión de señales.



Imagen 39. Sistema de conexión para buques Con/Ro. [15]

### Equipamiento móvil del Muelle

En ciudades como Barcelona, se está renovando el equipamiento móvil mediante sistemas híbridos, en octubre de 2023, la terminal BEST ha incorporado 6 equipos híbridos *Shuttle Carriers*, claves en la producción ya que son los encargados de realizar los movimientos de contenedores entre las distintas áreas de las instalaciones.

Esta terminal se abastece principalmente de energía eléctrica, a diferencia del Muelle del Centenario, procediendo exclusivamente de fuentes de energía renovables. Esta incorporación al equipamiento podrá reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> hasta en un 40%, afianzando la posición de la terminal como una de las más sostenibles de Europa.



Imagen 40. Shuttle Carriers Terminal BEST. [16]

*Boluda Corporation Marítima* junto con la compañía francesa *CMA-CGM* comparten la gestión de la Terminal Marítima del Guadalquivir. Para ello disponen de un equipamiento que consta de numerosos tipos de carretillas, como Mafis, Fork Lift y Reach Stacker, capaces de movilizar hasta 45 toneladas, plataformas y grúas pórtico, en este caso, 2 grúas Feeder del año 2000, que son las encargadas principales de la descarga de buques con un rendimiento en condiciones normales de 30 contenedores/hora por equipo [16].

Actualmente, las grúas pórtico funcionan con diésel, por lo que se propone la incorporación de un sistema de control eléctrico con alimentación externa. De esta forma, las emisiones contaminantes en estos equipos se vuelven nulas.



Imagen 41. Grúa STS Feeder Puerto de Sevilla.

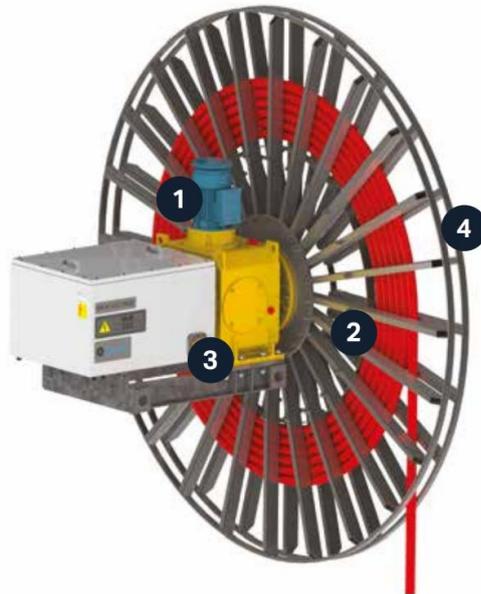
Para ello, los diseños que encontramos actualmente constan de una bobina de cable motorizada, con sistemas de protección de cable y conectores eléctricos que aseguran una conexión eficiente y segura.

Tiene un recorrido de 350 metros, y se incorpora en la base de la grúa, al pie de estas, como se muestra en la siguiente imagen.



Imagen 42. Sistema de control eléctrico en grúa pórtico.

El sistema propuesto, extraído de la compañía Cavotec, se compone de los siguientes elementos:



1. Motor: Cumpliendo con la norma IEC, pueden ser motores estándar de Jaula de Ardilla o motores par.
2. Caja de engranajes: siete cajas de engranajes y ocho unidades de par con una salida de par variable de 100-200 daNm.
3. Colector: Colector para energía y señales con voltajes entre 6,6 – 11 kV.
4. Tambor: En el se aloja el cable de alimentación.

**Imagen 43. Componentes del sistema. [15]**

Para aumentar la seguridad en el puerto, se establece incorporar un sistema de protección de cables que incorpora una correa continua semirrígida de goma reforzada con acero incrustado, colocado sobre una ranura hecha en el muelle.

La correa se sujeta al borde a lo largo de un extremo mientras el otro queda libre para ser levantado por la guía de cables y un dispositivo de elevación de correas ubicado en la grúa. De esta forma, además de aumentar la seguridad, se mejora la eficiencia operativa, la vida útil de los cables y se reduce el tiempo de inactividad de las grúas por interferencias de paso.



**Imagen 44. Sistema de protección de cables. [15]**

## 4.2. INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN EL SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN

Con el fin de reducir las emisiones y avanzar en línea con el objetivo de estudio, en este apartado, se desarrolla la incorporación de un parque solar en la red eléctrica del puerto, lo que nos acercaría aún más a la meta de convertir el puerto en un lugar más respetuoso con el medio ambiente.

La energía solar fotovoltaica nos permite cubrir nuestras necesidades energéticas de manera sostenible. Es altamente beneficioso considerar la implementación de esta tecnología a nivel local, ya que reduce la necesidad de construir infraestructuras masivas para transportar energía desde lugares lejanos.

Al encontrarnos en la provincia de Sevilla, la estimación de cantidad de energía media diaria por unidad de superficie es superior a 5 kWh/m<sup>2</sup>, perteneciente a la zona climática con mayor irradiación solar en España, por lo que la instalación estaría justificada.

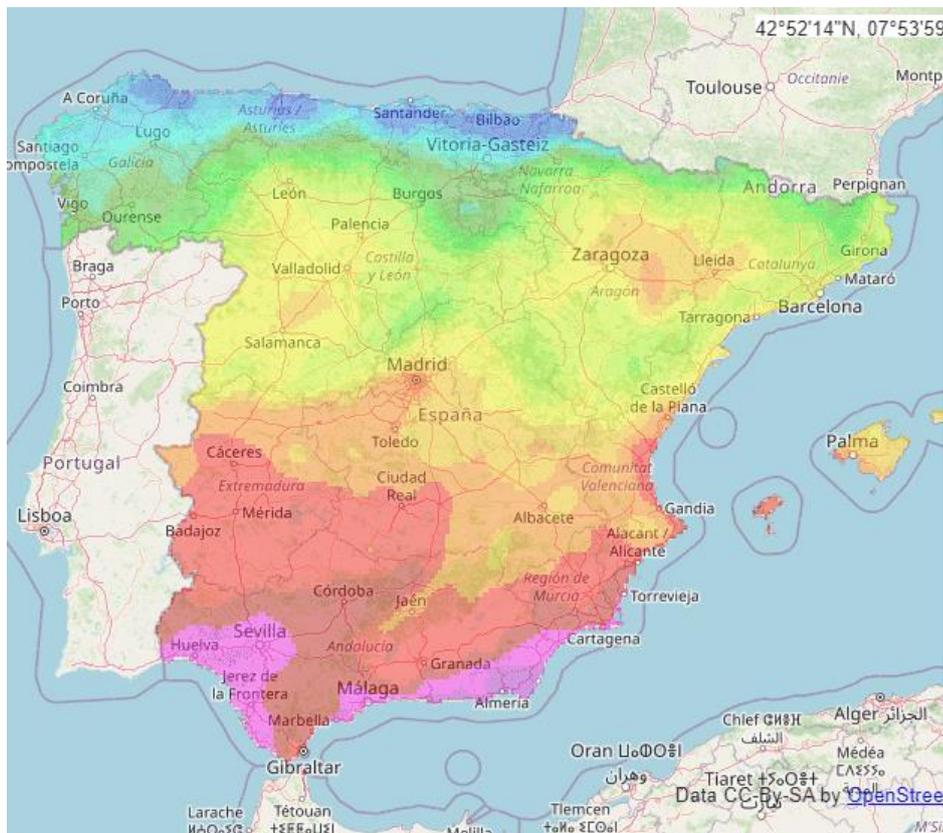


Imagen 45. Mapa de irradiación España

Zona climática	Irradiación media diaria (kWh/m <sup>2</sup> )
I	< 3.80
II	3.80 - 4.20
III	4.20 – 4.60
IV	4.60 – 5.00
V	> 5.00

**Tabla 18. Irradiación media diaria en España.**

La zona que podría cubrir estas necesidades podrían ser el polígono de Astilleros, colocando los paneles en el techo de las naves, o la Esclusa Punta del Verde, la última con mayor capacidad aunque más alejada del muelle del centenario.

Como ya se comentó en el *punto 3.2. Análisis Del Tráfico De Mercancías Y Operaciones Portuarias*, la Esclusa Punta del Verde tiene capacidad para albergar el futuro crecimiento del puerto, y consta de una superficie de 124 ha, lo que permitiría ocupar parte de esa zona y destinarla a generar energía solar. Además, considerando las futuras ampliaciones del puerto, se podría destinar o reservar una superficie aledaña a la propuesta que sirva para satisfacer las necesidades futuras.

Contando con una superficie de 6.000 m<sup>2</sup>, lo que albergaría 2.070 placas solares, produciría una cantidad de energía anual estimada en 2.000 MWh, suficiente para abastecer el sistema OPS a instalar, y destinar parte de esta a alimentar las instalaciones portuarias en las áreas cercanas como el polígono de astilleros.

#### **4.3. SISTEMAS DE CONTROL Y MONITORIZACIÓN PARA UNA GESTIÓN EFICIENTE**

Los sistemas de control y supervisión estarán automatizados, compuestos por un transmisor programable, pantallas de visualización y conectividad de telecomunicaciones externa, los cuales permiten a los operadores recibir mensajes, establecer alarmas y recibir indicaciones de estado.

En caso de situaciones de emergencia, se implementará un sistema de desconexión automática, que activará los interruptores de protección del sistema de gestión de cables, tanto en la infraestructura portuaria como en la embarcación. Se instalarán pulsadores de emergencia que permitan una

desconexión inmediata y controlada de los equipos, garantizando una rápida respuesta ante situaciones críticas.

Estos sistemas permiten optimizar las operaciones portuarias, facilitando la gestión de carga y descarga de buques, así como la administración de terminales, reduciendo los tiempos consiguiendo aumentar los niveles de rendimiento.

#### **4.4. CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO**

Es necesario establecer medidas de seguridad y mantenimiento para garantizar el correcto, seguro y eficiente funcionamiento de los equipos. Una periódica limpieza y revisiones por parte de especialistas es vital para la seguridad de los operadores y aumentar la vida útil de los equipos.

Además, el personal encargado de operar con los equipos estará obligado a usar EPI's en todo momento, y seguir el plan de seguridad y salud del puerto.

Independientemente, se han de seguir las normativas vigentes y aplicables en el ámbito de la seguridad en puertos y transporte marítimo, tales como:

- RD 1617/2007, de 7 de diciembre, por el que se establecen medidas para la mejora de la protección de los puertos y del transporte marítimo.
- RD 9/2019, de 29 de marzo, por la que se regulan las empresas de trabajo temporal, para su adaptación a la actividad de la estiba portuaria y se concluye la adaptación legal del régimen de los trabajadores para la prestación del servicio portuario de manipulación de mercancías.
- Ley 10/2019, de 23 de diciembre, de puertos y de transporte en aguas marítimas y continentales.

## 5. IMPACTO AMBIENTAL Y SOSTENIBILIDAD

### 5.1. REDUCCIÓN DE EMISIONES Y MEJORA DE LA CALIDAD DEL AIRE

El sector del transporte, como mencionamos anteriormente, es una actividad que consume grandes cantidades de energía y tiene un impacto significativo en las emisiones a la atmósfera. Estas emisiones se pueden dividir en dos categorías principales: Gases de Efecto Invernadero (GEI) y sustancias contaminantes. Los GEI, según la definición utilizada, a veces no se consideran contaminantes en el sentido tradicional, ya que su impacto inmediato en la vida en la Tierra es limitado. En cambio, su efecto principal cuando se acumulan en la atmósfera es contribuir al calentamiento global y, como resultado, al cambio climático. Por otro lado, las sustancias contaminantes incluyen elementos como agentes acidificantes, precursores del ozono troposférico y partículas en suspensión, que tienen efectos negativos directos en la salud humana, la vida animal y la vegetación debido a su presencia en la atmósfera.

El Observatorio del Transporte y la Logística en España (OTLE) elaboró el siguiente gráfico circular donde se muestran las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes del transporte junto con otros sectores

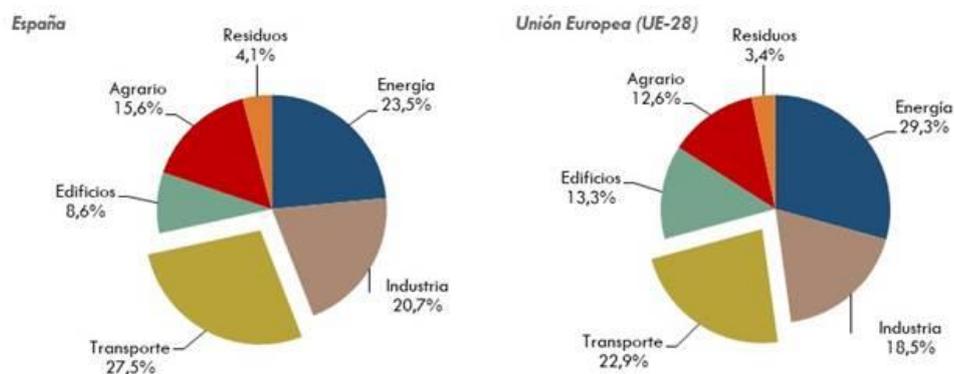


Imagen 46. Emisiones GEI procedentes del transporte en relación con otros sectores. [17]

Modo de transporte	Gases de efecto invernadero (kt CO <sub>2</sub> eq)	Sustancias acidificantes (ácido -106)	Precursores del ozono troposférico (t eq de COVNM)	Material particulado (t)
Ferroviario	253	91	5496	120
Aéreo	3.045	32	18.323	132
Marítimo	3.160	1.811	75.876	3.400
Carretera total	83.65	5.356	331.550	20.122
Carretera urbana	28.24	1.683	11.65	17.152
Carretera no urbana	55.410	3.673	211.856	2.70
Carretera no urbana - pasajeros	30.940	2.084	120.424	1.977
Carretera no urbana - mercancías	24.469	1.589	91.432	994
Total transporte nacional	90.116	7.586	431.246	23.744

Tabla 19. Emisiones de GEI y sustancias contaminantes por modo de transporte. [17]

Como podemos ver, el transporte marítimo, aunque lejos de la contaminación por carretera, es uno de los motores contaminantes en el sector, siendo el segundo medio de transporte más perjudicial. Es por ello que el desarrollo y gestión sostenible en los puertos se ha hecho cada vez más imperativo y a través de la legislación ambiental exige a la dirección de puertos ejercer de manera sostenible.

Las principales partículas contaminantes son el óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), el óxido de azufre (SO<sub>x</sub>), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el material particulado (PM), teniendo efectos nocivos en la salud y en la calidad del aire y medio ambiente. Además, encontramos la contaminación acústica por el ruido y vibraciones producidos por los motores.

El gasóleo marítimo (MGO), combustible habitual de barcos, tiene los siguientes factores de emisión en g/kWh

FACTORES DE EMISIÓN g/kWh				
	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	PM
Motores Auxiliares en Puerto	690,000	11,800	0,460	0,300
Mix Red Nacional	245,000	0,477	0,421	0,019
Porcentaje de reducción	64%	96%	8%	94%

Tabla 20. Factores de emisión g/kWh. [17]

En la siguiente tabla se resumen los efectos, orígenes y descripción de los agentes citados:

AGENTE CONTAMINANTE	DESCRIPCIÓN	ORIGEN	EFECTOS	LÍMITES
PM <sub>10</sub>	Partículas con diámetro inferior a 10 µm	Motores de combustión, centrales térmicas, sólidos suspendidos, intrusiones saharianas	Problemas respiratorios, erosión de edificios	Valor medio diario: 50 µg/m <sup>3</sup> Valor medio anual: 125 µg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	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/m <sup>3</sup>
NO <sub>x</sub>	Gas tóxico de color marrón	Motores de combustión, industria química e incendios forestales	Lluvia ácida y tóxicos para la salud y seres vivos	Valor medio diario: 200 µg/m <sup>3</sup> Valor medio anual: 40 µg/m <sup>3</sup>
CO <sub>2</sub>	Gas inodoro e incoloro. Tóxico en altas concentraciones y exposiciones cortas en el tiempo	Procesos de combustión deficitarios de oxígeno. Indicador de combustión por motores de combustión	Tóxico en concentraciones elevadas	Valor máximo octohorario diario: 10 µg/m <sup>3</sup>

Tabla 21. Variables que determinan la calidad del aire. [18]

La contaminación acústica, o exceso de ruido, tiene efectos probados sobre la salud, relacionados con la salud mental, como la depresión. La exposición continua al ruido también puede causar trastornos del sueño, lo que resulta en fatiga diurna, dificultad para concentrarse y una menor calidad de vida. La concentración en el trabajo o en actividades diarias puede verse afectada por el ruido constante, disminuyendo el rendimiento en tareas que requieren atención y enfoque. Desde un punto de vista físico, puede elevar la presión arterial y ritmo cardíaco, contribuyendo a problemas cardiovasculares como la hipertensión y las enfermedades cardíacas a largo plazo.

Consciente de la problemática ambiental, el Puerto de Sevilla ha estado llevando a cabo acciones para proteger el medio. El nuevo modelo Trabajar con la Naturaleza (*'Working with Nature'*) consiste en buscar e identificar la manera de alcanzar los objetivos de un proyecto, trabajando con los procesos naturales para proteger, restaurar e incluso mejorar el medio ambiente.

*Working with Nature* está impulsado por la asociación internacional del PIANC (Asociación Mundial de Infraestructuras del Transporte de la Navegación) y significa hacer las cosas en un orden diferente:

- Establecer las necesidades del proyecto y objetivos
- Comprender el medio ambiente
- Participación grupal para identificar conjuntamente posibles oportunidades beneficiosas
- Propuestas iniciales o diseño de proyecto en beneficio de la navegación y la naturaleza



Imagen 47. Working with Nature-APS. [4]

Obedeciendo esta línea de trabajo, se están ejecutando proyectos como la regeneración de playas en Doñana, mediante un dragado de mantenimiento del canal de navegación del Guadalquivir, en unos 800 m del margen que se habían perdido por la erosión natural de la desembocadura del río. En los caciaderos terrestres, áreas donde se depositan los sedimentos de las

campañas de dragado, se han habilitado zonas para la avifauna acuática en el entorno de Doñana, siendo el primer puerto de España que concilia la gestión de sedimentos de dragados con la creación de un hábitat para las aves acuáticas [4].

## 5.2. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA ELECTRIFICACIÓN

Al abastecer la red del sistema mediante energía solar, el impacto es positivo en el medioambiente. Con su uso dejamos de lado la energía obtenida de combustibles fósiles, reduciendo las emisiones contaminantes y, por tanto, la huella de carbono.

Con un adecuado mantenimiento las placas solares pueden alcanzar una vida útil de hasta 30 años, exigiendo una renovación cuasi nula y generando menos desperdicios y basura.

Al haber establecido la ubicación de la planta dentro del recinto portuario, la influencia en aspectos tales como el ecosistema local, el uso de la tierra o la apariencia visual y paisajística, que a menudo pueden ser factores críticos que limitan proyectos similares, se reduce significativamente y se vuelve menos relevante en comparación con los beneficios del estudio. En este sentido, los aspectos que abordan la calidad del aire, el cambio climático, la contaminación acústica y de vibraciones, y la gestión de residuos materiales, ejercen un impacto positivo mucho más notable.

Actualmente, el foco de emisiones, que en este caso es el generado por los motores auxiliares, está relativamente cerca del núcleo de población y, a través del estudio planteado, durante la estancia en el puerto eliminamos por completo la problemática que a su vez se traduciría en una mejora sustancial de la calidad del aire.

Para conocer la cantidad de emisiones y ruido, se podría crear una red de sensores distribuidos en el recinto portuario que recoja la cantidad de nivel contaminante en el puerto y poder interpretar el estado atmosférico del mismo, tal y como se ha llevado a cabo en algunos como el de Baleares, con la red de sensores *SmartSensPORT-PALMA*.



Imagen 48. Sensores de partículas y acústico. [19]

Estos sensores tienen establecidos unos umbrales que en caso de ser sobrepasados alertan a la autoridad portuaria con el fin de tomar medidas y crear informes que reflejen el estado atmosférico.

### 5.3. BENEFICIOS ECONÓMICOS Y SOCIALES DE LA SOSTENIBILIDAD

La ciudad de Sevilla, pese al costo inicial del proyecto, conseguiría beneficios sociales y económicos que repercutirían positivamente sobre la ciudad.

Adoptar prácticas sostenibles puede traducirse en eficiencia operativa y, por ende, en ahorros significativos. Esto se refleja, por ejemplo, en la reducción de costos de electricidad y combustible a través de mejoras en la eficiencia energética. Además, la sostenibilidad puede estimular la innovación y mejorar la competitividad de empresas y regiones, atrayendo inversión y promoviendo el crecimiento económico. Asimismo, productos y servicios sostenibles ofrecen acceso a nuevos mercados y segmentos de clientes cada vez más conscientes del medio ambiente.

En el ámbito social, los beneficios de la sostenibilidad son igualmente notables. Las prácticas sostenibles pueden conducir a una mejora significativa en la calidad de vida al promover entornos más limpios y saludables para las comunidades locales. Además, la inversión en energías renovables y tecnologías limpias crea empleo, beneficiando a sectores como la fabricación y la instalación de equipos sostenibles.

## 6. PRESUPUESTO

---

Como se citó anteriormente en el punto 3.3. *Estudio OPS Del Puerto de Sevilla*, en este apartado se desarrolla el análisis económico-financiero de dicho estudio <sup>[14]</sup>.

En el análisis se ha estimado el CAPEX y el OPEX de la solución, incluyendo los gastos de operación e ingresos anuales.

Además de los factores cuantificables mencionados en este documento, que se tendrán en cuenta en las estimaciones de CAPEX (gastos de capital) y OPEX (gastos operativos), existen otros factores que son difíciles de cuantificar pero no dejan de ser importantes al evaluar la viabilidad de la inversión. A continuación, se enumeran algunos de los más significativos:

- La imagen de un puerto comprometido con la preservación y mejora del medio ambiente.
- El compromiso social por la reducción de los costes socioeconómicos derivados de la contaminación. Según estudios, se estima que la mortalidad anual causada por emisiones de CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y PM en Europa ronda las 50,000 muertes prematuras y los costes sanitarios anuales alcanzan los 65 billones de euros.
- Posibles leyes futuras que limiten o incluso prohíban emisiones contaminantes, lo que podría obligar al uso de combustibles menos contaminantes o renovables.
- Posibles subvenciones futuras o beneficios fiscales para la energía limpia provenientes de la Unión Europea, con el objetivo de cumplir compromisos internacionales.
- Un aumento futuro en el precio del MGO (gasóleo marino) causado por aumentos en el precio del petróleo crudo o multas debido a ser un combustible altamente contaminante.
- La revalorización de las zonas cercanas al puerto debido a la mejora de la calidad del aire y la acústica, incluso permitiendo reclasificarlas como áreas urbanas.

### ESTIMACIÓN DE CAPEX

Las premisas principales consideradas para la estimación de CAPEX incluyen:

- Un costo de cables y accesorios de 35 € por metro.
- Un costo de obra civil para la instalación de cables de 150 € por metro.

- El uso de una unidad de tratamiento eléctrico tipo "ShoreBox" de Schneider con convertidores de frecuencia.
- La inclusión de una caja de conexión externa.
- La implementación de un sistema de maniobra de cables en el muelle con una conexión del tipo grúa fija.
- La estimación del costo de adaptación de los buques.
- Un costo total de ingeniería que representa el 5% del total estimado.
- Un costo de gestión y administración que equivale al 5% del total estimado

ACTIVIDAD/EQUIPO	CAPEX	COMENTARIOS
<b>Unidad de tratamiento eléctrico en tierra (tipo ShoreBox)</b>	<b>1.946.136,39 €</b>	Tipo "ShoreBox" (Schneider)
Transformadores	227.840,36 €	Por Schneider
Convertidores	695.387,76 €	Por Schneider
Cuadros eléctricos	384.480,60 €	Por Schneider
HVAC y otros	49.840,08 €	Por Schneider
Sistema de control	161.386,92 €	Por Schneider
Obra civil	137.653,55 €	Por Schneider
Otros	289.547,12 €	Por Schneider
<b>Cables de potencia</b>	<b>370.000,00 €</b>	Entre la subestación y las cajas de conexión en el muelle
Cables	70.000,00 €	35 €/ m; 2000 m * 1 muelle
Obra civil	300.000,00 €	150 €/ m; 2000 m * 1 muelles
<b>Caja de conexión en el muelle</b>	<b>100.000,00 €</b>	Tipo externa
<b>Cables de conexión</b>	<b>10.000,00 €</b>	50 €/m; 100 m por punto de conexión
<b>Sistema de maniobra de cables en el muelle</b>	<b>300.000,00 €</b>	Tipo grúa fija en el muelle
Equipo de maniobra (grúa, bovina, etc.).	100.000,00 €	150.000 € una grúa por cada conexión en el muelle
Obra civil	50.000,00 €	50.000 € por unidad
Grúas Pórtico	150.000,00 €	Adaptación grúa pórtico a sistema eléctrico
<b>Adaptación del Buque</b>	<b>155.399,00 €</b>	Coste para el Armador
<b>Actividades de ingeniería</b>	<b>180.000,00 €</b>	≈ 5 % de la inversión inicial
<b>Actividades de coordinación, gestión y pruebas</b>	<b>180.000,00 €</b>	≈ 5 % de la inversión inicial
<b>TOTAL</b>	<b>3.241.535,39 €</b>	

Tabla 22. Estimación CAPEX

## ESTIMACIÓN DE OPEX

Las premisas principales consideradas para la estimación de OPEX son:

- Un costo de operación de conexión y desconexión a tierra de 400 € por cada atraque.
- Se realizan 104 operaciones de atraque por año.
- La demanda anual es de 2.928 MWh.

- Se incluyen costos de conservación, mantenimiento y operación.
- Se otorga una bonificación de 9,7 € por tonelada de CO2 retiradas

ACTIVIDAD EQUIPO	OPEX ANUAL	COMENTARIOS
Operación de conexión/desconexión durante atraque	41.600,00 €	400 € por operación; 104 operaciones al año.
Operación de la unidad OPS	15.000,00 €	1 operario al 50 %
Mantenimiento equipos eléctricos en tierra	3.000,00 €	3.000 € / año
Mantenimiento equipos mecánicos en tierra	1.000,00 €	1.000 € / año
Parada media vida de la unidad OPS	7.500,00 €	100.000 € instalaciones eléctricas; 50.000 € instalaciones mecánicas; 20 años
Consumo de Electricidad	-	Autoconsumo paneles solares
Exención / beneficio energía limpia	- 5,538.31 €	9.7 € / t CO2 retirada
Mantenimiento equipos eléctricos a bordo	800,00 €	Coste para el Armador (800 €)
<b>TOTAL</b>	<b>68.900,00 €</b>	

**Tabla 23. Estimación OPEX**

## 7. PROMOCIÓN Y PARTICIPACIÓN DE LAS PARTES INTERESADAS

---

### 7.1. ESTRATEGIAS DE COMUNICACIÓN Y DIVULGACIÓN

La estrategia de comunicación y divulgación para la electrificación del puerto desempeña un papel fundamental. Para ello, es esencial proporcionar información clara y accesible al público, incluyendo informes de impacto ambiental y actualizaciones regulares en el sitio web del puerto de Sevilla. Además, se podrían llevar a cabo audiencias públicas y consultas para fomentar la participación de la comunidad local y abordar sus preocupaciones.

Las redes sociales son una herramienta vital para difundir información y concienciar al público sobre los beneficios de la electrificación, ya se lleva a cabo mediante redes la publicación de noticias sobre proyectos y acuerdos que se están ejecutando en el puerto, creando un apartado en el portal web dedicado a la sostenibilidad. Colaboraciones con organizaciones ambientales y grupos comunitarios pueden fortalecer el apoyo al proyecto. La participación en eventos y conferencias relacionados con la sostenibilidad y el transporte marítimo también permite compartir experiencias y buenas prácticas.

La colaboración con medios de comunicación locales y nacionales ayuda a destacar los aspectos positivos del proyecto, mientras que la producción de publicaciones técnicas es clave para explicar los aspectos técnicos a un público especializado. Programas de educación y capacitación, tanto para el personal del puerto como para la comunidad local, son esenciales.

La comunicación debe ser transparente, compartiendo indicadores de desempeño relacionados con la sostenibilidad y la reducción de emisiones. En resumen, una estrategia de comunicación integral promueve el apoyo público, involucra a las partes interesadas clave y acelera la adopción de tecnologías más limpias en el puerto.

## **7.2. INVOLUCRAMIENTO DE ACTORES CLAVE Y PARTES INTERESADAS**

Es importante identificar todos los actores relevantes, desde la administración del puerto hasta la comunidad local y las organizaciones ambientales. Se deben realizar consultas y audiencias públicas para permitir que las voces de la comunidad sean escuchadas y para garantizar la transparencia en la toma de decisiones.

Establecer colaboraciones estratégicas con entidades gubernamentales, organizaciones ambientales y otras partes interesadas puede ser beneficioso, como la Unión Europea, que está incentivando este tipo de proyectos con ayudas y cofinanciando planes como el OPS Master Plan for Spanish Ports

La comunicación continua es esencial, con actualizaciones regulares sobre el progreso del proyecto y la disposición para abordar las preocupaciones que surjan. Escuchar y considerar las preocupaciones y aportes de las partes interesadas es un paso crítico, y se deben realizar ajustes en el proyecto en función de sus perspectivas.

Un sistema de monitoreo y evaluación permite rastrear el impacto del proyecto en todas las partes interesadas y realizar ajustes según sea necesario. La promoción de beneficios compartidos, como la mejora de la calidad del aire y la creación de empleo, puede ayudar a obtener un mayor apoyo.

En resumen, el involucramiento efectivo de actores clave y partes interesadas es esencial para garantizar que un proyecto de electrificación en un puerto sea socialmente aceptable, sostenible y beneficioso para todos los involucrados.

## **7.3. ASPECTOS REGULATORIOS Y MARCO LEGAL PARA LA ELECTRIFICACIÓN**

La normativa aplicable a la contaminación portuaria en la Unión Europea se rige principalmente por la Directiva 2008/50/CE relativa a la calidad del aire ambiente y una atmósfera más limpia. Esta directiva establece regulaciones tanto en términos de niveles de contaminantes como de la metodología de medición de la calidad del aire, y también introduce regulaciones para nuevos contaminantes. Además, exige una evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente más rigurosa.

El Convenio Internacional MARPOL (Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación de los Buques), desarrollado por la Organización Marítima Internacional (OMI), representa el principal acuerdo internacional en la protección del medio marino. Este convenio establece una serie de regulaciones con el propósito de prevenir la contaminación provocada por los buques. Aunque fue aprobado en 1973, no entró en vigor hasta 1983.

En el año 2005 entró en vigor el Anexo IV del MARPOL, que recoge que todos los buques con un tonelaje igual o superior a 400 están sujetos a reconocimientos e inspecciones y están obligados a emitir el Certificado Internacional de Prevención de la Contaminación Atmosférica (Certificado IAPP). Este certificado requiere que declaren las emisiones de sustancias nocivas que agotan la capa de ozono o contribuyen al efecto invernadero [20].

En resumen, este convenio garantiza que los buques cumplan con estrictos límites en las emisiones de sustancias nocivas, como óxidos de nitrógeno (NOx) y óxidos de azufre (SOx), para prevenir la contaminación atmosférica y proteger el medio ambiente marino.

En el contexto de España, se promulgó la Ley 34/2007 con el objetivo de proteger a las personas y al medio ambiente de la contaminación atmosférica. Esta ley se detalla a través de tres Real Decretos:

- Real Decreto 100/2011: Catálogo de actividades potencialmente contaminadoras para la atmósfera, que incluye la mención de los puertos como actividades sujetas a regulación en este aspecto.
- Real Decreto 101/2011: Normas básicas para los sistemas de medición de los gases de efecto invernadero, especialmente relacionado con actividades de aviación.
- Real Decreto 102/2011: Mejora de la calidad del aire, que establece objetivos de calidad en relación con la concentración de diversas sustancias, como dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno, monóxido de carbono, ozono, arsénico, cadmio, níquel, benzopireno, hidrocarburos aromáticos policíclicos, mercurio y amoníaco.

En cuanto a la contaminación acústica, la normativa en España se deriva de la normativa europea establecida por la Directiva 2002/49/CE, que se centra en la evaluación y los valores máximos en función del impacto en la salud de las personas y la promoción de una mejor convivencia entre las actividades generadoras de ruido. En este contexto, la Ley 37/2003, promulgada el 17 de noviembre de 2003, regula la contaminación acústica en conformidad con la legislación española. Esta ley establece normas y regulaciones relacionadas con la contaminación acústica en diversos entornos, incluidos los puertos [4].

## 8. CONCLUSIONES

---

La electrificación de puertos está tomando más importancia con el paso del tiempo y marca diferencias notables en el sector. Es por ello que Sevilla debe permanecer a la vanguardia de estas innovaciones y tomar conciencia sobre la importancia de este tipo de actuaciones, renovando sus infraestructuras y afianzando su compromiso con la sostenibilidad, sirviendo de referente al resto de Europa junto con los puertos que ya han sido capaces de ejecutar este tipo proyectos.

Mitigar las emisiones del transporte marítimo en el sector implica la coordinación de diferentes partes, incluidos los órganos legislativos, el gobierno, los operadores de energía, los puertos y las líneas navieras. Aunque tienen diferentes roles y objetivos, la colaboración entre ellos puede hacer factible el despliegue de la tecnología.

Las políticas ambientales son cada vez más estrictas y sus objetivos más exigentes, incentivo más que suficiente para pararse a pensar y valorar los beneficios del sistema que, sin lugar a dudas, es productivo para la reducción de emisiones, incluidos también el ruido y las vibraciones, y sumado a una fuente de energía renovable como la energía solar neutraliza los impactos ambientales negativos.

Las operadoras navieras también han de tomar partido y llevar a cabo renovaciones en buques que permitan el uso de energía eléctrica o combustibles menos nocivos como el gas natural licuado, el cuál ya ha empezado a aplicarse y sus resultados son muy positivos, reduciendo las emisiones contaminantes hasta en un 90% frente al diésel, ahorrando en combustible y mantenimiento de motores y proporcionando una mayor seguridad de almacenamiento junto con una mayor eficiencia.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] J. Dorta Herrera y G. A. A. José, Cold Ironing en Canarias, La Laguna, 2020.
- [2] «OPS Master Plan of Spanish Ports,» 2021. [En línea]. Available: <https://poweratberth.eu/?lang=es>.
- [3] «Consejo de la Unión Europea,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/green-deal/>.
- [4] «Puerto de Sevilla,» [En línea]. Available: <https://www.puertodesevilla.com/index.php>. [Último acceso: 2023].
- [5] P. Ericsson y I. Fazlagic, Shore-side Power Supply, Gotemburgo: Chalmers University of Technology, 2008.
- [6] «World Ports Sustainability Program,» 2021. [En línea]. Available: <https://sustainableworldports.org/wpcap/wg-3/wpcap-power2ship-dynamic-google-earth-map/>.
- [7] N. Najihah Abu Bakar, N. Bazmohammadi, J. C. Vasquez y J. M. Guerrero, «Electrificación de los sistemas eléctricos terrestres en el transporte marítimo hacia la descarbonización de los puertos: una revisión de la tecnología del planchado en frío,» *ScienceDirect*, vol. 178, nº 113243, 2023.
- [8] «Puerto de Gotemburgo,» [En línea]. Available: <https://www.portofgothenburg.com/>. [Último acceso: 2023].
- [9] «Puerto de Los Ángeles,» [En línea]. Available: <https://www.portoflosangeles.org/>. [Último acceso: 2023].
- [10] «Puerto de Ámsterdam,» [En línea]. Available: <https://www.portofamsterdam.com/en>. [Último acceso: 2023].
- [11] Delimitación de Espacios y Usos Portuarios del Puerto de Sevilla, Sevilla, 2021.
- [12] «Transporte por vías navegables interiores en Europa: sin mejoras significativas en la cuota modal y en las condiciones de navegabilidad desde 2001,» Luxemburgo, 2015.
- [13] «Memoria de Sostenibilidad,» Sevilla, 2021.
- [14] Ghenova, InovaLabs, Seaplace y PPEE, «Estudio OPS Puerto de Sevilla,» Sevilla.
- [15] Cavotec, «Puertos&Marítimo,» Lugano, 2023.
- [16] «Diario del Puerto,» 9 Octubre 2023. [En línea]. Available: <https://www.diariodelpuerto.com/maritimo/best-incorpora-nuevas-gruas-hibridas-en-su-terminal-de-barcelona-HA17173400>. [Último acceso: 2023].

- [17] «Boluda Corporation Marítima,» [En línea]. Available: <https://www.boluda.com.es/es/terminales-maritimas/sevilla-tmg/>. [Último acceso: 2023].
- [18] «Observatorio de Transporte y Logística (OTLE),» 2020. [En línea]. Available: <https://observatoriotransporte.mitma.es/inform/es/2020/sostenibilidad-ambiental/-emisiones-y-eficiencia-ambiental/emisiones-contaminantes-del-transporte>. [Último acceso: 2023].
- [19] A. Mrabet El Khamlichi y S. Ordás Jiménez, Estudio y análisis de la tecnología "Cold Ironing" en el Puerto de Palma de Mallorca, Barcelona: Facultad de Náutica de Barcelona, 2022.
- [20] «Autoridad Portuaria de Baleares,» [En línea]. Available: <https://www.portsdebalears.com/es>. [Último acceso: 2023].
- [21] «Organización Marítima Internacional,» [En línea]. Available: Prevención de la contaminación por las aguas sucias de los buques. [Último acceso: 2023].
- [22] «Puerto de Sevilla,» 24 Marzo 2023. [En línea]. Available: <https://www.puertodesevilla.com/comunicacion/actualidad/el-puerto-de-sevilla-y-endesa-firman-un-protocolo-para-disenar-una-hoja-de-ruta-que-favorezca-la-transicion-energetica>.

